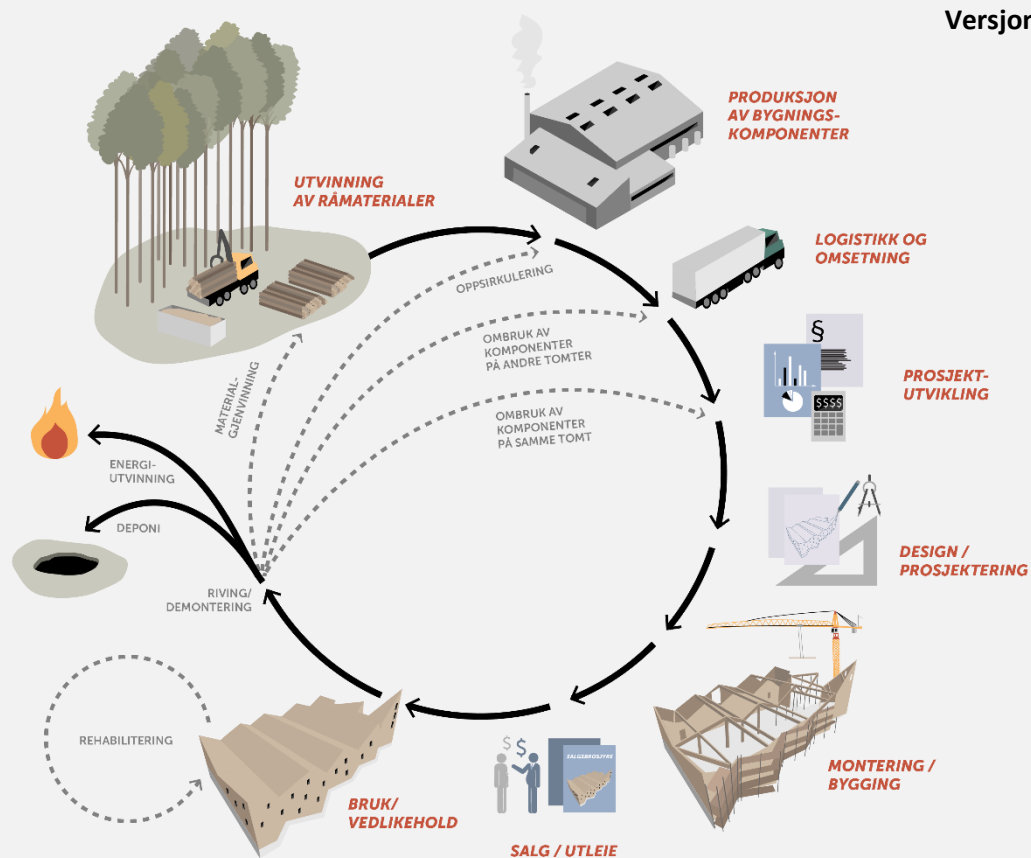


KLIMAVENNLIGE BYGGEMATERIALER POTENSIAL FOR UTSLIPPSKUTT OG BARRIERER MOT BRUK

Dato: 16.10.2020
Versjon: 01



Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver: Enova SF
Tittel på rapport: Studie potensial og barrierer for bruk av klimavennlige materialer
Oppdragsnavn: Potensial og barrierer klimavennlige materialer
Oppdragsnummer: 629292-01
Utarbeidet av: Mie Fuglseth, Haakon Haanes, Oddbjørn Dahlstrøm Andvik, Anne Sigrid Nordby, Preben Brekke-Rotwitt, Sigfrid Våtevik
Oppdragsleder: Mie Fuglseth
Tilgjengelighet: Åpen

VERSJON	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KS
01	16.10.20	Nytt dokument	MF, HH, OSD, ASN, PBR, SV	ASN, AB

Forord

Denne utredningsrapporten om er utarbeidet av Asplan Viak på oppdrag for Enova SF. Den er ment å danne et kunnskapsgrunnlag som skal kunne brukes blant annet av Enova til å utvikle virkemidler.

Mie Fuglseth har vært oppdragsleder hos Asplan Viak. Guro Watten Furu har vært kontaktperson hos oppdragsgiver.

Kartlegging av metodikk og verktøy for klimagassberegninger, samt beregninger av referansenivåer og potensiale for utslippsreduksjon er utført av Mie Fuglseth og Oddbjørn Dahlstrøm Andvik.

Haakon Haanes har hatt hovedansvar for kartlegging av barrierer mot nyproduserte og ombrukte materialer.

Rådgivende byggingeniører Preben Brekke-Rotwitt og Sigrid Våtevik har dimensjonert og gjort mengdeberegninger for bygningsmodell med ulike løsningsvalg i bærekonstruksjon.

Anne Sigrid Nordby og Alexander Borg har kvalitetssikret rapporten.

Sandvika, 16.10.2020

Mie Fuglseth
Oppdragsleder

Anne-Sigrid Nordby, Alexander Borg
Kvalitetssikrere

Sammendrag med hovedfunn

Asplan Viak har på oppdrag fra Enova utarbeidet et kunnskapsgrunnlag i form av en potensial- og barrierestudie som skal bidra til en målrettet innsats for å stimulere til bruk av lavutslippsmaterialer i byggsektoren.

Del 1: Metodikk og verktøy for klimagassberegninger

Oppdragets del 1 har omfattet kartlegging av metodikk og verktøy som er i bruk for å beregne klimagassutslipp fra byggematerialer, inkludert å belyse de prinsipielle forskjellene mellom dem.

Stor usikkerhet knyttet til hva som skaper variasjon i beregninger. Hvor mye av forskjellen i beregnede utslipp som skyldes metodikk i stedet for faktisk valg i prosjektene har tidvis ført til konklusjonen at klimagassberegninger kun er «en lek med tall». Svekket tillit til hvor godt klimagassberegninger egentlig fungerer til som rettesnor for, og dokumentasjon av hva som er mest klimavennlig er et problem for bransjen, men ikke minst svekker det mulighetene til å realisere mer klimavennlige byggeprosjekter.

Hensikten med utviklingen av en norsk standard for klimagassberegninger av bygninger (NS 3720) har vært å gjøre klimagassberegninger for bygg mer sammenliknbare. Derfor anbefales det å stille krav til at beregninger skal være i henhold til standarden. Krav til klimagassutslipp bør stilles helhetlig for hele bygningskroppen, og ikke på komponent- eller bygningsdelnivå. Dette gir fleksibilitet slik at det enkelte prosjekt kan velge de tiltakene som er mest hensiktsmessige og kostnadseffektive for bygget totalt. Beregnede referansenivåer og potensiale for utslippsreduksjon presentert i denne rapporten kan benyttes som utgangspunkt for å definere rammekrav for klimagassutslipp for materialbruk i byggeprosjekter.

Det er svært viktig at enhver klimagassberegning sees i lys av forutsetningene som er lagt til grunn. Metodiske rammeverk gir føringer for hvordan beregninger skal gjennomføres, men det vil fortsatt være nødvendig med LCA-faglig kompetanse for å utarbeide gode analyser, også ved bruk av dedikerte beregningsverktøy. Det aller viktigste for å sikre sammenliknbare beregninger vil alltid være transparent dokumentasjon av metodikk, systemgrenser, utslippsfaktorer og scenarier. Følsomhetsvurderinger kan dessuten vesentlig forbedre funksjonen klimagassberegninger har som beslutningsstøtte, ved at man synliggjør hva som er de viktigste premissene for at konklusjonene man presenterer er gyldige. Bedre kontroll med usikkerhet gjør beregninger og konklusjoner mer robuste, og mer utbredt bruk av følsomhetsberegninger kan øke tilliten til klimagassberegninger på generelt nivå.

Del 2: Potensial for å redusere klimagassutslipp fra materialbruk

Hvilke material- og løsningsvalg som gir lave klimagassutslipp må sees i kontekst av bygget som helhet. Selv om et materiale kan ha lavere utslipp per enhet, sammenliknet med et annet, kan det være andre forhold og tekniske egenskaper som påvirker summen av materialbruk i bygget, og som kan ha betydning for byggets totale klimafotavtrykk.

Hva som kan omtales som klimavennlige materialer påvirkes av følgende:

- Gjennomsnittlig produksjonsteknologi og utvikling i markedet
- Tekniske egenskaper i den sammensatte løsningen og i bygget som helhet
- Robusthet og forventet levetid

Med klimavennlige materialer menes i rapporten materialer og løsninger som regnes å ha et lavt utslipp av klimagasser, sammenliknet med tilsvarende konvensjonelle produkter i det norske

markedet anno 2020. Utslippsnivå for konvensjonelle produkter har vi definert ut fra hva som regnes som «typisk» produksjonsmåte for en gitt produkt- eller materialtype.

Som utgangspunkt for å anslå potensialet for å redusere utslipp fra materialbruk i bygg har vi beregnet referansenivåer for utslipp fra materialbruk for ulike bygningstyper. Referansenivåene bygger videre på beregningsmodeller utviklet gjennom utredninger for DiBK og Oslo Kommune Klimaetaten. Omfang for modellberegningene er materialproduksjon, transport av materialer til byggeplass og utskifting i løpet av byggets levetid (60 år).

Beregningene omfatter følgende bygningskategorier:

- Kontor
- Skole
- Boligblokk
- Næring/forretning
- Sykehjem
- Småhus
- Kjeller (oppvarmet og ikke oppvarmet)

Vi har valgt å avgrense hvilke materialer som vurderes basert på materialene som står for 90 % av total mengde. Totalt er 15 materialgrupper vurdert. For å komme frem til potensialet for utslippsreduksjon fra materialbruk, har vi byttet ut standard materialer i modellbyggene med de mest klimavennlige alternativene som er tilgjengelige på det norske markedet per i dag. Hensikten er at disse *lavutslippsbyggene* skal representere såkalt *best available technology* (BAT) for klimavennlig materialbruk, slik at differansen i utslipp mellom referansenivåene og lavutslippsbyggene viser potensialet for utslippsreduksjon på bygningsnivå.

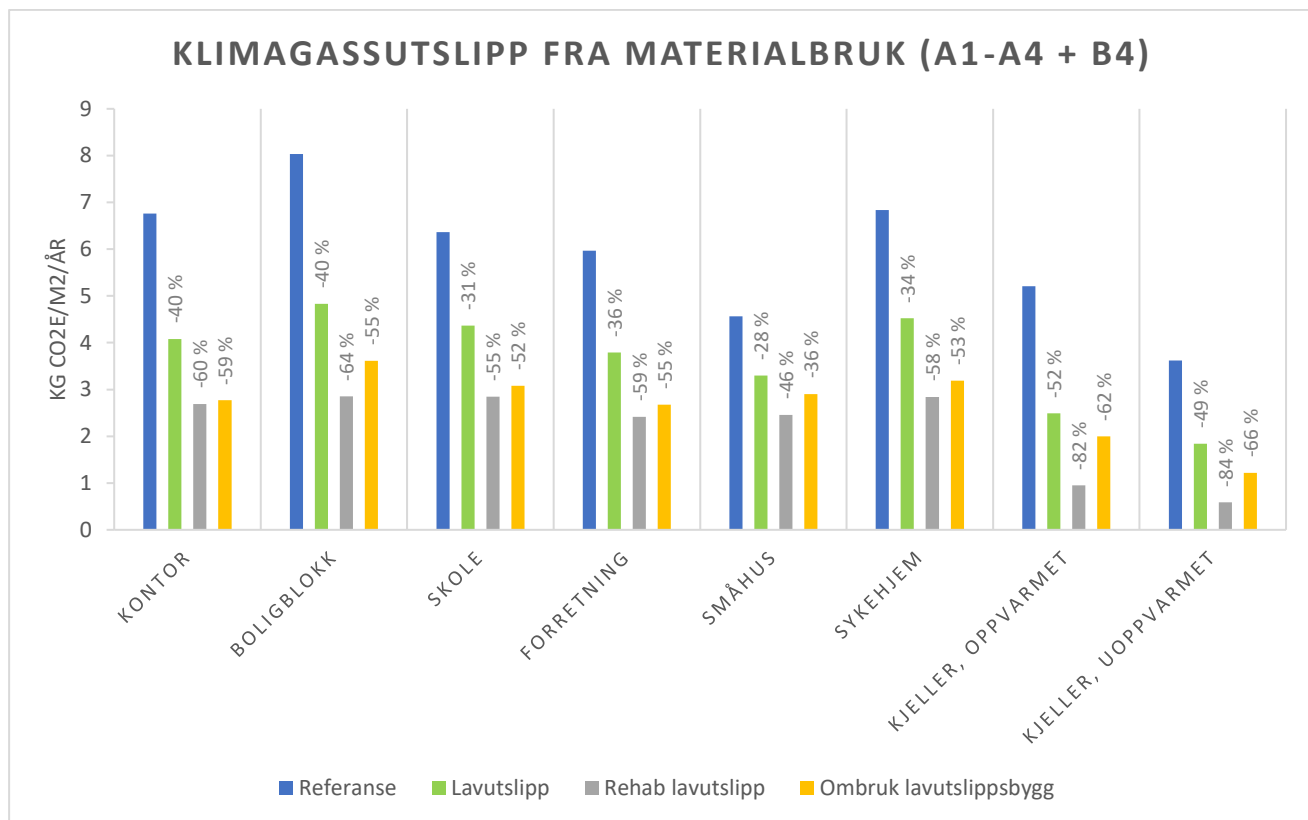
I lavutslippsbyggene har vi ikke endret materialvalgene i bæresystemet og dekker, men lagt til grunn mer klimavennlige produkter innenfor de materialgruppene som er benyttet (for eksempel lavkarbonbetong i hulldekker). Der materialvalg ikke påvirker løsninger i andre bygningsdeler, har vi imidlertid valgt andre materialer der dette fører til reduserte utslipp (for eksempel å erstatte keramisk flis med vinyl).

Betong står for den klart største andelen av total masse i modellbyggene. For de bygningskategoriene vi har vurdert utgjør betong rundt 80 % av total masse, med unntak av modellbygget for småhus. Å erstatte all plasstøpt betong i modellbyggene med lavkarbon Ekstrem medfører en samlet utslippsreduksjon på 10 %, i snitt for alle bygningskategorier. Tilsvarende gir det en samlet reduksjon på 8 % i snitt å bytte ut standard betong i hulldekker med lavkarbon Ekstrem.

Konstruksjonsstål står for 1-3 % av masse for modellbyggene, men 9-20 % av totale utslipp (med unntak av for småhuset, som i hovedsak har bærekonstruksjon i tre). Å benytte stålsøyler og bjelker med høyere andel skrapstål medfører en samlet utslippsreduksjon på 6 % i snitt for modellbyggene.

I tillegg til endrede å velge klimavennlige stål- og betongprodukter, er følgende tiltak lagt til grunn for å beregne reduksjonspotensialene:

- Utvendig kledning i ubehandlet malmfuru
- Erstatte keramisk flis i våtrom med vinyl
- Erstatte all isolasjon utan spesifikke krav til trykkfasthet med glassull
- Spontak i ubehandlet malmfuru på småhus
- Mest klimavennlige produktalternativer for gips, gulvbelegg, og avrettingsmasse



Beregnet reduksjon varierer fra 28 % for småhus, til 52 % for oppvarmet kjeller. I gjennomsnitt for bygningskategoriene (ekskludert kjeller), er beregnet utslippsreduksjon for lavutslippsnivå 35 %, sammenliknet med referansenivåene. Småhus er bygget opp med relativt klimavennlige materialer, i stor grad konstruksjonsvirke, slik at reduksjonspotensialet i utgangspunktet er lavere enn for de øvrige bygningskategoriene.

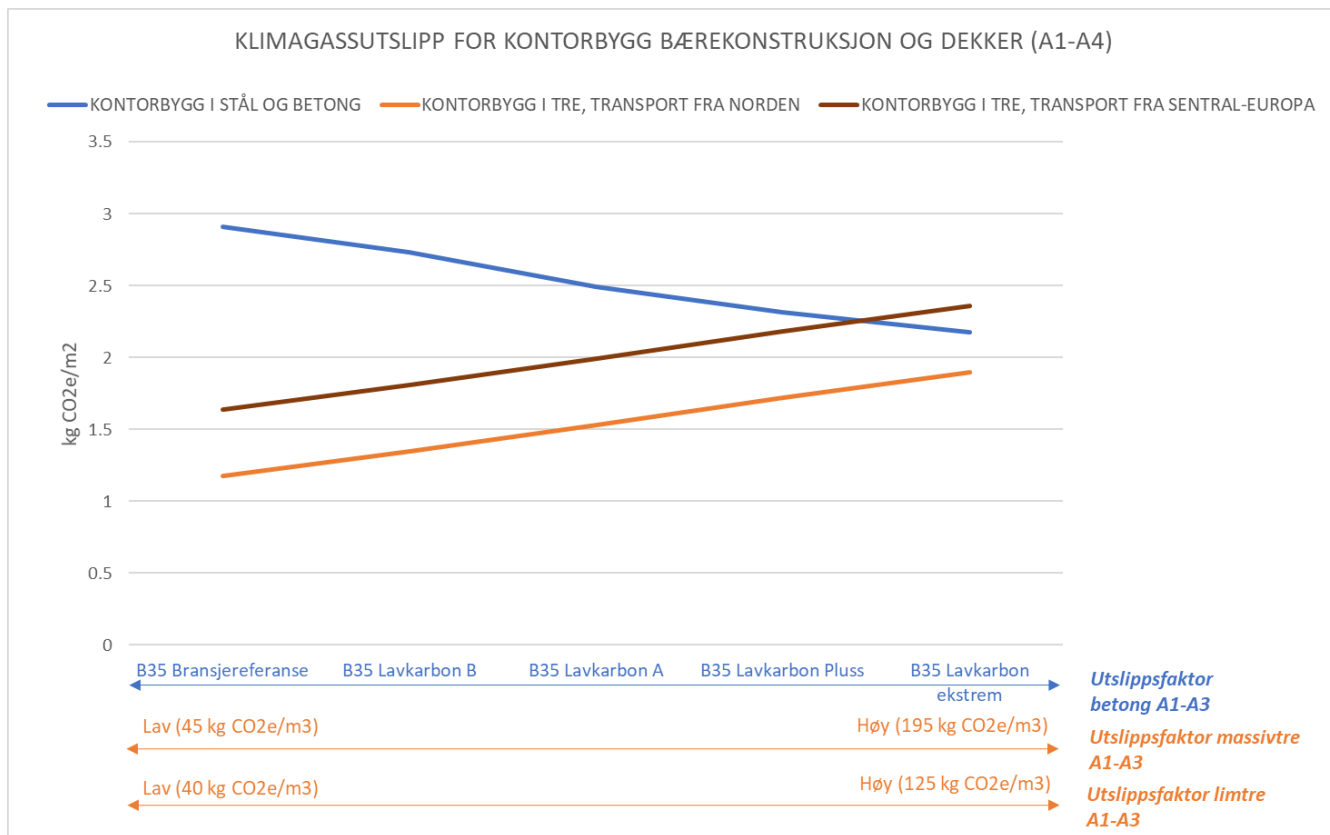
Resultatene viser et gjennomsnittlig beregnet potensiale for utslippsreduksjon i rehabiliterte lavutslippsbygg på 57 %, i snitt for bygningskategoriene (ekskludert kjeller). Det er altså et betydelig økt potensiale for utslippsreduksjon fra materialbruk dersom man kombinerer rehabilitering med å benytte de mest klimavennlige materialene på markedet, sammenliknet med å oppføre nye lavutslippsbygg.

Forutsetningene om transportdistanser for materialer har stor betydning for beregningsresultatene. Dersom en betydelig større andel av materialene kan anskaffes fra Norge, øker beregnet reduksjonspotensiale fra 35 % til 39 % i snitt.

Tilgangen på de mest klimavennlige lavkarbonbetongtypene er begrenset i enkelte landsdeler. For bygg som oppføres på steder der tilgangen på lavkarbonbetong er begrenset, vil klimagevinsten ved å benytte betongelementer med lavkarbonbetongklasse ekstrem, sammenliknet med lavkarbonklasse A, oppveies av økte transportutslipp dersom elementene fraktes mer enn ca. 450 km.

For å få en bredere vurdering av hvordan løsningsvalg påvirker utslipp, har vi valgt å supplere modellbygg-beregningene med et praktisk eksempel på et bygg med alternative løsningsvalg i bæresystemet. Beregningene omfatter sammenlikning av klimagassutslipp fra materialbruk fra bæresystem inkl. dekker for et enkelt 3-etasjes kontorbygg for bæresystem i betong/stål med bæresystem i massivtre og limtre. Hensikten er å illustrere hvordan utslipp varierer med material- og løsningsvalg. For å vise hvordan variasjon i utslipp mellom ulike produkter innenfor hver materialgruppe påvirker sammenlikningen, har vi lagt til grunn et spenn i utslipp per enhet både for

betong og tre. I tillegg har vi vurdert to ulike transportdistanser for massivtre/limtre, og standard stålprodukter vs. mest klimavennlige stålprodukter på markedet.



Figuren viser beregningsresultater med standard utslippsverdier for stål. Utslippsforskjellen mellom konseptene varierer fra 60 % lavere utslipp for løsningen i tre (laveste utslippsfaktorer, betong bransjereferanse, tre transportert fra leverandør i Norden), til 9 % høyere utslipp (høyeste utslippsfaktor for tre, betong lavkarbon ekstrem, tre transportert fra leverandør i Sentral-Europa), sammenliknet med løsningen i stål og betong.

Skjæringspunktene mellom kurvene viser at betong må ha lavere enn lavkarbon pluss, og at det må benyttes massivtre/limtre som fraktes langt (og har høye enhetsutslipp) for at bærekonstruksjon i betong skal ha lavest utslipp. Hvis man benytter de mest klimavennlige stålproduktene på markedet, er betingelsen for at bærekonstruksjon i betong og stål skal gi lavere utslipp enn tre, at betongen har utslipp lavere enn lavkarbonklasse A, og at det benyttes massivtre med høyere enhetsutslipp enn 120 kg CO₂e/m³ og med lang transport i A4.

For et komplett bygg (dvs. inkludert alle bygningsdeler, og ikke kun bæresystem) anslår vil potensialet for utslippsreduksjon som følge av å endre bærekonsept vil ligge i størrelsesorden 10-30 %. Det er viktig å understreke at bruk av betong og tre i bygninger ikke står i motsetningsforhold til hverandre. Det finnes stadig flere eksempler på prosjekter som har utnyttet tre og betong i samvirke, for å dra nytte av de tekniske egenskapene i begge materialer for å optimalisere materialbruk og minimere klimagassutslipp.

Del 3: Barrierer mot klimavennlig materialbruk

Det er mange faktorer som hindrer at klimavennlige materialer og ombrukskomponenter velges framfor mer konvensjonelle byggematerialer i Norge i dag. I del 3 av rapporten har vi forsøkt å kategorisere disse barrierene etter type og kobling til verdikjeden for bygningsmaterialer og -


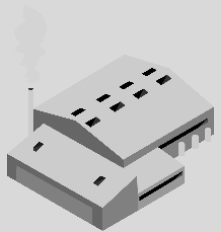
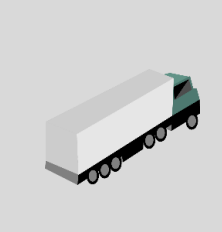
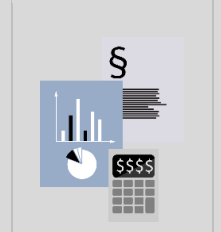
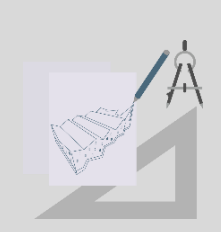
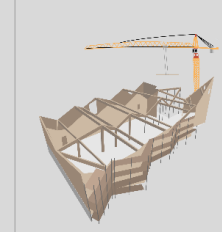

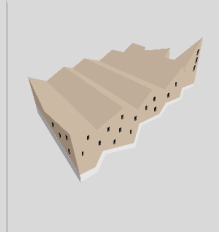
komponenter. Verdikjedetilnærmingen gjør det lettere å komme med konkrete og målrettede tiltak for å redusere barrierevirkningen.

Det er mange likhetstrekk mellom barrierer mot bruk av klimavennlige materialer og ombrukskomponenter. De største barrierene handler i begge tilfeller om høyere kostnader (opplevde eller reelle), manglende tilbud og etterspørsel og lite tilpassede krav og retningslinjer i overordnet regelverk. Siden bruk av klimavennlige materialer og ombrukskomponenter på mange måter fortsatt er nybrottsarbeid det praktiske og tekniske hindre å forsere, men ingen som ikke kan løses. Dette har man begynt å få flere gode eksempler på i dag. Målrettede økonomiske og regulatoriske virkemidler (pisk og gulrot), kombinert med kunnskapsspredning og holdningsskapende arbeid vil trolig bedre markedssituasjonen på sikt, og gjøre det mer lønnsomt å bruke klimavennlige materialer og ombruke bygningskomponenter.

Når det gjelder klimavennlige materialer har det allerede skjedd mye de siste årene, og bildet har begynt å endre seg. Ofte er det like mye inngrodde oppfatninger, manglende kunnskap og negative holdninger enn reelle kostnader som hindrer mer utstrakt bruk. Det er imidlertid fortsatt et stykke å gå før klimavennlige alternativer skal bli så utbredt at skillet mellom klimavennlig og konvensjonell blir meningsløst. Investeringer i nye løsninger, som miljødeklarasjoner for alle nyproduserte bygningsmaterialer, nyskapende teknikker for trebygging eller metoder for karbonfangst koster penger. Her er man avhengig av at myndighetene følger opp med økonomiske støtteordninger og reguleringer som stiller krav til bransjen for at de klimavennlige løsningene skal bli enkle å gjennomføre og konkurransedyktige på pris. Man er også avhengig av at det jobbes med kunnskapsbygging og holdningsskapende arbeid i alle ledd i verdikjeden, og at det gjennomføres pilotprosjekter som kan være gode eksempler både på prosess og resultat, og som kan bidra til å bygge tillit rundt metoder for å vurdere klimavennlig materialbruk og gjør klimavennlige bygg attraktivt for alle aktørene i verdikjeden.

Ombruk har en fordel framfor nyproduserte materialer generelt ved at det faktisk er en direkte samfunnsøkonomisk gevinst i andre enden, man kan spare store mengder med ressurser ved å ombruke mer. Siden ombruk av bygningskomponenter i større grad enn bruk av klimavennlige materialer er nybrottsarbeid i Norge har man imidlertid høye investerings- og utviklingskostnader, det er lite kunnskap om mulighetene som finnes og mange har negative holdninger. At ombruk henger litt etter i løypa gjør at mange av barrierene som tidligere gjaldt for klimavennlige materialer er utfordringene som nå må løses for å øke bruken av ombrukskomponenter. Her er det mye å lære av hvordan man har jobbet med klimavennlige materialer for å gjøre barrierene mindre. Ombruk av bygningskomponenter har imidlertid større regulatoriske utfordringer enn bruk av nye klimavennlige materialer, da dagens regelverk knyttet til omsetning og bruk av byggevarer ikke er tilpasset ombruk. Dette må løses eller omgås for at ombruk skal bli et kostnadseffektivt og dermed reelt alternativ i massemarkedet.

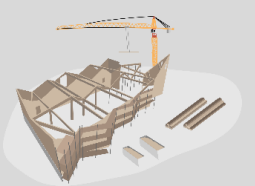
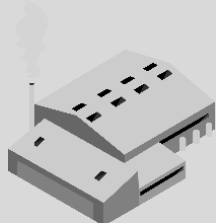
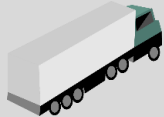


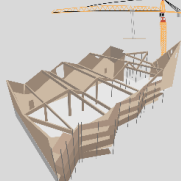


Oppsummering av barrierer mot nyproduserte klimavennlige materialer

		LEDD I VERDIKJEDEN							
BARRIERER		 Utvinning av råmaterialer	 Produksjon av bygningskomponenter	 Omsetning og logistikk	 Prosjektutvikling	 Prosjektering	 Montering/bygging	 Salg/utleie	 Bruk/vedlikehold
Tekniske og praktiske barrierer	Selv om utviklingen går i riktig retning, kan det fortsatt være vanskelig å finne klimavennlige bygningskomponenter til alle formål med tilsvarende tekniske egenskaper som konvensjonelle, og det trengs videre forskning og utvikling, både på nye og «gamle» klimavennlige materialer	Logistikken rundt det å få tak i klimavennlige materialer som ikke produseres lokalt i Norge kan være omfattende og upraktisk	Manglende forankring av mål knyttet til klimagassutslipp, målstyring og oppfølging i hele prosessen	Mangel på målrettet og integrert samhandling mellom miljørådgivere, arkitekter og andre prosjekterende kan gjøre det utfordrende å bruke klimavennlige materialer. Eks. massivtre og brann- og akustikk-krav. Trykkfasthet for isolasjon	Krav til raske byggeprosesser innskrenker potensialet for å velge klimavennlige alternativer		Nyskapende metoder kan gi bygningstekniske utfordringer i bruksfasen		
	Store regionale forskjeller i tilgang på de strengere klassene av lavkarbonbetong	Manglende dokumentasjon på tekniske egenskaper for enkelte klimavennlige materialer							
Regulatoriske barrierer	Mangel på myndighetskrav til miljødokumentasjon (EPD) for byggematerialer	Mangel på krav til klimagassutslipp som omfatter transport av materialer til byggeplass.	Mangel på krav til klimavennlig materialbruk ved nybygg eller rehabilitering i Byggteknisk forskrift (TEK)	Mangel på krav om å utføre klimagassvurderinger i et livsløpsperspektiv som vil kunne synliggjøre klimagassutslipp ved materialbruk		Mangel på krav om klimagassvurderinger som kan synliggjøre klimagassutslipp ifm. materialbruk for de som vurderer å kjøpe eller leie bygg			
Markedsmessige barrierer	Tilgangen på klimavennlige bygningskomponenter kan være begrenset.	Et mindre utviklet marked for klimavennlige materialer, med store lokale forskjeller	Etterspørselen etter klimavennlige materialer er for lav, særlig blant boligutbyggere. Det er først og fremst framtidsrettede utbyggere av næringsbygg	Det er færre prosjekterende som kan og vil bruke klimavennlige materialer enn	Det er færre utførende som kan og vil bruke klimavennlige materialer enn konvensjonelle materialer, noe som reduserer etterspørselen etter	Opplevd og reell etterspørsel etter klimavennlig materialbruk er fortsatt lav, særlig i boligmarkedet.	Tilgangen på klimavennlige bygningskomponenter kan være begrenset.		

	Markedskonflikt mellom produsenter hindrer en samkjørt innsats for å øke etterspørselen	En stadig mer globalisert og sentralisert produksjon av bygningskomponenter øker transportbehovet ifm. materialbruk, særlig i mindre sentrale deler av landet	og offentlige bygg som har ledet an utviklingen.	konvensjonelle materialer	klimavennlige materialer i byggeleddet.	Etterspørselen er på vei opp i visse segmenter av næringsmarkedet.		Markedskonflikt mellom produsenter hindrer en samkjørt innsats for å øke etterspørselen
Økonomiske barrierer	<p>Enkelte klimavennlige råmaterialer og bygningskomponenter kan være dyrere fordi de er nye på markedet, produseres i mindre kvanta og har utviklingskostnader som må betales ned.</p> <p>Andre klimavennlige materialer er dyrere fordi de krever mer manuell bearbeiding.</p> <p>Karbonfangst i sementproduksjonen gir lavere klimagassutslipp for betongprodukter, men investeringskostnadene er høye.</p>	Produksjonen av bygningskomponenter blir stadig mer automatisert og sentralisert for å spare kostnader. Rimeligere produksjonsvilkår gjør at langreiste materialer blir konkurransedyktige på pris og kan velges framfor de kortreiste, også når klimavennlige materialer prioriteres.	Høyere kostnader som følge av risikopåslag hos involverte aktører som ikke har erfaring med klimavennlige materialer	<p>Lite empiri på kostnader ved klimavennlig materialbruk i Norge.</p>	<p>Prosjektering med klimavennlige materialer kan bli mer kostbart dersom det innebærer uvanlige løsninger som krever mer tilrettelegging, målrettet samhandling og innebærer en større risiko for uforutsette hendelser.</p> <p>I tillegg vil det ofte være mer behov for mer tidligfase-planlegging/prosjektering enn i konvensjonelle prosjekter, særlig dersom det i tillegg skal utvikles et helhetlig konsept for å redusere klimagassutslipp.</p>	Det varierer i hvilken grad bygging med klimavennlige materialer er rimeligere eller dyrere enn konvensjonelle materialer, det er mer avhengig av graden av prefabrikker og hurtigheten av byggeprosessen.	Vanskelig å få avkastning for investeringer i klimavennlige materialer, særlig i boligmarkedet. I næringsmarkedet ser man noe høyere betalingsvillighet, men i boligmarkedet, i hvert fall i og i nærheten av de store byene, er det lite å gå på i utgangspunktet.	Ingen direkte økonomisk gevinst ved å eie eller leie et klimavennlig bygg
Kunnskapsmessige barrierer	<p>Begrenset tilgang på god og pålitelig dokumentasjon av klimafotavtrykket til bygningskomponenter, som miljødeklarasjoner (EPDer). Bruk av EPDer krever ofte spesialkompetanse for å bli riktig.</p> <p>Manglende teknisk dokumentasjon for enkelte klimavennlige materialer.</p>	<p>Begrenset kunnskap om betydningen av transport for klimagassutslipp i forbindelse med materialbruk</p> <p>Vurderinger av klimagassutslipp i forbindelse med transport må tilpasses det aktuelle prosjektets beliggenhet, noe som kreves spesialkompetanse</p>	<p>Manglende erfaring med og kunnskap om bruk av klimavennlige materialer blant prosjektutviklere</p> <p>Mange bestillere mangler kunnskap om EPDer og hvordan man skal stille krav til klimavennlig materialbruk i byggeprosjekter.</p> <p>Rammeavtaler kan binde prosjektutviklere til å bruke produkter med dårligere klimafotavtrykk enn</p>	<p>Manglende kunnskap blant mange prosjekterende om hvilke materialer som er mest klimavennlige, og ikke minst om behovet for helhetlige vurderinger av klimapåvirkningen av forskjellige materialkonsepter i ulike prosjekter, inkludert utslippene i forbindelse med transport</p>	<p>Manglende kunnskap og erfaring med bygging med klimavennlige materialer</p>	<p>Manglende kunnskap om klimavennlig materialbruk generelt, og klimautslipp i forbindelse med materialbruk i konkrete prosjekter</p> <p>Manglende merkeordninger og informasjon om klimafotavtrykket til bygg som selges/leies ut tilsvarende energimerking</p>	<p>Manglende kunnskap om vedlikehold, drift og levetid for enkelte klimavennlige materialer.</p> <p>Manglende kunnskap om levetidsforlengende tiltak og materialtilpasset renhold.</p>	

			det som finnes på markedet.				
Holdningsmessige barrierer	Mangel på endringsvilje og tro på at det vil lønne seg å satse og investere i reduksjon av klimautslipp i utvinning og produksjon av bygningskomponenter		<p>Skepsis mot nye og uprøvde løsninger fordi det medfører risiko for høyere prosjektkostnader, og innebærer at man må endre etablerte vaner og rutiner.</p> <p>Holdninger om at klimavennlig materialbruk er unødvendig, dyrt og kompliserende.</p>	<p>Mange prosjekterende, og kanskje særlig arkitekter, frykter et for ensidig fokus på klimafotavtrykk i vurderinger av materialbruk, og er negative til tiltak som innskrenker friheten til å ta selvstendige beslutninger.</p> <p>Frykt for å måtte endre vaner og rutiner, og at kunnskap og ferdigheter blir utdatert.</p> <p>Manglende kunnskap om hva klimavennlige materialer er, hvordan det måles, og manglende tillit til i hvilken grad helhetlige vurderinger blir gjort</p>	<p>Skepsis mot nye løsninger, frykt for å måtte endre vaner og rutiner, og at kunnskap og ferdigheter blir utdatert.</p> <p>Manglende kunnskap om og tillit til vurderinger om hvor klimavennlige materialer er.</p>	<p>Mange har positive holdninger til viktigheten av å redusere klimagassutslipp men har ikke nok kunnskap om eller tillit til vurderinger av hvor klimavennlige materialer er.</p>	

Oppsummering av barrierer mot ombruk

LEDD I VERDIKJEDEN								
BARRIERER	 Utvinning av brukte bygningskomponenter (urban mining)	 Oppsirkulering av brukte bygningskomponenter	 Omsetning og logistikk	 Prosjektutvikling	 Prosjektering	 Montering/bygging	 Salg/utleie	 Bruk/vedlikehold
Tekniske og praktiske barrierer	<p>Brukte bygningskomponenter av dårlig kvalitet, som er vanskelige å demontere og/eller inneholder helsefarlige stoffer eller miljøgifter</p> <p>Forsvarlig og skånsom demontering</p> <p>Sikkerhetsrutiner og HMS-krav m.m. som innebærer at det bør avklares tidlig hva som skal demonteres, hvem som skal gjøre det, og hvem som skal ha eierskap til de brukte komponentene</p>	<p>Stadig endrede tekniske krav til bygningskomponenter som gjør direkte ombruk utfordrende.</p> <p>Kvalitetssikring, særlig dersom komponentene skal bearbeides før de skal ombrukes</p>	<p>Rasjonell og forsvarlig frakt og mellomagring slik at komponentene beholder sin kvalitet, og man unngår omfattende logistikk før man finner en egnet kjøper.</p> <p>Bygningskomponenter tar mye plass. Å finne lagerlokaler for mellomagring lokalt, spesielt i tett by</p>	<p>En sirkulær byggeprosess utfordrer de lineære byggeprosessene prosjektutviklere er vant med</p> <p>Usikkerhet knyttet til hvilke komponenter som dukker opp, prisen på dem, og hva slags kvalitetssikringsrutiner som trengs.</p>	<p>Prosjektering med utgangspunkt i tilgjengelige komponenter, som krever fleksibel utforming og mulighet for skreddersøm underveis</p> <p>Informasjon om hvilke komponenter man kan få tak i, og tilgang på store kvanta av de samme komponentene</p> <p>Styring av leveranser av materialer</p>	<p>Materialer som ikke er kvalitetssikret godt nok på forhånd, behov for skreddersydde løsninger, justeringer og tilpasninger på byggeplass.</p>	<p>Standard kravspesifikasjoner hos mange leietakere</p> <p>Kortsiktige leiekontrakter.</p>	<p>Komponenter med mer behov for vedlikehold og kortere restlevetid enn konvensjonelle bygningsmaterialer.</p> <p>Garantier dersom noe går galt</p>
Regulatoriske barrierer	<p>Mangelen på konkrete, målbare krav til ombrukbarhet i nye bygg.</p> <p>At det ikke stilles krav om å kartlegge ombrukspotensial før riving, eller om å demontere bygg slik at ombrukbare bygningskomponenter tilgjengeliggjøres</p> <p>Materialer som inneholder helse- eller miljøfarlige stoffer,</p>	<p>At brukte bygningskomponenter som skal brukes i nye bygg må følge samme krav i Teknisk forskrift (TEK) som nye, noe som i mange tilfeller gjør oppsirkulering til dagens standard krevende og omfattende</p>	<p>Fortolkningen av den europeiske byggevareforordningen gjennom byggevareforskriften (DOK), som innebærer at brukte bygningskomponenter som skal omsettes må forholde seg til samme krav til dokumentasjon av</p>	<p>Fraværet av krav til ombruk i byggeprosjekter i TEK eller andre relevante lover eller forskrifter.</p> <p>Usikkerhet rundt regelverk knyttet til omsetning og bruk</p> <p>Manglende krav til merking eller annen synliggjøring av ombruk i nye bygg</p>	<p>Siden TEK ikke skiller ikke mellom nye og brukte bygningskomponenter er det krevende for prosjekterende å sørge for at bygg med brukte bygningskomponenter følger forskriften, og at dette kan dokumenteres.</p>	<p>At det ikke finnes regler om merking eller annen informasjon til kjøpere/leietakere knyttet til ombruk, tilsvarende energimerking.</p>		

	<p>som ifølge regelverket skal saneres eller ut av kretsløpet. Her er det ikke tatt høyde for om det kan gjøres unntak ved ombruk.</p>		<p>produktetegenskaper som nye</p> <p>Krav om bevilling dersom omsetning av brukte bygningskomponenter defineres som «brukthandel»</p>					
Markedsmessige barrierer	<p>Mangelen på systematisk innsamling og formidling av hva eksisterende bygg består av, og om noen av komponentene kan brukes igjen, noe som reduserer synligheten av den mulige innsparing ved å utvinne og tilgjengeliggjøre brukte bygningskomponenter. Dette reduserer tilgangen på brukte bygningskomponenter på markedet</p>	<p>Et lite marked for ombrukte bygningskomponenter med lav etterspørsel, som gjør at det oppfattes lite lønnsomt å satse på oppsirkulering av brukte bygningskomponenter til bruk i nye bygg.</p>	<p>Et lite marked med lite tilbud og lav etterspørsel av brukte bygningskomponenter gjør det utfordrende å spleise komponenter med aktuelle prosjekter, noe som gjør logistikken omfattende og kostbar. Få vil ta imot oppsirkulerte komponenter</p>	<p>Få gjennomførte eksempler på hvordan ombrukskomponenter har blitt brukt i nye byggeprosjekter i Norge som kan være forbilder for nye prosjekter og skape etterspørsel blant prosjektutviklere</p>	<p>Et lite marked med lite tilbud av brukte bygningskomponenter, som gjør det vanskelig å finne egnede komponenter, særlig med en tidshorisont som gjør det mulig å inkludere dem i prosjekteringsunderlaget.</p>	<p>Et lite marked, som gjør det vanskelig å finne byggefirmaer med kompetanse på bygging med brukte bygningskomponenter</p>	<p>Markedet for salg/utleie av bygg som er bygget av ombrukskomponenter er så lite at etterspørselen ikke vil være synlig. Manglende synlighet gjør det vanskelig å bygge opp mer etterspørsel.</p>	<p>Vanskelig å erstatte brukte bygningskomponenter som er ødelagt eller må byttes ut med nye, siden man ikke nødvendigvis finner tilsvarende.</p>
Økonomiske barrierer	<p>Skånsom demontering av bygg og tilgjengeliggjøring av brukte bygningskomponenter er gjerne mer kostbart enn å rive maskinelt og deponere eller brenne materialene. Norge er et høykostland, og potensialet for inntjening av denne kostnaden ved å selge komponentene videre eller bruke dem selv vil ofte ikke være høy nok, og utfallet for usikkert slik markedet for bygningskomponenter fungerer i dag.</p>	<p>Dagens regelverk gjør det kostbart og tidkrevende å teste og dokumentere ombrukte bygningsmaterialers tekniske egenskaper, særlig dersom de skal videreselges.</p> <p>Et lite utviklet marked gjør investeringer i oppsirkulering usikre.</p>	<p>Kostbare og omfattende logistiske løsninger med mellomtransport og -lagring som følge av et lite utviklet marked</p>	<p>Usikkerhet i prosjektutviklingsleddet som følge av at dette er nybrottsarbeid slår ut negativt ut på utbyggers kalkyler.</p> <p>Utvikler må påberegne ekstra tid og dermed kostnader knyttet til riving, innhenting av materialer, kvalitetssikring prosjektering, bygging og administrasjon. Disse kostnadene i dag gjenspeiler ikke nødvendigvis kostnadene i fremtiden, da mye skyldes utvikling av rutiner til kvalitetssikring tolkning av regelverk, og annet utviklingsarbeid.</p>	<p>Siden prosjektering med ombrukskomponenter er tidkrevende vil det innebære høyere kostnader i prosjekteringsfasen enn bruk av konvensjonelle materialer for prosjektutviklerne. De prosjekterende selv har imidlertid ingen åpenbare økonomiske ulemper ved å anvende brukte bygningskomponenter.</p>	<p>Bygging med ombrukskomponenter krever gjerne flere tilpasninger og vil dermed innebære mer arbeid. I en tid med stadig mer automatisering av byggebransjen er ikke dette en ulempe for de som er ansvarlige for byggingen, men kan medføre høyere kostnader for utbygger.</p>	<p>Det er ingen direkte økonomiske insentiver for kjøpere/leietakere av bygg med ombrukskomponenter tilsvarende energieffektive bygg.</p> <p>Dersom man er villig til å gjøre litt egeninnsats kan det bli mye rimeligere med ombruk pga. lavere kostnad til materialer.</p>	<p>Behovet for vedlikehold av ombrukskomponenter vil kunne være større, og dermed koste mer enn konvensjonelle materialer</p>

Kunnskapsmessige barrierer	<p>Manglende kunnskap om hvilke verdier byggeiere og samfunnet går glipp av dersom man ikke demonterer bygg for fremtidig ombruk</p> <p>Manglende kunnskap om demontering av bygg og tilgjengeliggjøring av brukte bygningskomponenter</p> <p>Manglende kunnskap om hva som er lov å ombruke</p>	<p>Begrepsforvirring og manglende kunnskap om klima- og miljøgevinsten ved ombruk og oppsirkulering framfor materialgjenvinning og energiutnyttning</p>	<p>Manglende kunnskap om at det finnes et marked for omsetning av brukte bygningskomponenter</p>	<p>Manglende kunnskap og erfaring om hvordan man organiserer og strukturerer en sirkulær byggeprosess</p>	<p>Manglende kunnskap om prosjektering med ombrukskomponenter, samt lite erfaring med å håndtere prosesser rundt kvalitetssikring og dokumentasjon</p> <p>Digitalisert informasjon om brukte bygningskomponenter er mindre tilgjengelig for de som prosjekterer enn nye komponenter</p>	<p>Manglende kunnskap og erfaring med å bygge ved hjelp av ombrukte komponenter, samt lite erfaring med å håndtere prosesser rundt kvalitetssikring og dokumentasjon</p>	<p>Kunnskap om i hvilken grad bygg består av ombrukte komponenter, at ombruk av bygningskomponenter er mulig, og miljøfordelene med ombruk framfor «bruk og kast»</p>	<p>Manglende kunnskap om varighet og vedlikehold av brukte bygningskomponenter.</p>
Holdningsmessige barrierer	<p>Holdninger om at det er enklere og billigere å rive og kaste enn å bruke på nytt.</p>	<p>Holdninger om at oppsirkulering ikke er noe å satse på</p>	<p>Holdninger om at man ikke vil få avsetning på brukte bygningskomponenter, og at det ikke er vits i å ta vare på dem</p>	<p>Holdninger om at det er dyrt og tungvint å satse på ombruk, og at ombruk kun er for spesielt interesserte</p>	<p>Holdninger om at prosjektering med brukte bygningskomponenter er krevende, gir et utilfredsstillende estetisk resultat eller ikke er like bra</p>	<p>Holdninger om at bygging med brukte bygningskomponenter er unødvendig, dyrt og krevende</p>	<p>Holdninger om at nye komponenter har bedre kvalitet enn brukte, og at ombruk er en «stil» eller for spesielt interesserte</p>	<p>Holdninger om at bygninger skal være «vedlikeholdsfrie», dvs. ha en lang, men begrenset levetid</p>

Executive summary

On behalf of Enova, Asplan Viak has conducted a study of the potential for emissions reductions and barriers against use of low-carbon construction materials. The aim is that the study should contribute to a targeted effort to stimulate the use of low-emission materials in the construction sector.

Part 1: Methodology and tools for greenhouse gas (GHG) calculations

Part 1 of the assignment has included mapping of methodologies and tools that are used to calculate greenhouse gas emissions from building materials, as well as highlighting the fundamental differences between them.

There is much uncertainty related to what causes variation in calculations. How much of the difference in calculated emissions is due to methodology as opposed to actual choices made in the projects has sometimes led to the conclusion that GHG calculations are only "a game of numbers". Weakened confidence in how well greenhouse gas calculations actually work as a guideline for, and documentation of what are the most climate-friendly solutions is a problem for the industry, but not least weakens the potential for realising more climate-friendly construction projects.

The aim of the development of a Norwegian standard for GHG calculations of buildings (NS 3720) has been to make GHG calculations for buildings more comparable with each other. Therefore, it is recommended that requirements are set to ensure that calculations are in accordance with the standard. Requirements for GHG emissions should be set holistically for the entire construction, and not at material or building component level. This provides flexibility so that the individual project can choose the measures that are most appropriate and cost-effective for the building as a whole. The calculated reference levels and potentials for emissions reductions presented in this report can be used as a starting point for defining framework requirements for GHG emissions for materials in construction projects.

It is crucial that any greenhouse gas calculation is viewed in the light of the assumptions used. Methodological frameworks provide guidelines for how calculations are to be carried out, but LCA competence is still a prerequisite for preparing good analyzes, also when using dedicated calculation tools. The most important thing to ensure comparable calculations will always be transparent documentation of methodology, system limits, emission factors and scenarios. Sensitivity assessments can also significantly improve the function of greenhouse gas calculations as an aid in decision making, by highlighting what are the most important premises for the conclusions presented to be valid. Better awareness of uncertainty makes calculations and conclusions more robust, and more widespread use of sensitivity calculations can increase confidence in GHG calculations at a general level.

Part 2: Potential for reducing greenhouse gas emissions from use of construction materials

Which choices of materials and solution that will result in low greenhouse gas emissions depends upon the context of the building as a whole. Although one material may have lower emissions per unit compared to another, there may be other conditions and technical properties that affect the sum of materials use in the building, and which may have an impact on the building's overall climate footprint.

What can be described as climate-friendly materials is largely dependent upon the following:

- Average production technology and market developments

- Technical properties of the considered solution and in the building as a whole
- Robustness and expected service life

In this report, we define climate-friendly materials as materials and solutions that are considered to cause low emissions of greenhouse gases, compared with similar conventional products in the Norwegian market, as of 2020. Emission levels for conventional products have been defined on the basis of what is considered a "typical" production method for a given product or materials type.

As a starting point for estimating the potential for reducing emissions from materials use in buildings, we have calculated reference levels for emissions from materials use for different building types. The reference levels are used on calculation models developed through studies for DiBK and the Oslo Municipality Climate Agency. The scope of the calculations is materials production, transport of materials to the construction site and replacement during the life of the building (60 years).

The calculations include the following building categories:

- Office
- School
- Residential block
- Commercial building
- Nursing home
- Detached house
- Basement (heated and non-heated)

We have chosen to delimit which materials are assessed based on the materials that account for 90% of the total building mass. A total of 15 material groups have been assessed. In order to estimate the potential for emissions reductions, we have replaced standard materials in the model buildings with the most climate-friendly alternatives available in the Norwegian market today. The intention is that these low-carbon buildings will represent best available technology (BAT) for climate-friendly materials, so that the difference in calculated emissions between the reference levels and the low-carbon buildings shows the potential for emission reduction at building level.

In the low-emission buildings, we have not changed the solutions in the load-bearing system or slabs, but substituted standard materials with the most climate-friendly alternatives within in materials group (for example, low-carbon concrete in hollow core slabs). Where the choice of materials does not affect solutions in other parts of the building, however, we have also altered solutions, if this leads to reduced emissions (for example, replacing ceramic tiles with vinyl).

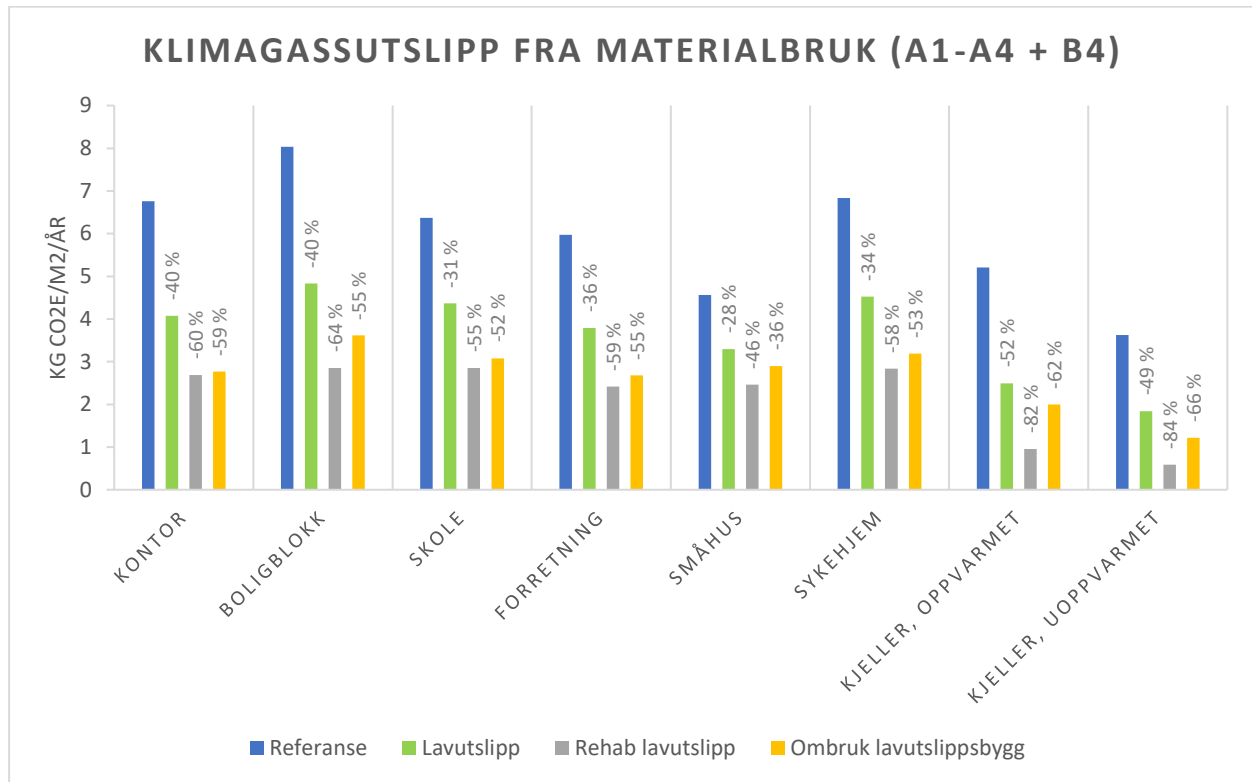
Concrete accounts for by far the largest share of total mass in the model buildings. For the building categories we have assessed, concrete makes up around 80 % of the total mass, with the exception of the detached house. Replacing all cast-in-place concrete in the model buildings with low-carbon Extreme produces a total emissions reduction of 10 %, on average for all building categories. Correspondingly, replacing standard concrete in hollow core slabs with low-carbon Extreme gives an overall emissions reduction of 8 %, on average.

Steel in columns and beams accounts for 1-3 % of total mass for the model buildings, but 9-20 % of total emissions (with the exception of for the detached house, which has a wood superstructure). Using steel columns and beams with a higher proportion of scrap steel entails an overall emissions reduction of 6 %, on average for the model buildings.

In addition to selecting low-carbon steel and concrete products, the following measures have been used as a basis for calculating the reduction potentials:

- Untreated pine exterior cladding
- Replacing ceramic tiles with vinyl

- Replacing all insulation without specific requirements for compressive strength with glass wool
- Wood shingle roof for detached house
- Most climate-friendly product options for plaster, floor coverings and screeds



The estimated emissions reduction varies from 28 % for detached house, to 52 % for heated basement. On average, excluding basement, the calculated emissions reduction is 35%, for low-carbon buildings compared with the reference levels. As detached houses consist mostly of climate-friendly materials, largely wood, the reduction potential is less than for the other building categories.

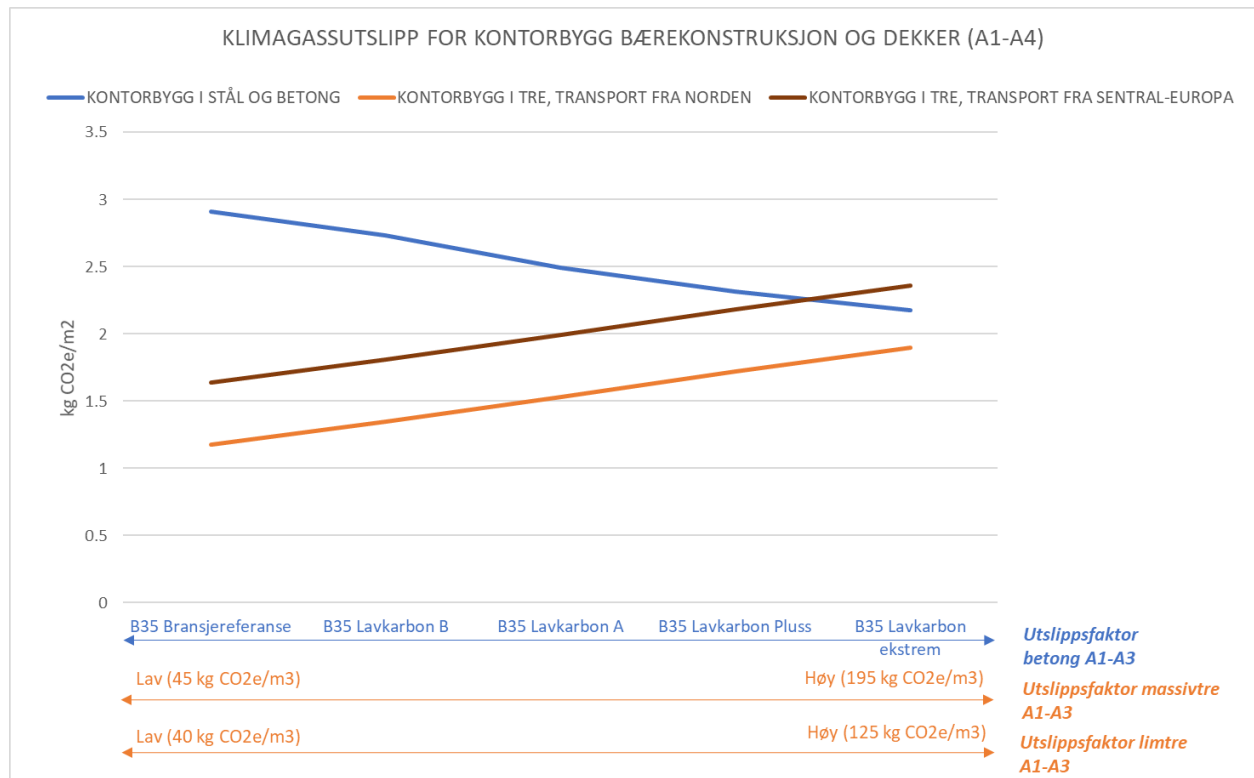
The results show an average calculated potential for emission reduction in rehabilitated low-carbon buildings of 57%, on average for the building categories (excluding basements). There is thus a significantly increased potential for emissions reduction from material use if rehabilitation is combined with using the most climate-friendly materials on the market, compared with constructing new low-carbon buildings.

Assumptions regarding transport distances for materials are of great importance for the calculation results. If a significantly larger proportion of the materials can be procured from Norway, the calculated reduction potential increases from 35% to 39% on average.

The supply of the most climate-friendly low-carbon types is limited in some parts of the country. For buildings constructed at locations where the supply of low-carbon concrete is limited, the climate benefit of using pre-cast concrete elements with low-carbon extreme concrete, compared with low-carbon class A, will be offset by increased transport emissions if the elements are transported more than approx. 450 km.

In order to obtain a broader assessment of how the choice of overall construction solutions affect emissions, we have provided a practical example of a building with alternative solutions for the superstructure. The calculations include a comparison of emissions from materials contained in the structural system and slabs for a single 3-storey office building. A concrete/steel structural system has been compared with a wooden solution. The purpose is to illustrate how emissions vary with

overall chosen solution. To show how variation in emissions between different products within each material group affects the comparison, we have performed the calculations for a range in emissions per unit for both concrete and wood. In addition, we have considered two different transport distances for wood products, as well as standard steel products vs. most climate-friendly steel products on the market.



The figure shows the calculation results for standard emission values for steel. The difference in emissions between the concepts varies from 60 % lower emissions for the wood structural system (lowest emission factors, industry reference concrete, wood transported from supplier in the Nordic countries), to 9 % higher emissions (highest emission factor for wood, low carbon extreme, wood transported from supplier in Central Europe), compared to the solution with steel and concrete.

The intersections between the curves show that concrete production emissions must be lower than low-carbon plus, and that the wood used must be transported far (and have high production emissions) in order for the concrete structural system to have the lowest emissions. If the most climate-friendly steel products on the market are used, the precondition for the concrete solution to be more climate friendly than the wood solution, is that the concrete has emissions lower than low-carbon class A, and that wood products have production emissions exceeding 120 kg CO2e / m³ and are transported over a long distance to the construction site.

If we include all parts of the building, and not just the structural system, the potential for emission reduction as a result of changing the structural system concept will be in the magnitude of 10-30 %. It is important to emphasize that the use of concrete and wood in buildings are not in opposition to one another. There are more and more examples of projects that have utilized wood and concrete in synergy, to take advantage of the technical properties of both materials to optimize material use and minimize GHG emissions.

Part 3: Barriers against use of climate-friendly construction materials

There are many factors that prevent climate-friendly materials and reusable components from being chosen over more conventional building materials in Norway today. In part 3 of the report, we have


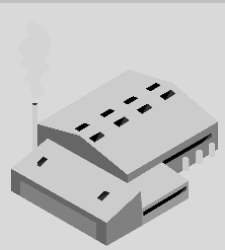
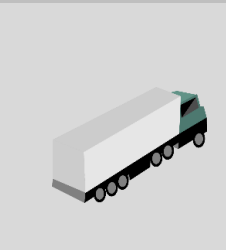
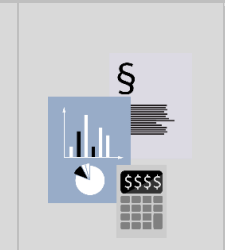
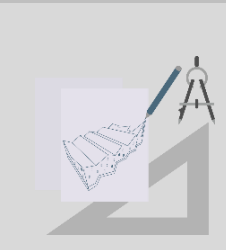
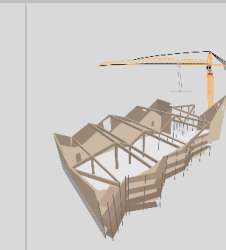

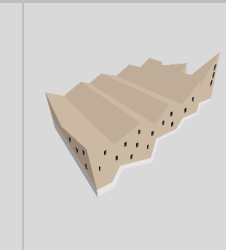
tried to categorize these barriers by type and link them to the value chain for building materials and components. The value chain approach makes it easier to propose concrete and targeted measures to reduce the barrier effect.

There are many similarities between barriers against the use of climate-friendly materials and against reusable components. The biggest barriers in both cases are higher costs (whether real or experienced), lack of supply and demand and poorly adapted requirements and guidelines in national and municipal regulations. Since the use of climate-friendly materials and reusable components in many ways is still in the innovation phase, there exist practical and technical obstacles to use, but none that cannot be solved with the right measures. We have already started to see several good examples of this. Targeted economic and regulatory measures (carrot and stick), combined with spreading know-how and changing attitudes, will probably improve the market situation in the long run, and make it more profitable to use climate-friendly materials and reuse building components.

Concerning climate-friendly materials, a lot has already happened in recent years, and the picture has begun to change. Often ingrained perceptions, lack of knowledge and negative attitudes can be just as pervasive as actual costs in preventing more widespread use. However, there is still a long way to go before climate-friendly alternatives become so widespread that the distinction between climate-friendly and conventional disappears. Investments in new solutions, such as environmental declarations for building materials, innovative techniques for wood construction or methods for carbon capture cost money. Here, we are dependent on the authorities following up with financial support schemes and regulations that set requirements for the industry in order for the climate-friendly solutions to be easily implementable and economically competitive. We also depend on initiatives to increase knowledge and change attitudes to be implemented in all stages of the value chain, and that pilot projects are carried out which can be good examples of both process and results, and which can help build trust around methods for assessing climate-friendly materials use, and make climate-friendly buildings attractive to all actors in the value chain.

Reuse has a general advantage over new materials in the sense that there exists a direct socio-economic benefit at the other end, because we conserve resources. However, because the reuse of building components is considered to be more in the innovation stages in Norway, compared to using new climate-friendly materials, there are high investment and development costs, as well as limited knowledge about the opportunities that exist, and many have negative attitudes. The fact that reuse lags a bit behind means that many of the barriers that previously existed to the use of climate-friendly materials must now be overcome in order to increase reuse. Here we can learn a lot from how we have worked with climate-friendly materials to reduce barriers. However, the reuse of building components are faced with greater regulatory challenges than the use of new climate-friendly materials, as current regulations related to the sale and use of building materials are not adapted to reuse. This must be solved or circumvented in order for reuse to become a cost-effective and thus a real alternative in the mass market.

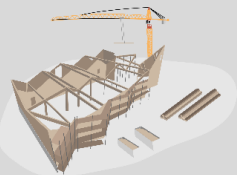

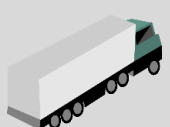

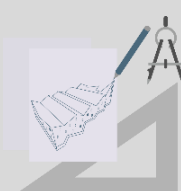
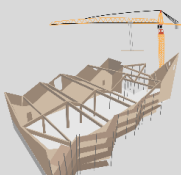

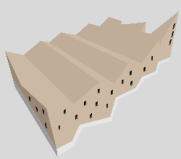
Summary of barriers against the use of new climate-friendly construction materials

		POSITION IN THE VALUE CHAIN						
BARRIERS	 Extraction of raw materials	 Production of building components	 Logistics	 Project development	 Project design	 Assembly/construction	 Sale/rental	 Use/maintenance
Technical and practical barriers	Even if developments go in the right direction, it may still be difficult to find climate-friendly building components for all purposes with similar technical properties as conventional ones, and further research and development is needed, both on new and "old" climate-friendly materials.		The logistics of obtaining climate-friendly materials that are not produced locally in Norway can be extensive and impractical Large regional differences in access to the stricter classes of low-carbon concrete Lack of documentation on technical properties for some climate-friendly materials	Lack of securing of goals related to greenhouse gas emissions, goal management and follow-up throughout the process	Lack of targeted and integrated collaboration between environmental consultants, architects and other designers can make it challenging to use climate-friendly materials. Ex. massive wood and fire and acoustics requirements. Compressive strength for insulation	Requirements for rapid construction processes limit the potential for choosing climate-friendly alternatives		Innovative methods can present building technical challenges in the use phase
Regulatory barriers	Lack of regulatory requirements for environmental documentation (EPD) for building materials		Lack of requirements for greenhouse gas emissions that include transport of materials to construction sites.	Lack of requirements for climate-friendly material use for new construction or rehabilitation in Building Technical Regulations (TEK) Lack of requirements to perform greenhouse gas assessments in a life cycle perspective that will make greenhouse gas emissions visible through material use Uncertainty about what municipalities can demand in connection with. spatial planning and what are the best tools		Lack of requirements for greenhouse gas assessments that can make greenhouse gas emissions visible in connection with material use for those considering buying or renting a building		
Market barriers	The supply of climate-friendly building components may be limited.	A less developed market for climate-friendly materials, with large local differences	Demand for climate-friendly materials is too low, especially among housing developers. It is first and foremost future-oriented	There are fewer designers who can and will use climate-friendly materials than	There are fewer contractors who can and will use climate-friendly materials, which reduces the demand for climate-friendly	Perceived and real demand for climate-friendly material use is still low, especially in the housing market. Demand		The supply of climate-friendly building components may be limited.

	Market conflict between manufacturers prevents a concerted effort to increase demand	An increasingly globalized and centralized production of building components increases the need for transport in connection with material use, especially in less central parts of the country	developers of commercial buildings and public buildings who have led the development.	conventional materials	materials in the construction phase.	is rising in certain segments of the business market.		Market conflict between manufacturers prevents a concerted effort to increase demand
Economic barriers	<p>ESome climate-friendly raw materials and building components can be more expensive because they are new on the market, produced in smaller quantities and have development costs that must be paid down.</p> <p>Other climate-friendly materials are more expensive because they require more manual processing.</p> <p>Carbon capture in cement production results in lower greenhouse gas emissions for concrete products, but investment costs are high.</p>		The production of building components is increasingly automated and centralized to save costs. More affordable production conditions mean that long-distance materials become competitive in price and can be chosen over the short-traveled ones, even when climate-friendly materials are given priority.	<p>Higher costs as a result of risk premiums with involved actors who do not have experience with climate-friendly materials</p> <p>Little empirical evidence on costs of climate-friendly material use in Norway.</p>	<p>Designing with climate-friendly materials can be more expensive if it involves unusual solutions that require more facilitation, targeted interaction and involves a greater risk of unforeseen events.</p> <p>In addition, there will often be a greater need for more early-phase planning / engineering than in conventional projects, especially if a comprehensive concept is also to be developed to reduce greenhouse gas emissions..</p>	The extent to which construction with climate-friendly materials is cheaper or more expensive than conventional materials varies depends more on the degree of prefabrication and the speed of the construction process.	It is difficult to get a return on investment in climate-friendly materials, especially in the housing market. In the business market, there is a somewhat higher willingness to pay, but in the housing market, at least in and near the big cities, there is little to go on in the first place.	No direct financial gain from owning or renting a climate-friendly building
Knowledge barriers	<p>Limited access to good and reliable documentation of the climate footprint of building components, such as environmental declarations (EPDs). EPDs often requires special expertise to be used correctly.</p> <p>Lack of technical documentation for some climate-friendly materials.</p>		<p>Limited knowledge of the importance of transport for greenhouse gas emissions in connection with material use</p> <p>Assessments of greenhouse gas emissions in connection with transport must be adapted to the location of the project in question, which requires special expertise</p>	<p>Lack of experience with and knowledge of the use of climate-friendly materials among project developers</p> <p>Many customers lack knowledge about EPDs and how to set requirements for climate-friendly material use in construction projects.</p> <p>Framework agreements can bind project developers to use products with a worse climate</p>	Lack of knowledge among many designers about which materials are most climate-friendly, and not least about the need for comprehensive assessments of the climate impact of different material concepts in different projects, including emissions in connection with transport	Lack of knowledge and experience of building with climate-friendly materials	<p>Lack of knowledge about climate-friendly material use in general, and climate emissions in connection with material use in specific projects</p> <p>Lack of labeling schemes and information about the climate footprint of buildings that are sold / rented out corresponding to energy labeling</p>	<p>Lack of knowledge about maintenance, operation and service life for some climate-friendly materials.</p> <p>Lack of knowledge about life-prolonging measures and adapted cleaning strategies.</p>

			footprint than what is on the market.				
Attitude barriers	Lack of willingness to change and belief that it will pay to invest in reducing climate emissions in the extraction and production of building components		<p>Skepticism about new and untried solutions because it entails a risk of higher project costs, and means that one must change established habits and routines.</p> <p>Attitudes that climate-friendly material use is unnecessary, expensive and complicated.</p>	<p>Many designers, and perhaps especially architects, fear a too one-sided focus on climate footprints in assessments of material use, and are negative to measures that restrict the freedom to make independent decisions.</p> <p>Fear of having to change habits and routines, and that knowledge and skills become outdated.</p> <p>Lack of knowledge about what climate-friendly materials are, how they are measured, and lack of confidence in the extent to which comprehensive assessments are made</p>	<p>Skepticism about new solutions, fear of having to change habits and routines, and that knowledge and skills become outdated.</p> <p>Lack of knowledge and confidence in assessments of how climate-friendly materials are.</p>	<p>Many people have positive attitudes to the importance of reducing greenhouse gas emissions but do not have enough knowledge or confidence in assessments of how climate-friendly materials are.</p>	

Summary of barriers against reuse

POSITION IN THE VALUE CHAIN								
BARRIERS	 Extraction of used building components (urban mining)	 Upcycling of used building components	 Logistics	 Project development	 Project design	 Assembly/ construction	 Sale/rental	 Use/maintenance
Technical and practical barriers	<p>Used building components with suboptimal quality, which are difficult to disassemble and/or contain hazardous substances or environmental toxins</p> <p>Proper and safe disassembly</p> <p>Safety routines and HSE requirements makes it necessary to clarify early on which components will be disassembled, who will do the work, and who will own the used components afterwards.</p>	<p>Ever evolving technical demands for building components can make direct reuse challenging</p> <p>Quality assurance, especially if the components are to be redesigned before upcycling</p>	<p>Rational and safe transport and intermediate storage solutions that makes sure the components keep their quality</p> <p>Avoiding excessive logistical solutions before the components reaches its destination</p> <p>Building components are heavy and take up much space. To find local storage facilities for intermediate storage, especially in urban areas can be difficult</p>	<p>A circular construction process challenge the linear construction processes project developers are used to</p> <p>Uncertainty about which components will be available, their price, and what kind of quality assurance routines are needed</p>	<p>Designing buildings with the building components that are available demands a flexible design and the possibility for tailored solutions</p> <p>Information about which components are available</p> <p>Finding large quantities of the same components</p> <p>Managing delivery of materials</p>	<p>Materials that are not quality assured beforehand, the need for tailored solutions, adjustments and adaptations on the construction site</p>	<p>Many tenants have standard requirements specifications</p> <p>Short-term rental contracts</p>	<p>Building components that need more maintenance and are further in their expected lifetime than conventional building materials</p> <p>Guaranties if something goes wrong</p>

Regulatory barriers	<p>The lack of specific regulations for reuse in new buildings</p> <p>There are no regulations that makes sure the potential for reuse is mapped before demolition, or that buildings are disassembled so that components are made available for reuse</p> <p>Materials that contain substances that are environmentally hazardous or dangerous to health, that according to the current regulations should be sanitized or taken out of the system. It has not been considered if exceptions should be made when the materials are reused.</p>	<p>Used building components must follow the same regulations in the <i>Regulations on technical requirements for construction works</i> (TEK) as new ones if they are to be used in new buildings, which in many cases make upcycling to today's standard demanding and time-consuming</p>	<p>The interpretation of the European <i>Construction Products Regulation</i> (CPR) in the Norwegian construction products regulation (DOK) is that used building components must have the same technical documentation as new ones</p> <p>A permit is required if selling used building components is defined as «second-hand trade»</p>	<p>There are no regulations demanding reuse in new construction projects in TEK or other relevant laws or regulations</p> <p>Uncertainty about the rules about reusing materials</p> <p>The lack of demands for labelling or other ways of making reuse in new buildings visible</p>	<p>Since TEK doesn't differentiate between new and used building components, it is demanding for designers to ensure that buildings with used building components comply with the regulations, and that this can be documented.</p>		<p>There are no rules requiring labelling or other information to tenants/buyers about the amount of reused components similar to energy efficiency labels.</p>	
Market barriers	<p>The lack of systematic mapping and dissemination of what existing buildings consist of, and whether any of the components can be used again, which reduces the visibility of the possible savings by extracting and making used building components available. This reduces the supply of used building components on the market</p>	<p>An underdeveloped market for reused building components with low demand makes it seem unprofitable to invest in reusing building components</p>	<p>An underdeveloped market with low supply and demand for used building components makes it challenging to connect components with the right project. This can make logistics extensive and expensive.</p>	<p>Few completed examples of how reused components have been used in new construction projects in Norway that can be role models for new projects and create demand among project developers</p>	<p>An underdeveloped market with a low supply of used building components, which makes it difficult to find suitable components, especially with a time horizon that makes it possible to include them in the design</p>	<p>An underdeveloped market, which makes it difficult to find construction companies with expertise in reuse</p>	<p>The market for the sale / rental of buildings built from reusable components is so small that demand will not be visible. Lack of visibility makes it difficult to build up more demand.</p>	<p>It is difficult to find alternatives for used building components that are damaged or need to be replaced with new ones</p>
Economic barriers	<p>Proper and gentle disassembly of buildings which makes building components available for reuse is often more expensive than demolishing and depositing or burning the materials. Norway is a high-cost country, and the potential for making up for this cost by reselling the components or using them yourself will often</p>	<p>Current regulations make it costly and time-consuming to test and document the technical properties of reused building materials, especially if they are to be resold.</p> <p>An underdeveloped market makes</p>	<p>Expensive and extensive logistical solutions as a result of an underdeveloped market</p>	<p>Uncertainty as a result of the degree of innovation in accommodating reused materials in new buildings has a negative effect on the developer's calculations.</p> <p>The developer must calculate extra time and thus costs associated with disassembly, finding materials, quality</p>	<p>Since designing with reused components is time consuming, it will involve higher costs in the design phase than the use of conventional materials for the project developers. However, the architects and other consultants themselves have no obvious financial disadvantages in</p>	<p>Construction with reusable components often require more adaptations and will thus involve more work. In a time of increasing automation of the construction industry this is not a disadvantage for builders, but can lead to</p>	<p>There are no direct financial incentives for buyers/tenants of buildings made from reused components similar to energy-efficient buildings.</p> <p>If you are willing to do some of the building yourself, it can be much cheaper with reuse due</p>	<p>The need for maintenance of reusable components may be greater than conventional materials, and thus cost more</p>

	not be high enough, and the outcome too uncertain with the market for used components being very underdeveloped.	investments in reuse uncertain.		assurance, design, construction and administration. The costs today do not necessarily reflect the costs in the future, as much of it is due to the development of routines about quality assurance, interpretation of regulations, and other research and development.	using used building components.	higher costs for the developer.	to lower cost of materials.	
Knowledge barriers	Lack of knowledge about the resources building owners and society waste by not disassembling buildings for reuse Lack of knowledge about disassembling buildings and making used building components available Lack of knowledge about which components are allowed to reuse	Confusion about terms and lack of knowledge about the benefits of reuse rather than recycling and energy utilization for the climate and environment	Lack of knowledge about the market for used building components	Lack of knowledge about and experience with circular construction processes	Lack of knowledge about designing with reused components and little experience in handling processes around quality assurance and documentation Digital information about used building components is less accessible than information about new components	Lack of knowledge about and experience with building with reused components Lack of experience with handling processes around quality assurance and documentation	Knowledge of the extent to which buildings consist of reused components, that reuse of building components is possible, and the environmental benefits of reuse over waste	Lack of knowledge about the durability and maintenance of reused building components
Attitude barriers	The attitude that it is easier and cheaper to demolish the building and throw away the building components than to use them again.	The attitude that upcycling is not worth investing in	The attitude that you will not be able to dispose of the used building components, and that therefore it is no point in storing or transporting of them	The attitude that it is expensive and cumbersome to invest in reuse, and that buildings with reused components are only attractive for certain people	The attitude that designing with used building components is challenging, gives an unsatisfactory aesthetic result or that the quality is not the same as with new materials	The attitude that building with used building components is unnecessary, expensive and challenging	The attitude that new components have better quality than used ones and the reuse is a "style" or only for certain people	The attitude that buildings should be "maintenance-free", i.e. have a long but limited lifespan

Innhold

1. BAKGRUNN OG FORMÅL MED RAPPORTEN	28
1.1. Bakgrunn for oppdraget	28
1.2. Rapportens formål	28
1.3. Avgrensning	29
2. DEL 1: METODIKK OG VERKTØY FOR KLIMAGASSBEREGNINGER	30
2.1. Metodiske rammeverk for vurdering av klimapåvirkning fra bygg og byggematerialer ..	30
2.1.1. Livsløpsvurdering, LCA	31
2.1.2. Klimagassberegninger	33
2.2. Metodiske rammeverk og beregningsverktøy for klimagassberegninger av bygninger og byggematerialer.....	34
2.2.1. Rammeverk for klimagassberegninger av byggematerialer	35
2.2.2. Rammeverk for klimagassberegninger av bygninger	39
2.2.3. Beregningsverktøy for klimagassberegninger for bygninger	41
2.3. Metodiske valg og sammenliknbarhet	44
2.3.1. Funksjonell enhet.....	44
2.3.2. Systemgrenser	46
2.3.3. Tidshorisont for klimaeffekt	50
2.3.4. Karbonbinding i byggematerialer	54
2.3.5. Allokering av gevinster fra gjenvinning.....	64
2.3.6. Beregningsmetodikk for ombruk	65
2.3.7. En lek med tall? Variasjon og usikkerhet i klimagassberegninger for materialer og bygninger	65
2.4. Viktigste hensyn ved valg av/krav til bruk av metodikk og beregningsverktøy for klimagassberegninger	69
3. DEL 2: POTENSIAL FOR Å REDUSERE KLIMAGASSUTSLIPP FRA BYGGEMATERIALER.....	72
3.1. Hva er klimavennlig materialbruk?	72
3.1.1. Ombruk av bygningskomponenter	75
3.2. Metode og beregningsforutsetninger	77
3.2.1. Modellbygg for referansenivåer	77
3.2.2. Lavutslippsbygg.....	79
3.2.3. Kontorbyggmodell med alternative løsningsvalg i bærekonstruksjon	79
3.2.4. Systemgrenser	81
3.2.5. Utslippsfaktorer	84
3.3. Referansenivåer for klimagassutslipp fra materialbruk i nye bygg	87
3.3.1. Sammenlikning med tidligere referansenivåer.....	89
3.4. Hva bidrar til klimagassutslipp fra materialbruk i nye bygg?.....	90
3.5. Aktuelle klimavennlige materialer i dagens norske marked og potensiale for utslippsreduksjon	91
3.5.1. Konstruktive materialer	92
3.5.2. Utvendige kledningsmaterialer	97
3.5.3. Innvendige klednings- og dekkematerialer.....	100
3.5.4. Isolasjonsmaterialer.....	101
3.6. Vurdering av potensiale for videreføring av bygningsdeler ved totalrehabilitering	103
3.7. Vurdering av maksimalt ombrukspotensiale	104

3.8.	Beregnet potensiale for utslippskutt i tidligere rapporter	105
3.9.	Potensiale for reduserte utslipp fra materialbruk i bygg ved bruk av klimavennlige materialer	107
3.9.1.	Potensiale for utslippsreduksjon i nye lavutslippsbygg.....	107
3.9.2.	Potensiale for utslippsreduksjon ved å etterspørre lokale materialer	110
3.9.3.	Sammenlikning av bærekonsept for kontorbygg	111
3.9.4.	Potensiale for utslippsreduksjon i rehabiliterte lavutslippsbygg.....	114
3.9.5.	Potensiale for utslippsreduksjon i nye bygg med ombruk	115
3.9.6.	Faktorer som påvirker hvorvidt beregnet potensiale kan realiseres.....	116
3.10.	Vurdering av nasjonalt potensiale for utslippsreduksjon for nye og rehabiliterte bygg ved bruk av klimavennlige materialer	118
3.11.	Fremtidsutsikter for utslipp fra byggematerialer	120
3.11.1.	Betong og sement.....	120
3.11.2.	Trematerialer	121
3.11.3.	Stål	121
3.11.4.	Tegl.....	123
4.	DEL 3: BARRIERER MOT KLIMAVENNLIG MATERIALBRUK.....	124
4.1.	Barrierenes relevans endrer seg over tid	124
4.2.	Kategorisering av barrierer og kobling til verdikjeden	126
4.3.	Barrierer mot bruk av nye klimavennlige materialer	129
4.3.1.	Tekniske og praktiske barrierer	134
4.3.2.	Regulatoriske barrierer	140
4.3.3.	Markedsmessige barrierer	144
4.3.4.	Økonomiske barrierer	148
4.3.5.	Kunnskapsmessige barrierer.....	154
4.3.6.	Holdningsmessige barrierer.....	157
4.4.	Barrierer mot ombruk av bygningskomponenter.....	160
4.4.1.	Tekniske og praktiske barrierer	165
4.4.2.	Regulatoriske barrierer	168
4.4.3.	Markedsmessige barrierer.....	172
4.4.4.	Økonomiske barrierer.....	175
4.4.5.	Kunnskapsmessige barrierer.....	180
4.4.6.	Holdningsmessige barrierer.....	183
4.5.	Oppsummering: Viktigste barrierer mot bruk av nyproduserte klimavennlige materialer og ombruk av bygningsprodukter i dagens norske marked	185
	VEDLEGG 1: BYGNINGSGEOMETRI OG LØSNINGSVALG I MODELLBYGG.....	188
	VEDLEGG 2: MATERIALENES BIDRAG TIL MASSE OG KLIMAGASSUTSLIPP I MODELLBYGG	200
	VEDLEGG 3: JUSTERINGER I MODELLBYGG FRA ONE CLICK LCA	209
	VEDLEGG 4: UTSLIPPSFAKTORER BENYTTET I BEREGNINGER FOR MODELLBYGG	215
	VEDLEGG 5: DETALJERT BESKRIVELSE AV KONTORBYGGMODELL I BETONG OG TRE	217

1. BAKGRUNN OG FORMÅL MED RAPPORTEN

1.1. Bakgrunn for oppdraget

Den norske bygg- og anleggssektoren bidrar med et klimagassutslipp tilsvarende 9,5 millioner tonn CO₂ årlig¹, om man utelukkende ser på norske utslipp. Dette inkluderer eksport til bygg og anlegg i utlandet og energibruk til drift av bygg i Norge. Inkluderer man klimagasser knyttet til import som kan tilskrives bygg- og anleggsbransjen, så er bidraget på 13,1 millioner tonn CO₂ årlig.

Norske bygg har over tid blitt mer energieffektive takket være bl.a. stadige innstramminger i forskriftene, et effektivt virkemiddelapparat og økt betalingsvilje for energigjerrige bygg. Dette har ført til at materialvalg og byggeprosess har fått stadig større relativt betydning for byggesektorens totale klimafotavtrykk. Ingen av disse er per i dag regulert med forskriftskrav.

Gjennom utredninger for DiBK i 2019 og Oslo kommune Klimaetaten i 2020 har Asplan Viak anbefalt at det innføres myndighetskrav til klimagassutslipp fra materialbruk som et tiltak for å redusere byggenæringens klimafotavtrykk. I forbindelse med disse utredningene har vi også etablert beregningsmodeller for å identifisere standard referansenivåer for klimagassutslipp fra materialbruk for ulike bygningstyper.

Norge har forpliktet seg til å redusere sine utslipp med 40 prosent innen 2030 i forhold til 1990 og å bli et lavutslippssamfunn i 2050. Norge har imidlertid i dag høyere utslipp enn i 1990². Regjeringens strategi for 2030 legger imidlertid rette for betydelige utslippsreduksjoner nasjonalt³.

Enova ønsker gjennom sine virkemidler å bidra til å redusere klimagassutslipp fra materialbruk i bygg for å raskere, billigere og mer effektivt nå lavutslippssamfunnet. På sikt er målet at aktørene velger lavutslippsmaterialer i nybygg og ved rehabilitering av eksisterende bygg. For å nå disse målene ønsker Enova et oppdatert kunnskapsgrunnlag i form av en potensial- og barrierestudie som skal bidra til en målrettet innsats for å stimulere til bruk av lavutslippsmaterialer i byggesektoren.

Den norske økonomien er kun 2.4 % sirkulær, ifølge Circularity Gap Report Norway 2020⁴, den første analysen av Norges forbruk av viktige råstoffer som verden kan gå tom for. Bygg- og anlegg er den sektoren med størst forbruk av råmaterialer, 24.8 % av den nasjonale totalen. BAE-sektoren står også for 20 % av avfallsproduksjonen, hvorav kun 28.8 % blir gjenvunnet. Rapporten peker på ombruk og levetidsforlengende tiltak som de viktigste grepene for å redusere byggenæringens klima- og ressursfotavtrykk.

1.2. Rapportens formål

Oppdragets formål er å utarbeide et kunnskapsgrunnlag som belyser potensialet for reduksjon av klimagassutslipp fra materialer i nybygg og ved rehabilitering av eksisterende bygg, samt å identifisere barrierer for hvorfor potensialet ikke blir realisert. Dette omfatter både å oppsummere eksisterende publiserte analyser og utredninger, og å utføre en ny analyse som kvantifiserer potensialet for utslippskutt knyttet til materialbruk i bygninger.

Studien skal både vurdere bruk av nyproduserte materialer med lave utslipp fra produksjon og gjenbruk/ombruk av byggematerialer. Kunnskapsgrunnlaget skal kunne brukes blant annet av Enova

¹ Per 2017, beregnet av Asplan Viak:

https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp_bae_2019.pdf

² https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2651382/NIBIO_RAPPORT_2020_6_20.pdf?sequence=4

³ <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-41-20162017/id2557401/>

⁴ https://de312f73-4ba4-4a83-b0e6-01dc20f54c34.filesusr.com/ugd/8853d3_10c82f55af6945859552f6674ee0a5bc.pdf

til å utvikle virkemidler. Kartleggingen av barrierer mot bruk av nyproduserte klimavennlige materialer og ombruk skal tydeliggjøre potensialet og hvor barrierene er, både i markedet og verdikjedene, og danne et kunnskapsgrunnlag for å utvikle virkemidler for å kunne påvirke markedet.

Oppdraget består av 3 deler:

Del 1: Kartlegging av metodikk for utslippsberegninger

Del 2: Potensial for å redusere utslipp fra materialer og komponenter

Del 3: Barrierer mot anvendelse av klimavennlige materialer

Rapporten er inndelt i henhold til de 3 delene. Hver er i seg selv store temaer, som totalt har gjort dette til en lang rapport. Hver del kan i prinsippet leses for seg, uavhengig av de andre, og vi har forsøkt å i størst mulig grad benytte referanser der drøfting i de ulike delene bygger på hverandre.

1.3. Avgrensning

Tema for denne rapporten er klimapåvirkning fra byggematerialer, det vil si effekt av produksjon, transport, bruk og avhending/ombruk av byggematerialer på globalt klima. Andre typer miljøpåvirkning er ikke omtalt, og begrepet «utslipp» brukes derfor synonymt med klimagassutslipp.

Bygningers klimafotavtrykk påvirkes av energibruk og transport av byggets brukere i drift, i tillegg til produksjon av byggematerialene det består av og aktiviteter i byggefasen og ved riving/rehabilitering. Tema for denne rapporten er imidlertid kun materialbruk, og derfor vil ikke de øvrige aspektene som påvirker klimafotavtrykket omtales.

2. DEL 1: METODIKK OG VERKTØY FOR KLIMAGASSBEREGNINGER

Klima- og miljøberegninger i ulike former har blitt mer og mer utbredt de siste årene. I Norge har det spesielt vært en oppblomstring av miljøberegninger knyttet til byggsektoren. Dette har vært motivert av en rekke ulike initiativ, der bl.a. krav om miljøvaredeklarasjoner (Environmental Product Declaration, EPD) har bidratt til en betydelig akselerasjon i utviklingen av miljødokumentasjon for byggevarer. Videre har krav fra ulike programmer (f.eks. Futurebuilt, Framtidens byer, ZEB/ZEN) og miljømerkeordninger (f.eks. BREEAM-NOR, CEEQUAL og Svanen) spilt en vesentlig rolle gjennom å belønne prosjekter og materialer med god og dokumentert miljøprestasjon.

Felles for flere av de ovennevnte miljørelaterte initiativene for byggsektoren, er at de har et såkalt «fotavtrykksperspektiv» eller «livsløpsperspektiv». Dette betyr at man ikke avgrenser vurderingen til utslipp knyttet til driftsfasen av bygget, men også inkluderer utslipp fra produksjon av byggematerialer, konstruksjon, drift og avhending av byggene. Dette skiller seg fra byggeforskriftene, hvor energibruk i driftsfasen har vært det viktigste området. Etter hvert som byggekravene har blitt strengere, reduseres energibehovet i drift, og materialenes miljøpåvirkning i løpet av livsløpet til bygget blir relativt sett viktigere.

Del 1 skal besvare følgende spørsmål:

- a) Hvilke ulike metoder er de mest aktuelle for beregning av klimagassutslipp fra byggematerialer (inkludert produkter og komponenter)?
- b) Hva er de prinsipielle forskjellene mellom de ulike metodene?
- c) Hva er viktigste ulemper og fordeler ved de ulike metodene i praktisk bruk?
- d) Hvorfor benyttes ikke verktøy for utslippsberegninger i større grad i markedet i dag?

For å besvare disse spørsmålene vurderer vi det som relevant å skille mellom ulike aspekter som omhandler bruk av metodikk:

- Aktuelle overordnede metodiske rammeverk
- Ordninger der slik metodikk er lagt til grunn for å systematisere vurderinger av klimapåvirkning på produkt- og bygningsnivå
- Dedikerte beregningsverktøy for klimagassberegninger som benyttes for å gjennomføre vurderinger iht. det metodiske regelverket

I dette kapitlet drøfter vi spørsmålene for alle tre aspektene over.

Relevante temaer som vil trekkes frem er:

- omfang for beregninger (systemgrenser i tid og rom)
- bruk av og krav til datagrunnlag for beregninger
- metoder for å vurdere måloppnåelse (herunder bruk av referansebygg)
- fremstilling og bruk av resultater
- sammenliknbarhet for resultater på tvers av metoder, verktøy og systemer
- omfang for arbeid og krav til spesialkompetanse

2.1. Metodiske rammeverk for vurdering av klimapåvirkning fra bygg og byggematerialer

I dette kapitlet redegjør vi for hvilke ulike overordnede metodiske rammeverk som er de mest aktuelle for beregning av klimagassutslipp fra byggematerialer (inkludert produkter og komponenter), samt hva som er de prinsipielle forskjellene mellom dem.

Spesifikke rammeverk for beregninger innen ulike ordninger (BREEAM-NOR, NS3720 m.fl.) og dedikerte beregningsverktøy som baserer seg på de overordnede metodikkene omtalt her (One Click LCA o.l.) er omtalt i kapittel 2.2.

2.1.1. Livsløpsvurdering, LCA

Livsløpsvurdering (Life Cycle Assessment, LCA) er en metode for å beregne de totale (direkte og indirekte) miljøkonsekvensene knyttet til å levere en bestemt funksjon. I motsetning til metoder som ser på totale strømmer av materialer eller økonomiske transaksjoner (hhv. materialstrømsanalyse⁵ og kryssløpsanalyse⁶), knytter LCA forbruk av ressurser og energi til det å produsere ett gitt produkt eller utføre en bestemt aktivitet. Funksjons-perspektivet har gjort at LCA har blitt den best brukte metodikken for å vurdere miljøpåvirkning knyttet til produkter, herunder også bygninger.

LCA-metodikken utviklet seg fra tidlige studier på 70-tallet gjennom et større initiativ fra Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), og er senere blitt standardisert i ISO14040 og 14044. Hovedprinsippet i LCA er at man betrakter utslipp over hele livsløpet for et bygg eller anleggsprosjekt når man skal vurdere eller stille krav til klimaprestasjon. For å modellere fremtidige utslipp fra drift og vedlikehold vil man måtte bruke scenarier, som introduserer usikkerhet i analysen. Dette er nødvendig for å ivareta det helhetlige perspektivet. Dersom man for eksempel avgrensere beregninger til kun å vurdere utslipp i utbyggingsfasen, risikerer man å premiere bruk av mindre robuste materialer og produkter med lave produksjonsutslipp på bekostning av kort levetid.

LCA kan skjematisk inndeles i følgende steg:

- **Definisjon av mål og omfang** for analysen. Dette inkluderer å definere funksjonell enhet, hvilken kontekst resultatene skal brukes i, allokeringssprinsipper, datakilder, etc.
- **Inventaranalyse** innebærer å samle inn spesifikke miljødata for de delene av systemet som er relevant iht. mål og omfang, og strukturere dette datamaterialet på en slik måte at man kan regne ut totale utslipp fra hele livsløpet, fra «vugge til grav» for den angitte funksjonelle enheten.
- **Konsekvensanalyse** innebærer å oversette den lange listen med livsløpsutslipp fra inventaranalyse til mer forståelige aggregerte miljøpåvirkningskategorier. Et eksempel er globalt oppvarmingspotensial (GWP100) som er den vanligste måleenheten for klimapåvirkning.
- **Tolkning og analyse** er nødvendig for å gjøre resultatene fra analysen beslutningsrelevante. Dette innebærer å finne de viktigste bidragsyterne i systemet («hot spots»), det kan være sensitivitetsanalyser for å teste ut konsekvensen av variasjon i usikre forutsetninger, eller usikkerhetsanalyser.

For bygg og byggevarer er det spesielt ISO14025⁷, ISO 21930⁸, NS-EN15804⁹, og PAS2050¹⁰, samt de nye standardene for økologisk fotavtrykk (Product Environmental Footprint, PEF) som er under utvikling i EU¹¹, som er aktuelle referansedokumenter. Norsk Standard for klimagassberegninger av bygninger, NS 3720, omtales under klimagassberegninger, se under.

I Norge har byggsektoren vært en pioner i bruken av LCA som analyseverktøy, og ulike varianter av LCA-metodikk er innarbeidet i populære verktøy og initiativ som BREEAM, Futurebuilt, Zero Emission Buildings (ZEB)/Zero Emission Neighbourhoods (ZEN), og EPD for byggevarer.

I LCA vurderer man vanligvis flere typer miljøpåvirkning. En LCA som kun vurderer én enkelt type miljøpåvirkning kalles en fotavtrykksanalyse. Miljøpåvirkningskategorier som ofte vurderes i LCA er blant annet klimapåvirkning, ozonnedbryting, dannelselse av fotokjemisk smog, forsurening og

⁵ Material Flow Assessment, MFA

⁶ Input Output Assessment, IOA

⁷ Environmental labels and declarations -- Type III environmental declarations -- Principles and procedures

⁸ Sustainability in building construction -- Environmental declaration of building products

⁹ Bærekraftige byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler

¹⁰ Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services

¹¹ <https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/index.htm>

overgjødning. Styrken med å vurdere mer enn én type miljøpåvirkning er at man kan avdekke motsetningsforhold mellom miljøpåvirkning for alternative valg, og dermed unngå problemforskyving (at man minsker ett miljøproblem, men øker et annet). Dette kan imidlertid også være utfordrende dersom man blir nødt til å prioritere mellom ulike miljøkonsekvenser, for eksempel klimapåvirkning versus sur nedbør. For å gjøre slike prioriteringer kreves det kunnskap om hvilke miljøutfordringer som er mest presserende, også knyttet til området de oppstår (for eksempel vil overgjødningseffekten av fosforholdige utslipp variere med hvor de skjer). Å kommunisere LCA-resultater for flere miljøpåvirkninger kan dermed være utfordrende, og analyser uten en entydig konklusjon om hva som er de mest miljøvennlige valgene kan fremstå lite hjelpelige for en beslutningstaker som ikke besitter ekspertkompetanse på temaet.

For di klimagassutslipp har like stort potensiale for å påvirke globalt klima uavhengig av hvor på kloden de oppstår, er klimapåvirkning enklere å forholde seg til enn miljøpåvirkninger der effekten er geografisk betinget, som overgjødning. Økt politisk trykk på klimatiltak har dessuten ført til at klimapåvirkning har kommet stadig høyere på prioriteringslisten for aktørene som etterspør miljødokumentasjon for byggevarer og bygg. Dette har ført til at klimafotavtrykksvurderinger, også kalt klimagassberegninger, har blitt mer utbredt enn fullverdig LCA i byggebransjen i senere år.

I dag er LCA anerkjent som det mest hensiktsmessige metodiske rammeverket for å vurdere klimagassutslipp, fordi LCA gir et mest mulig helhetlig bilde av hvordan utslipp oppstår over livsløpet og gjennom verdikjeden. Det er også viktig at vurderinger som skal danne grunnlag for myndighetskrav bygger på allment aksepterte metodiske retningslinjer innenfor LCA/klimagassberegninger.

2.1.1.1. Analyseperspektiv innen LCA

Innenfor LCA finnes det to ulike analyseperspektiv:

1. Regnskaps-LCA (attributional LCA)
2. Konsekvens-LCA (consequential LCA)

Regnskaps-LCA går som navnet tilsier ut på å etablere et regnskap over ressursbruk og resulterende miljøpåvirkning. Fordeling (allokering) av miljøpåvirkning mellom produkter som oppstår fra samme prosess kan gjøres med fordelingsnøkler basert på masse, energi eller økonomisk verdi. For å regne med innsatsfaktorer i bakgrunnsøkonomien (dvs. bakover i verdikjeden, der man ikke har spesifikk informasjon) benyttes som regel verdier som representerer gjennomsnittlig produksjonsteknologi i det aktuelle markedet (f.eks. i Norge eller Europa). Se kapittel 2.3.5 for drøfting av ulike tilnæringer innen allokering. Et eksempel på fordeling av miljøpåvirkning innen regnskapstilnærmingen er å regne produksjonsutslipp fra et byggemateriale som ombrukes lik null, fordi produksjonsutslippene tilskrives byggeprosjektet der materialet opprinnelig ble benyttet.

Konsekvens-LCA prøver på sin side å belyse de direkte konsekvensene av å velge en løsning fremfor en annen. For å svare på denne typen problemstillinger er det nødvendig at vi utvider systemgrensene til å se på tilleggsfunksjoner som leveres av systemet, i stedet for å fordele miljøpåvirkningen mellom prosessene. Dermed må alle produkter i systemet undersøkes og analyseres til man forstår hvilken prosess/teknologi i samfunnet som påvirkes av en endring i systemet som analyseres. Med en konsekvens-tilnærming vil man i stedet for å regne med null utslipp fra ombruksmaterialer vurdere konsekvensen av å utnytte materialet til ombruk, og ikke til andre formål. Hvis man tar hensyn til at energien som hadde blitt produsert ved å brenne materialet i stedet for å ombruke det må erstattes med en annen kilde, har dette en konsekvens for utslipp som ikke ville blitt belyst med regnskapstilnærmingen. Konsekvens-LCA er ofte mer krevende å gjennomføre enn regnskaps-LCA, fordi man må undersøke hvordan markedene for de viktige innsatsfaktorene responderer på endringer i etterspørsel.

For å illustrere forskjellen mellom de to tilnærmingene kan vi se på en sammenlikning av to stålprodukter med ulik andel resirkulert stål. I et regnskapsperspektiv vil man regne med den angitte andelen skrapstål i hvert produkt, slik at produktet med høyest andel skrapstål vil komme best ut (gitt at øvrige forhold er identiske). I et konsekvensperspektiv vil man i stedet spørre seg hvorvidt det å etterspørre en høyere resirkulert andel faktisk vil føre til at mer skrapstål vil bli gjenvunnet i markedet, eller om dette vil føre til at man får mindre skrapstål tilgjengelig til andre produkter, som da må benytte jomfruelig stål. Se kapittel 3.5.1.2 for videre drøfting av klimapåvirkningen fra stålprodukter.

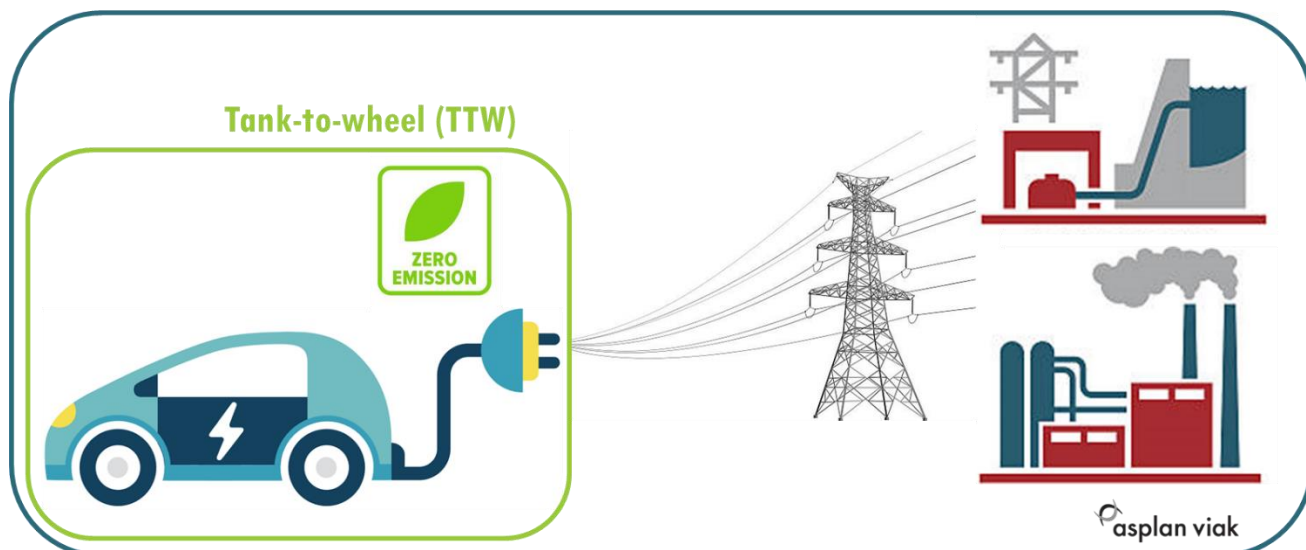
Regnskaps-LCA er den mest utbredte av de to metodene. EPDer utarbeides ved bruk av regnskaps-LCA, fordi det vanligvis ikke er kjent hvilken kontekst produktet skal brukes i. Standarden for klimagassberegninger av bygninger, NS 3720, angir at regnskaps-LCA skal benyttes. Det er imidlertid verdt å merke seg at de fleste LCA-studier i praksis benytter seg av en blanding av regnskaps- og konsekvens-perspektiv, og at det derfor ikke nødvendigvis er hensiktsmessig å operere med et strengt skille.

I det videre tar vi utgangspunkt i at det i hovedsak er regnskaps-LCA som benyttes for å vurdere klimapåvirkning fra byggevarer og bygninger.

2.1.2. Klimagassberegninger

Som nevnt over, er fotavtryksanalyse en type LCA-vurdering der man kun vurderer én type miljøpåvirkning. Begrepet klimagassberegninger brukes vanligvis synonymt med klimafotavtryksanalyse. Klimagassberegninger bygger dermed som regel på livsløpsmetodikk. Det er imidlertid ingen standardisert definisjon av begrepet, og det kan også referere til beregninger som kun omfatter direkte klimagassutslipp dvs. kun de utslippene som oppstår i samme del av livsløpet eller verdikjeden som den prosessen man analyserer. Denne typen klimagassberegning er ikke basert på livsløpsmetodikk, fordi man ikke inkluderer utslipp som oppstår i andre deler av livsløpet eller andre steder i verdikjeden.

Ved beregning av transportutslipp benyttes ofte begrepet tank-to-wheel, TTW, om klimagassberegninger der man kun regner med de direkte utslippene fra selve forbrenningsmotoren. Well-to-wheel, WTW, betegner derimot livsløpsbaserte beregninger som også inkluderer indirekte utslipp fra fremstilling av drivstoffet. Forutsetningen om at elbiler ikke genererer klimagassutslipp i drift bygger på et TTW-perspektiv, fordi utslipp forbundet med produksjon og overføring av elektrisitet ikke medregnes. Forskjellen på TTW og WTW for elektriske kjøretøy er illustrert i Figur 1:



Figur 1 Systemgrenser for LCA/klimagassberegning av utslipp fra drift av elbil ekskludert indirekte utslipp (TTW) og inkludert indirekte utslipp (WTW)

Begrepet *klimagassberegninger* vil videre i rapporten brukes i betydningen klimafotavtryksanalyse. Vi kunne også valgt å utelukkende bruke begrepet klimafotavtryksanalyse, men ettersom klimagassberegninger er det klart mest vanlige begrepet som benyttes i bransjen, og fordi det i kontekst av materialbruk i bygninger som regel alltid omhandler klimafotavtrykk (fordi materialer har lite eller ingen direkte utslippskonsekvens), velger vi å benytte klimagassberegninger.

En av de største utfordringene ved bruk av klimagassberegninger i byggebransjen har vært knyttet til manglende felles retningslinjer knyttet til beregningsmetodikk. Dette har gitt for liten grad av sammenliknbarhet mellom ulike beregninger og svekket tilliten til klimagassberegninger som beslutningsverktøy. En rapport utført for Kommunal- og regionaldepartementet i 2011 [1] konkluderte med at det ikke var grunnlag for å prioritere et byggemateriale framfor et annet når det gjelder klimapåvirkning, på grunn av manglende konsensus om valg av systemgrenser og bruk av beregningsmetodikk.

Utvikling innen produktkategoriregler (Product Category Rules, PCR) for EPD, samt innføringen av Norsk Standard for klimagassberegninger av bygninger, NS 3720, har gjort mye for å bøte på denne problematikken gjennom å angi retningslinjer for hvordan LCA-metodikk bør brukes for å beregne miljøpåvirkning for hhv. byggematerialer og komplette bygg.

2.2. Metodiske rammeverk og beregningsverktøy for klimagassberegninger av bygninger og byggematerialer

I dette kapitlet gir vi en oversikt over hvilke metodiske rammeverk og beregningsverktøy som er relevante for å vurdere klimapåvirkning for bygg og byggematerialer. Dette omfatter både rammeverk/verktøy for LCA og spesifikt for klimagassberegninger (klimafotavtrykk – se kapittel 2.1.2). Vi vil også forsøke å synliggjøre de viktigste ulemper og fordeler i praktisk bruk.

De overordnede LCA-standardene omtalt i kapittel 2.1.1 er ikke omtalt som egne rammeverk i dette kapitlet, men ligger til grunn for de øvrige rammeverkene og beregningsmetodene-/verktøyene som er nevnt. Ettersom denne rapporten kun omhandler klimagassutslipp, er det ikke kommentert hvorvidt verktøy eller rammeverk vurderer andre typer miljøpåvirkninger.

2.2.1. Rammeverk for klimagassberegninger av byggematerialer

2.2.1.1. EPD-systemet

En miljødeklarasjon (Environmental Product Declaration, EPD) er et kortfattet dokument som oppsummerer miljøprofilen til en komponent, et ferdig produkt eller en tjeneste på en standardisert og objektiv måte¹². Hensikten med miljødeklarasjoner er, i tillegg til å dokumentere miljøegenskaper til et produkt, å tillate sammenligning av to produkter som hører til samme produktkategori. Kravene til hvordan en EPD skal lages er spesifisert i ISO-standarden 14025 «Environmental labels and declarations -- Type III environmental declarations -- Principles and procedures».

En EPD lages på grunnlag av en livsløpsanalyse (LCA) iht. ISO 14040-14044. Fordi de bygger på samme standardiserte metodikk og dokumentasjonsformat, er det mulig å sammenlikne EPDer for produkter innen samme produktkategori mellom ulike produsenter, uavhengig av region eller land. EPD er et multikriteriesystem, og vurderer mange indikatorer for miljøpåvirkning og ressursbruk. I motsetning til miljømerkeordninger som Svanen eller EU-blomsten, stiller EPD-systemet ingen krav til miljøprestasjon.

Produktkategoriregler (Product Category Rules, PCR) er et sett med regler for utarbeiding av EPD for produkter av samme type. En PCR er, på lik linje med en EPD, gyldig på tvers av landegrenser. En PCR utviklet i for eksempel Tyskland kan og skal dermed benyttes for en EPD utviklet i Norge, dersom produktet inngår i produktkategorien PCRen beskriver.

Hensikten med PCR-dokumentet er å forsikre at miljødeklarasjoner utarbeides likt uavhengig av hvem som utfører jobben og å sikre sammenlignbarhet av miljødeklarasjoner innenfor en produktkategori. PCR-dokumentet spesifiserer felles mål og alle relevante beregningsregler og forutsetninger for LCA for produktkategorien, blant annet funksjonell og deklart enhet, systemgrenser, beskrivelse av data, krav til datakvalitet etc.

For å være en gyldig EPD, må dokumentet oppfylle følgende kriterier:

- Være basert på en LCA iht. ISO 14040-14044
- Oppfylle krav i ISO 14025
- Være innenfor angitt gyldighetsperiode
- Inneholde signatur fra EPD-verifikator og programoperatør

Næringslivets Hovedorganisasjon (NHO) og Byggenæringens Landsforening (BNL) etablerte i 2002 på eget initiativ Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner (EPD-Norge), hvor myndigheter, forskningsmiljøer og offentlige og private virksomheter deltar. Arbeidet finansieres av NHO, bransjeforeninger og bedrifter. Stiftelsen ivaretar Norges EPD-ordning og er programoperatør for miljødeklarasjoner i Norge. Mer enn 350 EPDer fra over 100 bedrifter er publisert og fritt tilgjengelig fra EPD-Norges nettsider. For detaljer rundt det norske EPD-programmet, vises det til EPD-Norges retningslinjer¹³.

ECO Platform¹⁴ er et internasjonalt samarbeid mellom europeiske EPD-programmer. Formålet med samarbeidet er å fremme standardisert miljødokumentasjon for byggevarer, spesielt EPD, i markeder i Europa og internasjonalt.

EPD-systemet er per i dag den ordningen for livsløpsbasert miljødokumentasjon for produkter som har størst utbredelse. Spesielt i Europa, men også ellers i verden har EPD-systemet blitt en viktig

¹² <http://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/>

¹³ [http://www.epd-](http://www.epd-norge.no/getfile.php/Dokumenter/Dokumenter%20godkjente%20verifikatorer/The%20Norwegian%20EPD-programme%20-main%20document%20rev17042014%20m%20vedlegg.pdf)

[norge.no/getfile.php/Dokumenter/Dokumenter%20godkjente%20verifikatorer/The%20Norwegian%20EPD-programme%20-main%20document%20rev17042014%20m%20vedlegg.pdf](http://www.epd-norge.no/getfile.php/Dokumenter/Dokumenter%20godkjente%20verifikatorer/The%20Norwegian%20EPD-programme%20-main%20document%20rev17042014%20m%20vedlegg.pdf)

¹⁴ <https://www.eco-platform.org/home.html>

driver for miljødokumentasjon. Ordningen har størst utbredelse, og dermed også anvendelse, for byggevarer. Posisjonen til EPD som miljødokumentasjon for byggevarer har blitt forsterket gjennom at sertifiseringssystemene BREEAM og LEED stiller krav til at miljøegenskaper for byggematerialer som benyttes i prosjekter i stor grad må dokumenteres med EPD. Også NS 3720 betrakter EPD som den dokumentasjonen med høyest datakvalitet for bruk i klimagassberegninger for bygninger.

Det finnes ulike typer EPDer:

Produktspesifikk EPD:

- **EPD for ett produkt:** En EPD for et spesifikt produkt fra en produsent/leverandør, med ett eller flere representative scenarioer for transport, installasjon, bruk og avhending. Produktet kan være produsert på flere forskjellige fabrikker, men kommer fra en leverandør.
- **Prosjektspesifikk:** En EPD for et spesifikt produkt fra en produsent/leverandør for en spesifikk kunde/prosjekt. Forskjellen fra vanlig EPD er at prosjekt-EPD'en nødvendigvis ikke registreres og publiseres på EPD-Norge da den refererer til en allerede registrert og publisert EPD og den er utarbeidet til et spesifikt prosjekt/kunde. Dette er en vanlig fremgangsmåte hvis det kan være noe variasjon mellom hver leveranse, f.eks. for betong, eller hvor kunden ønsker spesifikke data for transport (A4) og eventuelt byggeplass (A5).

Gjennomsnitt-EPD:

- **Vanlig EPD for flere produkter:** En EPD med et snitt av flere lignende produkter (f.eks. ulik overflatebehandling, ulik tykkelse, etc.) fra en leverandør/produsent. Miljøprestasjonen til produktene som er inkludert kan ikke variere mer enn +/- 10 %. For eksempel isolasjon med ulik trykkfasthet.
- **Generisk EPD eller bransje-EPD for ett produkt:** Dette er en gjennomsnitt-EPD hvor flere produsenter går sammen om å deklare samme type produkt. Det er ingen krav til hvor stor variasjon det er mellom produsentene, så lenge produktet er det samme. For eksempel gjennomsnittlig EPS-isolasjon produsert i Norge.
- **Generisk EPD eller bransje-EPD for flere produkter:** Som over, men variasjonen mellom produktene kan ikke være mer enn +/- 10 %.

EPD er en livsløpsbasert dokumentasjon. Figur 2 viser inndelingen av livsløpet med moduler, som brukes i EPD:

Systemgrenser (X = inkludert, MID = modul ikke deklarerert, MIR = modul ikke relevant)																	
Produktfase			Konstruksjon installasjon fase		Bruksfase							Sluttfase				Etter endt levetid	
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjon installasjon fase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling	Gjenbruk-gjenvinning-resirkulering-potensiale	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	MID	

A1-A3: Råvare til fabrikkport: Obligatorisk i alle EPDer

A4: Transport til byggeplass: Med i de fleste EPDer (standard transportdistanse)

A5-D: Scenario for montering, bruk, avfall og gjenbruk: Med i noen EPDer

Figur 2 Livsløpsfaser i EPD

Det er ikke påkrevd at miljøpåvirkning skal dokumenteres for hele livsløpet i enhver EPD, men miljøinformasjon skal alltid dokumenteres per deklarererte modul. Produktfasen, dvs. modul A1-A3, er obligatorisk å regne med. I tillegg skal det angis en teoretisk beregning for transport til bruker (A4).

PCR angir hvorvidt andre moduler er obligatorisk å inkludere for den aktuelle produktkategorien. Modul D er alltid frivillig å rapportere, og resultater skal alltid rapporteres separat.

Miljøinformasjon i en EPD angis iht. følgende kategorier:

- **Miljøpåvirkning** (7 kategorier, inkludert klimapåvirkning)
- **Ressursbruk** (forbruk av fornybare og ikke fornybare energiresurser, vannforbruk)
- **Avfall ved livsløpets slutt** (farlig/ikke farlig avfall og radioaktivt avfall)
- **Utgangsfaktorer ved livsløpets slutt** (material- og energiresurser til annen utnyttelse)

I tillegg er det påkrevd i norske EPDer å oppgi informasjon om innhold av farlige stoffer og forhold som har betydning for inneklimate. Eventuell annen relevant informasjon kan også angis.

Miljøinformasjon i EPD angis relativt til deklart enhet (også kalt funksjonell enhet). For natursteinproduksjon kan dette for eksempel være:

Produksjon av 1 tonn naturstein av skifer, naturplan med hugget eller saget kant, produsert, levert, installert, benyttet i 60 år og avfallshåndtert etter endt brukstid

Det må også angis årstall for analysen som ligger til grunn for EPDen.

En EPD utvikles av EPD-eier (dersom bedriften har et sertifisert miljøstyringssystem – ISO 14001 eller tilsvarende – og intern LCA-kompetanse), eller en ekstern LCA-ekspert. Etter utarbeiding må EPD-dokumentet og den bakenforliggende LCA-rapporten verifiseres av en uavhengig tredjepart. LCA-rapporten behandles konfidensielt, slik at konkurransesensitiv informasjon som er relevant for å godkjenne beregningene ikke behøver å offentliggjøres i EPD-dokumentet. EPD-Norge godkjenner uavhengige verifikatorer. Når den er godkjent, er en EPD gyldig i 5 år fra publiseringsdato.

EPD bygger på livsløpsmetodikk, men gir stor fleksibilitet til utvikler ang. hvor stor del av livsløpet som skal deklarerer. At det kun er obligatorisk å dokumentere livsløpet vugge-fabrikkport medfører at svært mange EPDer ikke inneholder informasjon om livsløpet utover dette. På den annen side er dette ofte deler av livsløpet produsent har lite eller ingen kontroll over, slik at beregninger av miljøpåvirkning uansett ville vært forbundet med høy usikkerhet. Fordi miljøinformasjon i EPD oppgis per livsløpsfase og modul, er det mulig å sammenlikne produkter der man har inkludert ulik andel av det totale livsløpet.

2.2.1.2. PEF-systemet

EU-prosjektet «Single Market for Green Products Initiative»¹⁵ har som formål å definere en felles metode i EU for å måle miljøprestasjon for produkter, kalt Product Environmental Footprint. PEF-metodikken er utarbeidet av europakommisjonens Joint Research Centre.

Regelverk for utarbeiding av PEF er gitt i Product Environmental Footprint (PEF) Guide¹⁶. Regelverket angir anbefalinger til systemgrenser og valg av miljøpåvirkningskategorier, samt krav til dokumentasjon og datakvalitet. I utgangspunktet skal alle livsløpsfaser fra vugge til grav inkluderes i PEF, med mindre det finnes gode argumenter for å utelate enkelte livsløpsfaser. Dette skal i så fall spesifiseres og begrunnes i PEFCR. Det er også utarbeidet en egen metodikk for beregning av gjenvinningsprosesser (beskrevet i Annex V i PEF Guide).

I tillegg til PEF-guiden, skal PEF utarbeides med utgangspunkt i produktkategoriregler (Product Environmental Footprint Category Rules, PEFCR). Gjennom pilotfasen som løp fra 2013 til 2018 har det blitt utarbeidet PEFCR for ulike produkttyper.

¹⁵ <http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/index.htm>

¹⁶ <http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/footprint/PEF%20methodology%20final%20draft.pdf>

PEF-systemet er svært likt EPD-systemet. På lik linje med EPD, er PEF et multikriteriesystem for produktspesifikk miljødokumentasjon med klart definerte regneregler og systemgrenser. Rammeverket i PEF er til dels enda mer omfattende enn i EPD-systemet. Dette vil gi robust og sammenliknbar dokumentasjon, men PEF-systemet er også kritisert for å være for omfattende og rigid¹⁷.

Per i dag er det ikke etablert noen prosess for å harmonere dokumentasjon mellom EPD- og PEF-systemene. Det utelukkes imidlertid ikke at dette kan skje i fremtiden. PEF- og EPD-systemene forholder seg til forskjellige overordnede regeldokumenter (hhv. PEF Guide og ISO-standardene), og PEFCR-pilotene har ikke anerkjent eksisterende PCRer som gyldige PEFCR. PCR kan imidlertid benyttes som utgangspunkt for utvikling av PEFCR. Fremtidig innsats for harmonisering mellom de to systemene avhenger blant annet av hvordan resultatene av PEF-initiativet stemmer overens med internasjonale og europeiske standarder¹⁸.

Den største utfordringen med tanke på mulig bruk av PEF som miljødokumentasjon for byggevarer, er at systemet ikke er ferdig etablert. Pilotfasen er ferdigstilt, men ordningen er ikke endelig lansert. Systemet har derfor heller ikke gjennomgått en modningsprosess for å tilpasse seg faktisk bruk, slik EPD-systemet har. Etersom det er en EU-ordning vil PEF-systemet dessuten bare kunne gjelde i Europa (EU + EØS). At Storbritannia planlegger å gå ut av EU kan også ha betydning i denne sammenheng, fordi BREEAM-systemet, som er en viktig driver for bruk av EPD, styres av BRE i England.

Det forventes derfor at EPD-systemet vil forbli dominerende for miljødokumentasjon av byggevarer i det norske markedet i overskuelig fremtid.

2.2.2. Rammeverk for klimagassberegninger av bygninger

2.2.2.1. Norsk standard for klimagassberegninger av bygninger, NS 3720

NS 3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger angir retningslinjer for klimagassberegninger for byggeprosjekter mht. bergningsmetodikk, datagrunnlag og utslippsfaktorer. Standarden stiller ingen definitive krav til systemgrenser, men angir fire forhåndsdefinerte omfang for helhetlige klimagassberegninger av bygninger, med hensyn til hvor omfattende beregningene skal være (basis og avansert), og hvorvidt transport av byggets brukere i drift skal inkluderes (med eller uten lokalisering).

¹⁷ Wade, P. Stolz, R. Frischknecht, G. Heath, and P. Sinha, "The Product Environmental Footprint (PEF) of photovoltaic modules—Lessons learned from the environmental footprint pilot phase on the way to a single market for green products in the European Union," *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, vol. 26, no. 8, pp. 553–564, 2018.

¹⁸ <https://www.environdec.com/News-archive/FAQ-How-does-the-International-EPD-System-relate-to-the-EU-Product-Environmental-Footprint-PEF-initiative/>

Tabell 1 Forhåndsdefinerte omfang i NS 3720

	Uten lokalisering	Med lokalisering
Basis	Klimagassberegningen skal inkludere klimagassutslipp fra byggeplass (7.3), materialer (7.4), energi i drift (7.5) og kun inkludere materialer som inngår i bygningsdelsnummer 2 Bygning i henhold til NS 3451.	Klimagassberegningen skal inkludere klimagassutslipp fra tomtebearbeiding (7.2), byggeplass (7.3), materialer (7.4), energi i drift (7.5), transport i drift (7.6) og inkludere materialer som inngår i bygningsdelsnummer 2 Bygning i henhold til NS 3451.
Avansert	Klimagassberegningen skal inkludere klimagassutslipp fra byggeplass (7.3), materialer (7.4), energi i drift (7.5) og kun inkludere materialer som inngår i bygningsdelsnummer 2 Bygning, 3 VVS-installasjon, 4 Elkraft, 6 Andre installasjoner, 7 Utendørs i henhold til NS 3451.	Klimagassberegningen skal inkludere klimagassutslipp fra tomtebearbeiding (7.2), byggeplass (7.3), materialer (7.4), energi i drift (7.5), transport i drift (7.6) og kun inkludere materialer som inngår i bygningsdelsnummer 2 Bygning, 3 VVS-installasjon, 4 Elkraft, 6 Andre installasjoner, 7 Utendørs i henhold til NS 3451.

NS 3720 spesifiserer at «Alle deler av objektet som skal inngå i klimagassberegningene, skal klassifiseres og kodes i henhold til inndelingen i NS 3451 Bygningsdelstabell». Bygningsdelinndeling for Hovedpost 2, med inndeling på 2- og 3-siffernivå, er angitt i Tabell 2:

Tabell 2 Inndeling i bygningselementer i hovedpost 2 Bygning i NS3451 Bygningsdelstabell

Bygningsdel på 2-siffernivå	Bygningsdel på 3-siffernivå
21 Grunn og fundamenter	215 - Pelefundamentering
	216 - Direkte fundamentering
22 Bæresystemer	222 - Søylar
	223 - Bjelker
23 Yttervegger	231 - Bærende yttervegger
	234 - Vinduer, dører, porter
	235 - Utvendig kledning og overflate
24 Innervegger	241 - Bærende innervegger
	243 - Systemvegger, glassfelt
	244 - Vinduer, dører, foldevegger
25 Dekker	251 - Frittstående dekker
	252 - Gulv på grunn
	255 - Gulvoverflate
	256 - Faste himlinger og overflatebehandling
26 Yttertak	261 - Primærkonstruksjon
	262 - Taktekning
28 Trapper og balkonger	281 - Innvendige trapper
	284 - Balkonger og verandaer

Forskjell mellom basisnivå og avansert beregning for materialbruk er hvorvidt materialbruk i VVS-installasjoner, tekniske systemer og utendørs skal medregnes. Forskjellen mellom beregning med og uten lokalisering er hvorvidt tomtebearbeiding og transport i bruk av bygningen skal inkluderes.

Fram til i dag har det vært mest vanlig at klimagassberegninger for bygninger omfatter selve bygningskroppen (hovedpost 2), ekskludert VVS-installasjoner, tekniske systemer og utendørs. Det kan forventes at det vil bli vesentlig mer utbredt å inkludere bygningsdeler utover hovedpost 2 som følge av at NS3720 tas i bruk og tilgangen til miljøinformasjon knyttet til materialbruk i disse bygningsdelene (tilgang på EPD for produkter o.l.) øker. Per i dag er det begrenset tilfang av EPD'er for tekniske systemer, mv., sammenliknet med andre byggevarerprodukter.

Det er viktig å være obs på at standarden ikke gir føringer for bruk av referansebygg utover å definere hva som skal legges til grunn for å definere såkalt *funksjonell ekvivalent*:

- bygningens geografiske lokalisering, dvs. gateadresse, gårds- og bruksnummer;
- oppstartsår for bygging/ombygging og første år i drift;
- totalt bruttoareal (m² BTA);
- totalt bruksareal (m² BRA);
- totalt oppvarmet bruksareal (m² BRA);
- bygningstype (del 6.2) i henhold til NS 3457-3 Bygningstyper; dersom objektet består av flere bygninger, er det den enkelte bygning som skal klassifiseres og kategoriseres etter hvilken bruk av bygningen som utgjør hovedandelen av samlet bruksareal (BRA);
- bygningens funksjon(er): dersom en bygning fyller flere typer bruksfunksjoner, skal antall brukere for hver funksjon oppgis;
- bruksmønster for daglig bruk; byggets/bruksfunksjonens åpningstid;
- relevante tekniske og funksjonelle krav; for eksempel forskrifter og byggherrens spesifikke krav, herunder egenskaper som f.eks. brannklasse, terrorsikring, eksponering for klima og andre forhold fra de umiddelbare omgivelser som kan ha avgjørende betydning for klimagassberegningen for objektet, byggefasen, «som bygget»-fasen, driftsfasen eller ved endt livsløp.

2.2.2.2. LCA og klimagassberegninger i BREEAM-NOR

BREEAM-NOR er den norske tilpasningen av det internasjonale miljøsertifiseringssystemet for bygninger, BREEAM. Et BREEAM-NOR sertifikat utstedes i fem nivåer; Pass, Good, Very Good, Excellent og Outstanding. Sertifiseringen er basert på dokumentert miljøprestasjon i ni kategorier – ledelse, helse- og innemiljø, energi, transport, vann, materialer, avfall, arealbruk og økologi samt forurensning.

I BREEAM-NOR¹⁹ kan man oppnå ett til tre poeng i kategorien Mat01 for å utføre LCA, avhengig av analysens omfang. Man kan i tillegg oppnå ett eller to poeng i Mat01 for å redusere klimagassutslipp fra materialbruk med hhv. 20 % eller 40 %, sammenliknet med et referansebygg. For å oppnå poeng for LCA og klimagassberegninger i BREEAM, kreves det at man benytter et forhåndsgodkjent beregningsverktøy, og at beregningene er gjennomført iht. EN15978 eller NS3720, for å bli godkjent.

2.2.3. Beregningsverktøy for klimagassberegninger for bygninger

2.2.3.1. LCA-programvare

Det finnes flere kommersielle beregningsverktøy for LCA som ikke er utviklet spesielt for å vurdere en bestemt type produksystem. Dette kaller vi gjerne generiske LCA-verktøy. I slike verktøy er det mulig

¹⁹ <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/12/KOPI-SD-5075NOR-BREEAM-NOR-2016-Nybygg-Versjon-1.2.pdf>

å velge mellom ulike LCA-metodikker for å beregne klimapåvirkning og andre miljøpåvirkninger for systemet/prosessen man analyserer.

LCA-programvare henter miljødata fra LCI-databaser (Life Cycle Inventory) som inneholder miljøinformasjon om de fleste typer produkter og prosesser. Ecoinvent²⁰ er verdens største LCI-database.

SimaPro²¹ og GaBi²² er de mest anerkjente LCA-programmene i bruk per i dag. Begge verktøy er lisensbelagt, og gir tilgang til de mest brukte LCI-databasene. GaBi har også sin egen LCI-database. OpenLCA er en åpent tilgjengelig (ikke lisensbelagt) LCA-programvare, men tilgang til LCI-databaser må kjøpes. Det finnes per i dag ingen åpent tilgjengelige LCI-databaser som tilsvare ecoinvent eller GaBi.

2.2.3.2. Dedikerte beregningsverktøy for bygninger

Kompleksiteten i LCA-beregninger har ført til utviklingen av verktøy dedikert til å gjennomføre LCA eller klimagassberegninger for bygninger. Kjennetegnene for slike verktøy er vanligvis at det er mulig å modellere bygninger med predefinerte bygningsdeler og materialer, og at programmet gir systematisert informasjon om utslipp for typiske byggematerialer. Dette gjør det enklere og mindre tidkrevende å gjennomføre en klimagassberegning.

En ulempe med slike verktøy kan være at de gir færre valgmuligheter, avhengig av hvor mye fleksibilitet brukeren har med hensyn til valg av materialer og komponenter. Transparens, dvs. hvor mye innsyn og kontroll brukeren har med hensyn til utslippsfaktorer og metodiske valg, kan også være lavere i slike verktøy.

God fleksibilitet og transparens i beregningene fører til at brukeren må ta stilling til mange ulike valg, som krever LCA-faglig kompetanse. Noe av hensikten med å forenkle prosessen med klimagassberegninger for bygninger gjennom bruk av dedikerte verktøy, er nettopp å gjøre det mulig for flere å gjennomføre slike beregninger. Det er imidlertid viktig å være klar over at det er nødvendig med en viss grad av LCA-faglig kompetanse for å gjennomføre beregninger som er tilstrekkelig spesifikke for bygget som analyseres, både med hensyn til løsningsvalg og metodiske valg (se kapittel 2.3). Dersom analysen ikke er spesifikk nok for bygget man vurderer, vil beregningene ikke være i stand til å gi gode svar på hva som er de reelt sett mest klimavennlige valgene.

One Click LCA

Det kommersielle beregningsverktøyet One Click LCA har blitt svært utbredt for å utarbeide klimagassberegninger for bygg i Norge. Vi har derfor valgt å gi spesifikke anbefalinger som gjelder eventuell bruk av dette verktøyet, for å sikre sammenliknbare og representative beregninger. Som nevnt over, anbefaler vi at det stilles verktøynøytrale krav til klimagassberegninger for bygg.

Som beskrevet i kapittel 3.2.1, har vi avdekket forutsetninger om løsningsvalg, utslippsfaktorer og levetider som er standard i One Click LCA og i modellbygg-modulen Carbon Designer, som vi mener er lite representative for norske bygg. I tillegg har vi avdekket det vi mener er mangler. Fordi vi har benyttet One Click LCA som utgangspunkt for modellbyggene vi har lagt til grunn for referansenivåer, har vi derfor valgt å gjøre korrigeringer, som er beskrevet i detalj i Vedlegg 3.

Utover dette anbefaler vi følgende praksis ved bruk av One Click LCA til klimagassberegninger for bygg:

²⁰ <https://www.ecoinvent.org/>

²¹ <https://simapro.com/>

²² <http://www.gabi-software.com/norway/index/>

- **Benytte versjon iht. NS3720**

Bruk av NS3720-versjonen muliggjør at beregningene kan utføres i henhold til standarden, bl.a. ved at beregningene får riktige systemgrenser og at det er mulig å velge riktige utslippsfaktorer for energikilder.

- **Unngå bruk av lokal kompensasjon-funksjonalitet:**

Når man oppretter et nytt prosjekt i One Click LCA, blir man bedt om å velge «LCA-parametere». Her finnes det en funksjonalitet for korrigering av utslippsfaktorer kalt «lokaliseringsmetode for materialproduksjon». Denne funksjonen er ment for å justere utslippsfaktorer fra å gjelde for produksjon i ett land til å kunne være representativ for produksjon av tilsvarende materiale i et annet land. Tanken er at ved mangel på lokal EPD for et gitt produkt, kan man velge en EPD for et produkt som er produsert i et annet land, og benytte denne funksjonen for å korrigere utslippsfaktoren. Utslippsfaktoren blir skalert med korrigeringsfaktorer som skal gjenspeile forskjell i el.-miks. Dette gir ikke representative beregninger, på grunn av følgende:

- Dersom man velger å bruke anbefalt lokaliseringsmetode (som per april 2020 er v.1.), blir alle materialer i prosjektet som ikke er produsert i Norge automatisk korrigert til å være representative for Norge. Det vil si at det antas at det kun benyttes norske materialer i bygget, og at det ikke kjøpes inn materialer som har vært produsert i andre land. Dette er svært sjelden tilfelle i reelle byggeprosjekter.
- Det er kun brukere med «Expert»-lisens som har mulighet til å velge en annen lokaliseringsmetode enn den anbefalte, der det er mulig å velge lokaliseringsmetode for hvert enkelt materiale.
- I valg av standard materialer for et bygg er det mest viktig å velge materialer som er representative og standard i de ulike byggene. Dette betyr nødvendigvis ikke at alle materialene må være produsert i Norge. For eksempel er produksjon av murstein justert til norsk produksjon når lokaliseringsmetode velges. Dette er ikke realistisk da det ikke eksisterer norsk produksjon av murstein.

På bakgrunn av dette fraråder vi å bruke lokal kompensasjon i prosjektene. Det bør velges utslippstall fra EPD som er representative for de standard produktene som benyttes uavhengig av hvor disse produseres, i stedet for å utføre manuelle justeringer på EPD-resultater. Finnes det ikke representative utslippstall fra EPD for enkelte materialer, bør det istedenfor benyttes utslippstall fra generelle databaser, som ecoinvent eller tilsvarende.

- **Benytte en kombinasjon av «teknisk brukstid» og «kommersiell brukstid» for levetider**

Det er mulig å velge tre innstillinger for levetider i One Click:

- «Teknisk brukstid»: Det forutsettes standard levetider for ulike materialgrupper, slik at alle materialer av samme type vil ha samme levetid. Teknisk levetid gjenspeiler hvor lenge materialene vil vare under gode forhold.
- «Kommersiell brukstid»: Det forutsetter kortere levetider enn teknisk levetid, på grunn av hyppigere utskifting enn teknisk levetid tilsier. Er spesielt representativt for hoteller og butikker som ofte skifter inventar, eventuelt også for kontorbygg som ofte skifter leietaker.
- «Produktspesifikk levetid»: Benytter levetider oppgitt i EPDer, slik at levetider kan variere for like materialer.

Valg av brukstid for materialer er alltid en utfordring i klimagassberegninger som omfatter en viss beregningsperiode i fremtiden. Med mindre det er helt spesielle grunner og et bygg som er prosjektert med høy frekvens av ombygging og utskifting av brukere bør den tekniske levetiden for materialene benyttes. Det må likevel sørges for at det benyttes samme levetid for sammensatte elementer, som for eksempel at flislim og flis får samme levetid. I tillegg kan for eksempel avrettingsmasse og andre materialer som er støpt inn i bygget mest sannsynlig ha samme levetid som det prosjekterte bygget. For materialer som brukes til gulv (parkett, tepper osv.) anbefales det å

benytte en kommersiell brukstid da dette ofte er materialer som byttes ut før den tekniske levetiden inntreffer. Utskifting av brukere, høy slitasje, brekkasje og tilsøling kan redusere den tekniske brukstiden kraftig. Se Tabell 9, kapittel 3.2.5 for anbefalte levetider som er en kombinasjon av «teknisk brukstid» og «kommersiell brukstid».

ByggLCA

ByggLCA er Asplan Viaks metodeverktøy for klimagassberegninger av bygninger. Verktøyet er basert på MS Excel, og er godkjent for bruk i BREEAM-NOR. Verktøyet selges imidlertid ikke for bruk av andre, men inngår som en del av Asplan Viaks rådgivningstjeneste.

LCAByg

I Danmark har det danske direktoratet Trafik -og Byggestyrelsen utviklet et åpent tilgjengelig LCA-verktøy for bygninger, LCAByg²³. LCAByg vurderer 5 miljøkategorier og 2 energikategorier iht. LCA-metodikk. Bakgrunnsdata i LCAByg er hentet fra databasen Ökobaudat, som igjen bygger på data fra GaBi-databasen. Verktøyet er kun tilgjengelig på dansk.

2.3. Metodiske valg og sammenliknbarhet

I dette delkapitlet vil vi belyse de viktigste metodiske valgene man må ta stilling til når man gjennomfører en LCA eller livsløpsbasert klimagassberegning. Hensikten med dette er å vise hvordan valg og forutsetninger påvirker analyseresultater og dermed sammenliknbarhet mellom ulike beregninger.

2.3.1. Funksjonell enhet

Konseptet *funksjonell enhet* står sentralt i LCA. Den funksjonelle enheten er måleenheten man legger til grunn for å sammenlikne alternative løsninger. Dette kan være alt fra 1 kg materiale til 1 m² kontorbygg med 60 års levetid. Når man sammenligner klimapåvirkning for ulike byggematerialer, må man ha klart for seg hva de ulike materialene faktisk brukes til i bygget. Dersom man sammenlikner to materialer med identiske bruksområder, levetid og tekniske egenskaper kan man sammenlikne per kg materiale. Dersom dette ikke er tilfelle, må man i stedet finne frem til et grunnlag for sammenlikning som kan ta hensyn til forskjellene mellom alternativene man sammenlikner, for å kunne gi et rettferdig sammenlikningsgrunnlag. For å sammenlikne enkeltmaterialer kan det være hensiktsmessig å ta utgangspunkt i det som angis som deklart enhet i PCR for den aktuelle produktkategorien.

Ofte vil det imidlertid være mer hensiktsmessig å analysere bygningskomponenter, heller enn enkeltmaterialer, fordi ulike materialer kan ha vidt forskjellige tekniske egenskaper. Dersom man skal sammenlikne ulike løsningsprinsipper, for eksempel alternative veggoppbygninger, må man i stedet se på hvilke tekniske krav det samlede bygningselementet skal oppfylle over byggets forventede levetid. Bruk av funksjonell enhet for å sammenlikne byggematerialer og løsninger er drøftet ytterligere i kapittel 3.1.

2.3.1.1. Referansebygg

I byggeprosjekter har det blitt mest vanlig å benytte såkalte standard referansebygg som sammenlikningsgrunnlag for å vurdere måloppnåelse i form av utslippsreduksjon. I praksis sammenlikner man beregnede utslipp for det prosjekterte bygget med et hypotetisk nullscenario der det i stedet oppføres et gjennomsnittlig bygg av samme størrelse med standard løsningsvalg uten spesielle hensyn til miljø eller klima. Å beskrive differansen mellom det prosjekterte bygget og referansebygget som en utslippsreduksjon kan satt på spissen sammenliknes med å si at man sparer

²³ <https://www.lcabyg.dk/>

penger ved å handle på tilbud. Gevinsten er i begge tilfelle sterkt avhengige av hvilket forbruk man måler seg mot.

Per i dag mangler vi omforente referansebygninger for klimagassutslipp fra materialbruk i bygninger i Norge. En definisjon av referansebygg er utarbeidet av FutureBuilt. Definisjonen gir imidlertid lite metodiske retningslinjer, og utslippsnivå for referansebygg kan dermed variere mye innenfor disse rammene. Innføringen av norsk standard for klimagassberegninger for bygninger, NS 3720 (se kapittel 2.2.2.1), vil gi langt større sammenliknbarhet i slike beregninger fremover. Denne standarden kan anvendes som utgangspunkt for etablering av referansebygninger, men den omtaler ikke referansebygg utover å beskrive funksjonell ekvivalent for beregninger:

Den funksjonelle ekvivalenten til objektet er en kvantifisering av de tekniske egenskapene og funksjonene som kreves for objektet. Den funksjonelle ekvivalenten gjør det mulig å utlede en referanseenheter som brukes til å framstille resultater fra beregninger.

Eksempel: per m², per år, per ansatt, per rom per år, per m² per år.

Sammenlikninger av klimagassberegninger skal bare gjøres på grunnlag av objektenes funksjonelle ekvivalent. Dette krever at de funksjonelle kravene beskrives sammen med tiltenkt bruk og relevante tekniske krav.

Funksjonell ekvivalent til en bygning eller et montert system (del av en bygning) skal minst omfatte:

- bygningstype;
- tekniske og funksjonelle krav;
- totalt bruttoareal (m² BTA);
- totalt bruksareal (m² BRA);
- totalt oppvarmet bruksareal (m² BRA oppv.);
- bruksmønster;
- påkrevd levetid.

Innenfor disse rammene er det fortsatt stor valgfrihet i definisjon av referansebygget knyttet til flere forutsetninger og kvalitetskrav, blant annet hva som er standard material- og løsningsvalg, samt tekniske ytelseskrav til for eksempel lyd og brannmotstand.

Fordi hvert prosjekt kan definere sitt eget referansebygg, har praksisen med bruk av referansebygg vært kritisert for å ikke gi et nøytralt sammenlikningsgrunnlag. Kjernen i denne kritikken er muligheten for å «skru» referansebygget for å gi det svaret man ønsker. En hovedutfordring i dette henseendet er mangel på kunnskap og enighet om hva som er standard løsningsvalg, som gjør det utfordrende å vurdere hvorvidt et gitt referansebygg er en plausibel representasjon av et gjennomsnittlig bygg eller ikke.

Det har også vært rettet kritikk mot at referansebygg ikke representerer et reelt sammenlikningsgrunnlag, fordi de sjelden er like detaljert prosjektert som byggene man sammenlikner dem med. Referansebygg kan ofte være basert på nøkkeltall for materialbruk per bygningsdel, uten at det nødvendigvis er foretatt en kritisk vurdering av byggbarheten i den totale løsningen. Samtidig kan man argumentere for at referansebygget bør ha en nøktern utforming, for å være mest mulig rettferdig og gi insentiver til å unngå overdimensjonering. Hva som utgjør et teknisk godt fungerende bygg vil dessuten variere med ulike oppfatninger innen de tekniske fagene. Dermed vil det alltid være delte meninger hva som er et «riktig» utformet referansebygg for et gitt prosjekt. Hvorvidt variasjon mellom ulike referansebygg skyldes ulik faglig argumentasjon eller en intensjon om å tilpasse referansen for å vise høy klimaprestasjon, er dermed svært krevende å bedømme.

Et alternativ til teoretiske referansebygg kunne være å benytte tidligere utførte klimagassberegninger for bygg i Norge til å utforme benchmark-verdier for forventede

klimagassutslipp per bygningskattegeometri. En sammenstilling av utførte klimagassberegninger for bygg i Osloområdet fra 2010 frem til i dag utført av Asplan Viak på oppdrag for Klimaetaten i Oslo viste imidlertid at bygg med høye miljø- og klimaambisjoner så langt har vært overrepresentert blant prosjektene som har fått gjennomført klimagassberegninger.

Av de 52 byggene i sammenstillingen var 25 forbildeprosjekter i Futurebuilt (ett bygg er sertifisert iht. både ZEB og Futurebuilt), som betyr at de har hatt mål om 40 % utslippsreduksjon samlet for materialbruk, energi og transport i drift. De fleste Futurebuilt-prosjektene i sammenstillingen hadde også hatt som eget mål å redusere klimagassutslippene fra materialbruk. Av de 44 prosjektene som hadde målt sine klimagassutslipp fra materialbruk mot et referansebygg var det kun 6 prosjekter som ikke hadde redusert utslippene sammenliknet med referansen. Dette indikerer at datagrunnlaget vi sitter på per i dag ikke representerer gjennomsnittlige bygg oppført uten spesifikke krav til klimaprestasjon. Sammenstillingen pekte også på at utvikling i metodikk, beregningsverktøy og datagrunnlag for utslippstall har ført til betydelig variasjon i beregnede utslipp, spesielt for de tidligere beregningene.

På bakgrunn av dette, anbefaler vi i stedet å benytte beregnede referansenivåer basert på modellbygg (faste referansebygg) som utgangspunkt for å stille krav til reduksjon av utslipp fra materialbruk i nye byggeprosjekter. Referansenivåene vi presenterer i del 2 av denne rapporten bygger videre på referansenivåene beregnet for Klimaetaten, og er ment å kunne benyttes som et utgangspunkt for faste utslippsrammer for ulike bygningskategorier. Metodikken som ligger til grunn for modellbyggene er beskrevet i kapittel 3.2.1.

2.3.2. Systemgrenser

Utfordringer med sammenliknbarhet i klimagassberegninger for bygninger knytter seg i stor grad til valg av systemgrenser i tid og rom, dvs. henholdsvis hvilke deler av livsløpet og hvilke deler av bygningen som inkluderes i analysen.

2.3.2.1. Systemgrenser i rom - avgrensning av bygningsdeler

Fordi det ikke har vært praksis å inkludere tekniske systemer i klimagassberegninger, har det heller ikke vært rettet særlig oppmerksomhet mot å redusere klimagassutslippene knyttet til produksjon av denne typen bygningskomponenter. Dermed er det både lite kjennskap til utslipp til komponentene, og potensialet for utslippskutt ved alternative valg. Tilgangen på alternative produkter med lavere produksjonsutslipp er følgelig også liten per i dag. Iht. de fire forhåndsdefinerte omfangene for beregninger i NS 3720 skal tekniske systemer inkluderes. Det forventes en betydelig utvikling innenfor dokumentasjon av klimagassutslipp for tekniske bygningskomponenter etter hvert som det blir mer utbredt å inkludere disse i klimagassberegninger.

2.3.2.2. Systemgrenser i tid

For å kunne beregne fremtidige klimagassutslipp knyttet til drift og vedlikehold for et bygg- eller anleggsprosjekt, må det defineres en beregningsperiode (også kalt analyseperiode). Beregningsperioden representerer en teoretisk forventet levetid, og vil derfor alltid ha høy usikkerhet.

Behovet for fremtidige utskiftninger av komponenter vil dermed regnes med en faktor relativt til komponentens forventede levetid og beregningsperioden. For å få sammenliknbare beregninger er derfor det mest hensiktsmessige at man forholder seg til samme usikkerhet, og dermed legger til grunn samme forventede levetid, med mindre man har spesifikke årsaker til å forutsette noe annet. Dette er bakgrunnen for at 60 års analyseperiode har vært standard praksis i klimagassberegninger for både bygg- og anleggsprosjekter i Norge. For bygg ble 60 års beregningsperiode formalisert med introduksjonen av Norsk Standard for klimagassberegninger av bygninger, NS 3720.

Standarden NS-EN 15978 (Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygningers miljøpåvirkning – Beregningsmetode) angir systemgrenser for de ulike fasene i livsløpet til en bygning, til bruk i LCA:

Modul A

Produkt-stadiet

- A1 Råvarer
- A2 Transport
- A3 Produksjon

Gjennomføringsstadiet

- A4 Transport
- A5 Anlegg-, bygge- og monteringsarbeid

Modul B

Bruksstadiet

- B1 Bruk
- B2 Vedlikehold
- B3 Reparasjon
- B4 Utskiftning
- B5 Ombygging
- B6 Energibruk i drift
- *B7 – Vannforbruk i drift (omfattes ikke av NS 3720)*
- B8 – Transport i drift (ny modul sammenliknet med NS-EN 15978)

Modul C

Livsløpets slutt-stadiet

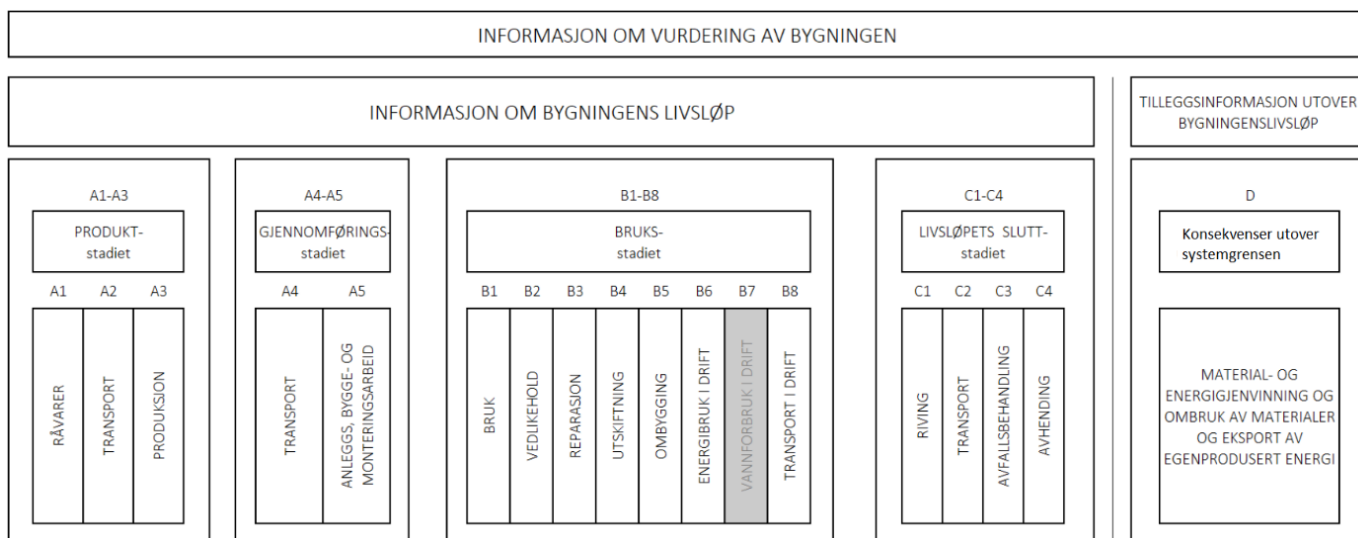
- C1 Riving
- C2 Transport
- C3 Avfallsbehandling
- C4 Avhending

Tilleggsinformasjon utover bygningens livsløp - Modul D

Konsekvenser utover systemgrensen

Material- og energigjenvinning og ombruk av materialer og eksport av egenprodusert energi

Inndelingen, slik den er gitt i NS 3720, er vist i Figur 3:



Figur 3 Inndeling av bygningens livsløp i moduler i NS 3720. Inndelingen bygger på NS-EN 15978, men omfatter i tillegg modulen B8 Transport i drift

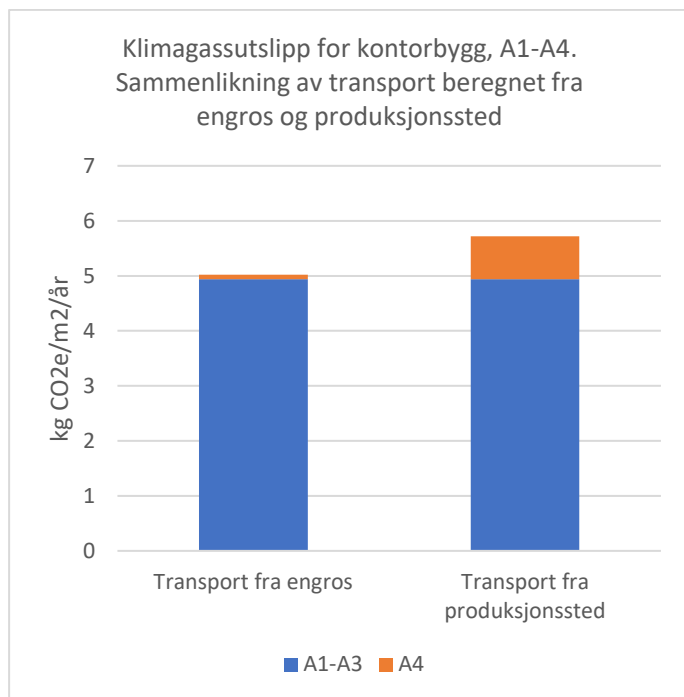
Transport til byggeplass, A4

Transport til byggeplass utgjør en viktig del av det totale utslippsbildet for byggematerialer, og bør medregnes for å få et helhetlig bilde av materialenes klimapåvirkning. Iht. NS3720 skal utslipp i A4 medregnes. Transport av materialer som skiftes ut i B4/B5 må også inkluderes når A4 regnes med.

Transport av materialer til byggeplass (A4 og B4/B5) kan i hovedsak regnes på to måter:

- Fra sentrallager/engros til byggeplass
- Fra produksjonssted/fabrikkport til byggeplass

Verktøyet One Click LCA (se kapittel 2.2.3.2) benytter transportdistanse fra engros til byggeplass som grunnlag for beregning av utslipp i A4. Dette medfører at transport av importerte byggevarer med lange transportavstander underestimeres, sammenliknet med lokale varer. En sammenlikning av utslipp fra A1-A4 basert på mengder for modellbygg i OneClick LCA, med utslipp fra transport som beregnet i verktøyet (fra engros), og med transport regnet iht. gjennomsnittlig produksjonssted for byggevarer er vist i Figur 4:



Figur 4 Sammenlikning av beregnede klimagassutslipp fra materialbruk A1-A4 for kontor, med transport regnet fra engros og fra produksjonssted

Dersom transport regnes fra engros, utgjør transportutslipp 2 % av utslippene i A1-A4. Dersom hele transporten fra produksjonssted legges til grunn, øker andelen til 14 %. Dette viser at man vil få et ufullstendig bilde av den reelle utslippskonsekvensen knyttet til byggematerialer dersom man legger transport fra engros til grunn. Eventuelle utslippskrav som legger engrosdistanse til grunn for transportberegninger vil dermed i verste fall kunne føre til at utslipp flyttes fra produksjonsfasen til transportfasen uten at dette synliggjøres i beregningene, og gi et insentiv til å velge produsenter langt unna byggeplassen.

Byggefase, A5

Utslipp fra aktiviteter i byggefasen (A5) har hittil ikke vært vanlig å medregne i klimagassberegninger for materialbruk, på grunn av utilstrekkelig tallgrunnlag for energibruk og utslipp fra ulike aktiviteter. Energibruk til anleggsmaskiner og byggvarme/-tørk har kan ha stor betydning for totale utslipp. Her finnes det betydelig initiativ til å få frem bedre data på energibruk og reduksjonspotensiale i form av egne krav til utslippsfri/fossilfri byggeplass. Ettersom NS3720 stiller krav til at aktiviteter i A5 skal medregnes for alle 4 forhåndsdefinerte omfang for helhetlige klimagassberegninger (se kapittel 2.2.2.1), forventes det at dette vil bli mer utbredt fremover.

Bruksfase, B1-B5

Utslipp knyttet til utskifting av byggematerialer i byggets levetid knytter seg direkte til valgte materialer og løsninger og levetid i bygget. Utskiftingsintervaller for bygningselementer som kan forventes å måtte skiftes ut i løpet av 60 år regnes vanligvis i henhold til levetider for bygningsmaterialene de består av. Her kan man velge å benytte *teknisk levetid*, dvs. hvor lenge produktet vil ivareta teknisk god funksjon i bygget, eller gjøre antakelser knyttet til hvordan en vanlig kommersiell drift av bygget vil påvirke utskifting av komponenter, knyttet til oppussing, oppgradering ved skifte av leietaker o.l. I tillegg bør man vurdere hvordan sammensatte bygningsdeler i praksis vil skiftes ut. For eksempel er det usannsynlig å anta at en membran på våtrom kan skiftes ut uten at flisene oppå også må skiftes, selv om disse eventuelt har en lengre teknisk levetid enn membranen. Å legge tekniske levetider til grunn vil generelt gi lavere beregnede utslipp enn dersom kommersielle

utskiftingsintervaller benyttes. Følgelig gir utskifting iht. teknisk levetid det mest nøkterne referansenivået av de to tilnærmingene.

I forbindelse med beregning av referansenivåer for klimagassutslipp fra materialbruk for Klimaetaten i Oslo, fant vi at forutsetninger knyttet til levetider har stor betydning for beregnede utslipp. Sammenliknet med predefinerte forutsetninger om levetider lagt til grunn i beregningsverktøyet One Click LCA (se kapittel 2.2.3.2), økte beregnede utslipp fra utskiftingsfasen med 95-188 %. Dersom kun tekniske levetider ble benyttet, sank beregnede utslipp i B4 med 14-58 %.

Avhendingsfase, C1-C4

Iht. NS 3720 skal utslipp fra avhending av materialer etter endt levetid medregnes i klimagassberegninger for bygninger. Imidlertid er det relativt utfordrende å kvantifisere utslipp for modul C, som følge av at det er knyttet stor usikkerhet til hvordan ulike materialer vil avhendes i fremtiden. Uten bruk av tidsjustering (se kapittel 2.3.3), vil forutsetninger om fremtidig avhendingsteknologi kunne introdusere uforholdsmessig stor usikkerhet i analysen.

Erfaringstall indikerer at utslipp i avhendingsfasen står for en relativt liten andel av totale utslipp over livsløpet, slik at beregninger ekskludert modul C likevel vil gi en god representasjon av totale utslipp, med lavere usikkerhet.

På bakgrunn av dette kan avhendingsfasen utelates fra *reduksjonsmål*, men den bør likevel inkluderes i beregninger, for å få frem erfaringstall og sikre en utvikling i beregningspraksis.

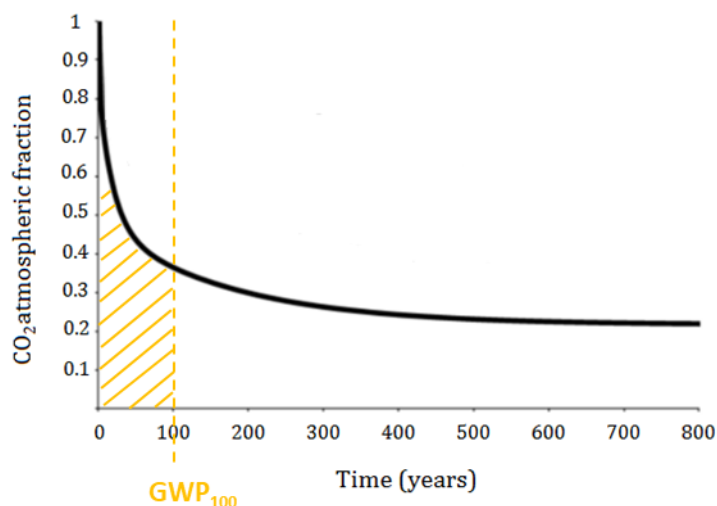
Gvinster etter livsløpets slutt, D

Dersom gvinster i form av reduserte utslipp etter livsløpets slutt (for eksempel som følge av gjenbruk av byggematerialer etter riving) medregnes, angir NS3720 at dette skal rapporteres separat.

2.3.3. Tidshorisont for klimaeffekt

Tidshorisonten man måler klimaeffekten over er vesentlig for resultatet av beregninger. I standard livsløpsvurdering (LCA) kan man forenklet sett si at effekten av alle klimagassutslipp regnes likt, uavhengig av stedet eller tidspunktet de inntreffer. Denne tilnærmingen kalles også statisk utslippsberegning. Dette vil si at man venter et utslipp fra installasjon av en komponent på byggeplass i dag likt som et fremtidig utslipp knyttet til utskifting av den samme komponenten. I motsetning til i økonomiske analyser, diskonterer man altså ikke utslipp i LCA. Dette har sammenheng med at beregning av den mest brukte indikatoren for klimapåvirkning (Global Warming Potential, GWP) allerede benytter en tidshorisont for å regne klimaeffekten av et gitt utslipp²⁴. Den valgte tidshorisonten fungerer som en avgrensning av vurderingen av oppvarmingspotensialet, slik at klimapåvirkning etter tidshorisontens slutt ikke tas hensyn til. Dette betyr at korte tidshorisonter legger større vekt på miljøpåvirkninger som skjer nært i tid. En mer presis beskrivelse av statisk beregningsmetodikk med GWP er altså at effekten av utslipp betraktes likt, uavhengig av når de oppstår innenfor tidshorisonten som er lagt til grunn. Den klart vanligste tidshorisonten for GWP er 100 år, men IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) publiserer også GWP-faktorer for 20 og 500 år. Ved å bruke GWP100 ekskluderes dermed all klimaeffekt som skjer etter år 100. Figur 5 illustrerer beregningsprinsippet for GWP₁₀₀ for et utslipp i år 0.

²⁴ GWP regnes som akkumulert strålingspådriv som følge av et klimagassutslipp, regnet over over en gitt tid, relativt til pådrivet for CO₂ over samme tidsperiode.



Figur 5 Avgrensing av tidshorisont for klimaeffekt når GWP100 benyttes i klimagassberegninger

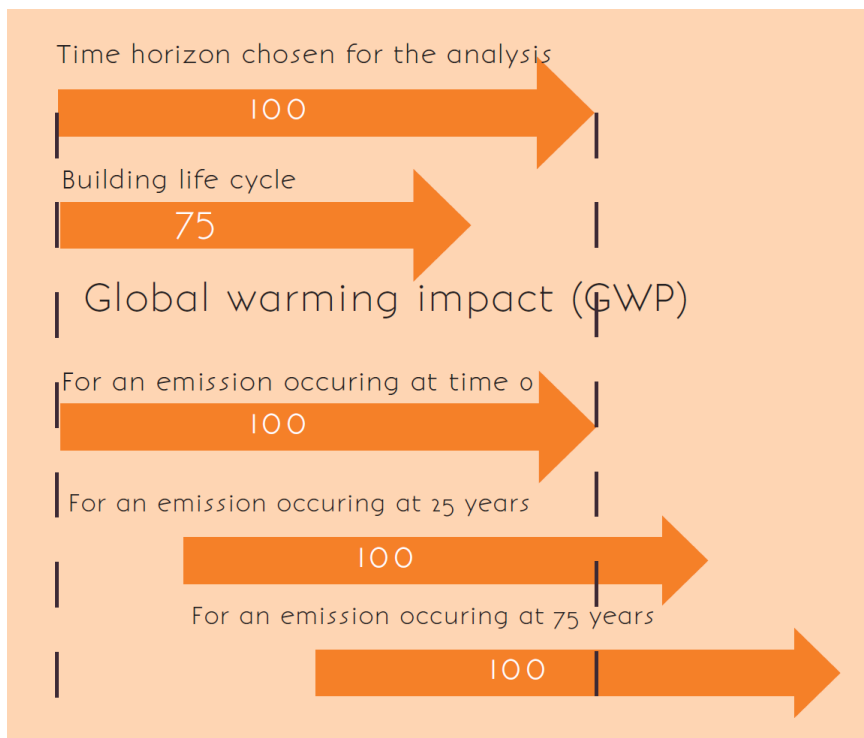
IPCCs femte hovedrapport²⁵ understreker betydningen av tidlige utslippsreduksjoner. Tidlige tiltak er nødvendige for å begrense temperatureffekten av de globale utslippene over tid. I tillegg er det stor usikkerhet rundt konsekvensene av å nå såkalte vippepunkter, der selvforsterkende effekter i det globale klimasystemet kan føre til at oppvarmingen skjer i enda høyere tempo enn det man hittil har observert. Dette er argumenter for å vektlegge tiltak som reduserer klimagassutslippene raskt, som for eksempel å bevare eller rehabilitere bygningsmasse fremfor å rive og bygge nytt, selv om vi kan bygge mer energieffektivt, fordi det tar tid før utslippene fra utbyggingen er tilbakebetalt.

Det finnes alternative metodiske tilnærminger innen LCA som kan benyttes for å ta inn tidsjustert vektning av klimagassutslipp innenfor beregningsperioden for et utbyggingsprosjekt. Man kan benytte en såkalt dynamisk beregningsmetodikk, der den beregnede klimaeffekten av utslipp og opptak avhengig av når i analyseperioden de oppstår. I dynamisk LCA vektlegges effekten av utslipp som skjer i dag tyngre enn utslipp som skjer lenger frem i tid, ved bruk av justeringsfaktorer iht. hvilket år utslipp/opptak oppstår. Fordelen med tyngre vektning av utslipp som skjer nært i tid er at man reduserer betydningen de mest usikre forutsetninger om hva som skjer i fremtiden har for beregnede utslipp for et byggeprosjekt. I stedet tillegges utslipp knyttet til de mer nært forestående hendelsene i byggefasen større vekt. Dette gir insentiv til å redusere utslipp i de fasene av livsløpet der utbygger har større innflytelse. Aspekter ved klimagassberegninger for materialbruk i bygninger som er spesielt tett knyttet til forutsetninger om tidsaspekt er karbonbinding, fremtidig praksis i avhendingsfasen og teknologiutvikling. Tidsjustering er nødvendig for å henynta effekten av midlertidig karbonlagring i materialer i løpet av levetiden for en bygning (se kapittel 2.3.4.1).

Levasseur et. al. i påpekte i 2010²⁶ at statisk beregningsmetodikk gir inkonsekvente systemgrenser når vi vurderer produkter med lang levetid, for eksempel bygninger. Dersom vi regner utslipp for utskifting av et byggemateriale i år 30, regner vi i prinsippet klimaeffekten forårsaket av produksjonen av dette materialet over de påfølgende 150 årene, i stedet for å avgrense effekten til 100 års beregningshorisont. Dette prinsippet er illustrert i Figur 6:

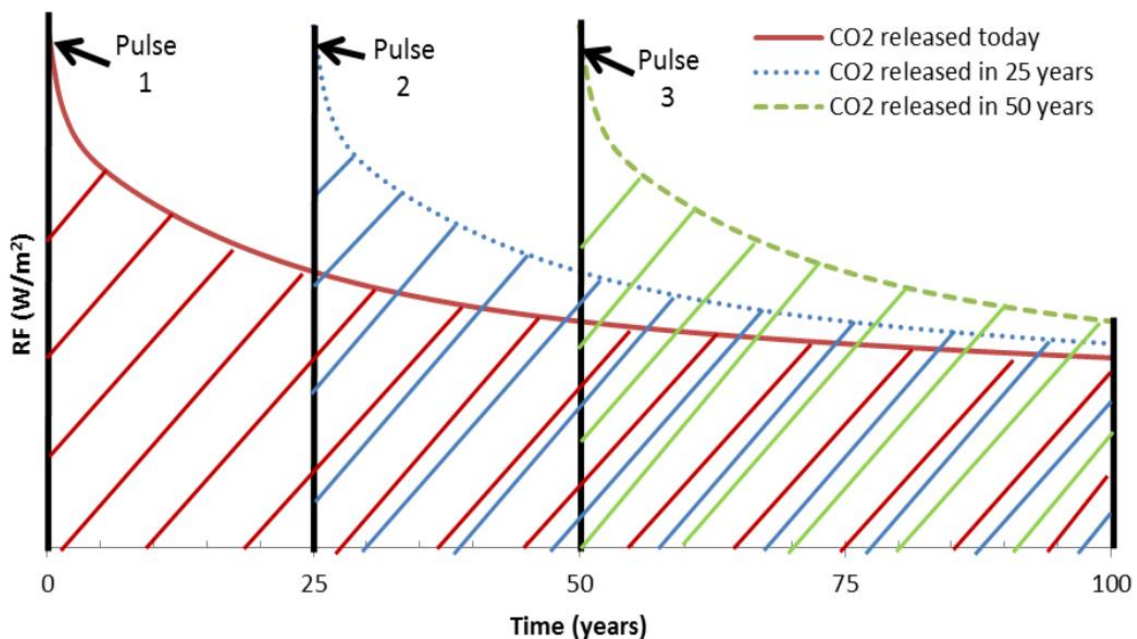
²⁵ <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>

²⁶ <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/Es9030003>



Figur 6 Inkonsistent tidsavgrensning for beregning av klimaeffekt med GWP100 i statisk beregningsmetodikk. Kilde: Levasseur et al. (2010)

Som et alternativ til statisk beregningsmetodikk utviklet Levasseur et al. i 2010 en dynamisk LCA-beregningsmetodikk, for å betrakte klimaeffekten av utslipp i henhold til når i analyseperioden de oppstår. I stedet Effekten av et utslipp i år 50 blir dermed mindre enn effekten av et utslipp i dag, slik at utslipp som skjer frem i tid regnes med en lavere klimaeffekt enn utslipp i dag. Dette prinsippet er illustrert i Figur 7:



Figur 7 Tidshorisont for avgrensning av klimaeffekt med GWP100 med dynamisk beregningsmetodikk. Kilde: Salazar & Bergman, 2013

Interuniversity Research Centre for the Life Cycle of Products, Processes and Services (CIRAIG) ved École Polytechnique de Montréal har utviklet det åpent tilgjengelige beregningsverktøyet, DynCO2²⁷, som kan benyttes for å tidsjustere utslipp iht. hvilket år de oppstår. Verktøyet er imidlertid relativt krevende i praktisk bruk, og er ikke tilpasset klimagassberegninger av bygninger.

I forbindelse med prosjektet «Klimagassberegninger for Villa Dammen»²⁸, utviklet Asplan Viak i 2016 en beregningsmodell basert på metodikken bak DynCO2. Klimagassberegningene for Villa Dammen viste at bruk av dynamisk beregningsmetodikk påvirket beregnede utslipp ved bruk av bioenergi i svært stor grad, men hadde en vesentlig mer moderat betydning for beregnede materialutslipp (se kapittel 2.3.4.1).

En forenklet variant av dynamisk LCA (basert på samme metodikk-grunnlag fra Levasseur et al.) er foreslått i de nye kriteriene for FutureBuilt ZERO for å inkludere tidsjustering av beregnede utslipp²⁹. Hensikten er å forenkle beregningsmetodikken, slik at den blir mer anvendbar. I stedet for å tidsjustere alle opptak og utslipp iht. hvilket år de inntreffer (slik det legges opp til i DynCO2), angis det vektingsfaktorer som skal benyttes (multipliseres) med alle utslipp/opptak som skjer frem i tid. Regnereglene omfatter også teknologifaktorer som skal benyttes for å ta hensyn til forventede fremtidige utslippsreduksjoner knyttet til produksjon av materialer som følge av teknologiske utviklinger i materialteknologi, produksjonsteknologi, gjenvinningsrate, transportteknologi, og elektrifiseringen av disse prosessene sammen med en dekarbonisering av energinettet. Vektingsfaktorene er gjengitt i Tabell 3. En detaljert redegjørelse for metodikken bak kriteriene i FutureBuilt ZERO er gitt i metodenotatet³⁰.

²⁷ <http://ciraig.org/index.php/project/dynco2-dynamic-carbon-footprinter/>

²⁸ https://www.byggogbevar.no/media/6381/klimagassberegninger_villa_dammen.pdf

²⁹ <https://www.futurebuilt.no/content/download/21526/128234>

³⁰ <https://www.futurebuilt.no/content/download/21528/128241>

Tabell 3 Vektingsfaktorer som skal benyttes i beregninger som følger regneregler for FutureBuilt ZERO.

	Modul	År for utslipp	Teknologi-faktor	Tids-faktor	Totalfaktor
Oppføring av bygg	A ₁₋₅	0	1	1	1
Utskiftning av materialer	B	1-60	0.75	0.76	0.57
Utskiftning av PV	B _{2-5,49}	30	0.33	0.77	0.25
Karbonopptak i sement	B ₂₋₅	1-60	1	0.83	-0.06
Karbonopptak i skog	B ₂₋₅	1-60	1	0.83	-1.27
Avfallsforbrenning av trebaserte materialer, utskiftning	B ₂₋₅	1-60	0.5	0.76	0.11
Avfallsforbrenning av oljebaserte materialer, utskiftning	B ₂₋₅	1-60	0.5	0.76	0.18
Avfallsforbrenning av trebaserte materialer, sluttfase	C ₃	60	0.1	0.48	0.09
Avfallsforbrenning av oljebaserte materialer, sluttfase	C ₃	60	0.1	0.48	0.14
Ombruk	D _{ombruk}	1-60	0.75	0.76	-0.1
Energibruk og eksportert energi	B ₆ , D _{energi}	1-60	tab. A2 og A3	0.76	tab. A2 og A3

Iht. NS 3720 skal tidsjustering ikke legges til grunn i hovedberegningen, men standarden åpner for at tidsjustering kan benyttes i følsomhetsvurderinger.

Det er også mulig å benytte en annen indikator for klimapåvirkning enn GWP som ikke gjør samme tidsgeneralisering, for å ta hensyn til tidseffekten av utslipp. I sin femte hovedrapport bemerket IPCC at globalt temperaturendringspotensial (Global Temperature change Potential, GTP) blir stadig mer utbredt, og kan være bedre egnet for å vurdere oppnåelse av politiske målsettinger. I motsetning til GWP, som angir ekvivalent klimaeffekt for en gitt tidshorisont, angir GTP endring i global gjennomsnittstemperatur for et angitt år. IPCC benytter imidlertid fortsatt GWP som indikator på klimapåvirkning. GTP benyttes per i dag ikke i noen betydelig grad i klimagassberegninger i byggesektoren.

2.3.4. Karbonbinding i byggematerialer

Karbonbinding i byggematerialer er i hovedsak relevant å diskutere for tre og betong. Karbon inngår i ulike kjemiske bindinger og sykluser som direkte henger sammen med framstilling og avhending/etterbruk av disse materialene. Interessenter for ulike materialgrupper kan se markedsmessige fordeler av å inkludere karbonbinding, og hvorvidt karbonbinding i disse materialene bør krediteres i beregninger av klimafotavtrykk er gjenstand for kontinuerlig debatt.

Standard praksis i LCA av byggevarer er å bokføre opptak og utslipp på ulike tidspunkt - klimaeffekten av utslipp regnes imidlertid likt, uavhengig av når utslippet skjer, se kapittel 2.3.3. Avgrensning av hvilke livsløpsfaser som medregnes har derfor stor betydning for hvilken netto effekt som medregnes. De kjemiske prosessene som påvirker karbonbinding i tre og betong er dessuten svært ulike, og må derfor behandles hver for seg.

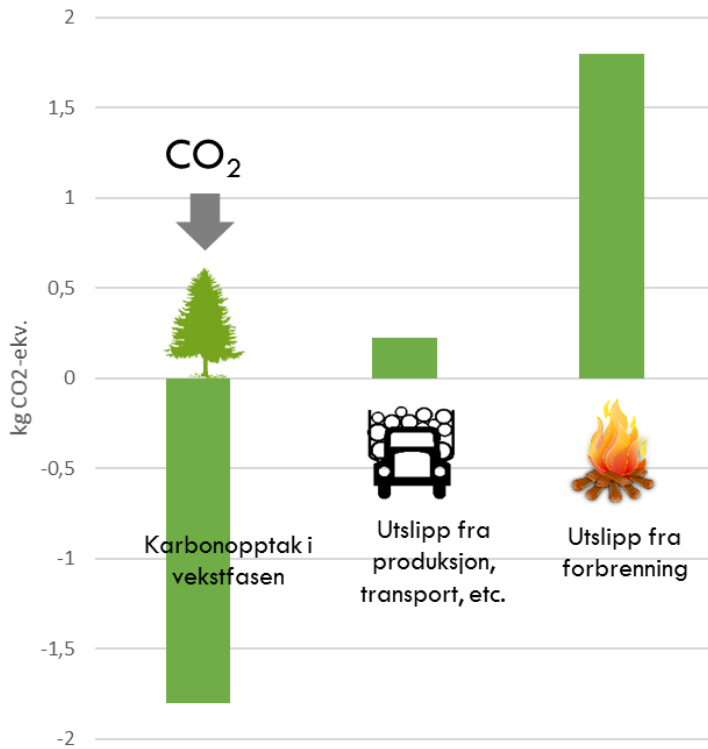
2.3.4.1. Karbonbinding i trebaserte byggematerialer

Trær, og alt annet plantemateriale, binder CO₂ gjennom fotosyntesen. Karbon som er bundet i biomasse betegnes som *biogent karbon*. Bundet karbon i trebaserte produkter er ikke permanent fordi det før eller senere vil frigjøres tilbake til atmosfæren gjennom forbrenning eller at trevirket råtner. Dersom trevirket brennes med karbonfangst (CCS), vil det biogene karbonet lagres permanent, og ikke slippes ut igjen til atmosfæren, men ettersom CCS ikke er implementert i avfallshåndtering i Norge per i dag, ser vi bort fra en slik situasjon i diskusjonen presentert i dette kapitlet. Se kapittel 3.11.2 for en drøfting av betydningen av CCS for beregning av utslipp for trematerialer i fremtiden.

Noe biogent karbon vil bli bundet i aske og jordsmonn, men det er en svært liten andel som i liten grad er forsøkt kvantifisert. Utslipp av biogent karbon til atmosfæren vil fysisk sett virke på samme

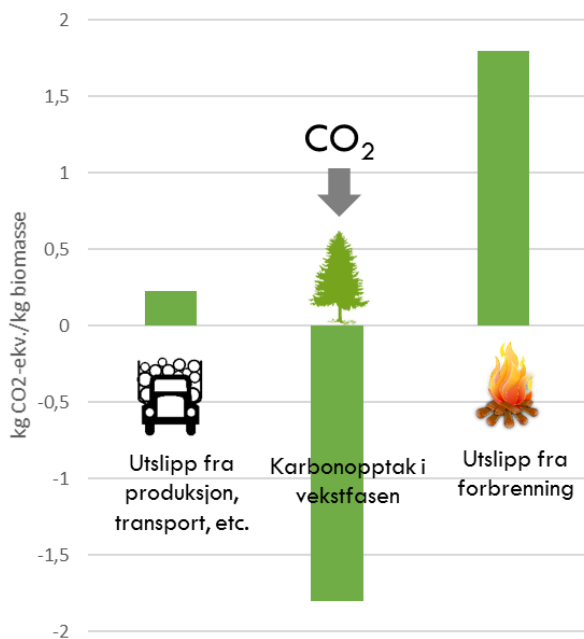
måte som karbon med fossilt opphav, men fordi det inngår i det naturlige karbonkretsløpet, regnes det som karbonnøytralt i det lange løp.

Forutsatt at tilveksten av ny biomasse er minst lik avvirkningen (ofte betegnet som bærekraftig skogsdrift) vil utslipp av biogent karbon ikke øke CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren. Netto tilskudd til atmosfærens CO₂-konsentrasjon fra trebaserte brenslere eller materialer regnes derfor vanligvis i LCA lik fossile utslipp fra tilvirkning produktene (energibruk i produksjon og transport etc.). Standard praksis er dermed å regne utslipp av biogent karbon som klimanøytrale på bakgrunn av opptak som allerede har funnet sted. Dette perspektivet er illustrert i Figur 8:



Figur 8 Konvensjonell fordeling mellom opptak av karbon i vekstfasen, utslipp fra tilvirkning, og utslipp fra forbrenning for biobrenslere. Biogene CO₂-utslipp i forbrenning regnes som netto karbonnøytrale på bakgrunn av opptaket som har skjedd i vekstfasen.

Den målte CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren er en konsekvens av utslipp og opptak som har skjedd frem til i dag. For å kunne regne hvilken klimaeffekt tiltak for å redusere CO₂-innholdet i atmosfæren fra dagens nivå, bør vi ta utgangspunkt i situasjonen slik den er i dag, og vurdere hvilke konsekvenser valg vi gjør i dag og i fremtiden vil ha. Dette medfører at man må betrakte karbonopptak i ny tilvekst som en konsekvens av hogst, uavhengig av om trevirket skal benyttes som material eller brensel, for å vurdere klimaeffekten av å benytte treprodukter. Bærekraftig skogsdrift er dermed et underliggende premis for at bruk av tre til materialer eller brensel skal kunne regnes som et klimatiltak. Med dette utgangspunktet oppveies biogene CO₂-utslipp ved forbrenning (eller annen nedbryting) av trevirket ved å forutsette at en tilsvarende mengde karbon tas opp i nye trær som plantes for å erstatte de som ble hugget. Dette er illustrert i Figur 9:



Figur 9 Fordeling mellom utslipp fra tilvirkning, opptak av karbon i ny tilvekst, og utslipp fra forbrenning for biobaserte byggematerialer når opptak betraktes som en konsekvens av hogst

I Norge har vi hatt netto tilvekst av skog siden 1950-tallet³¹. Imidlertid gjelder dette ikke hele kloden, og globale skogsområder har minket siden 1990³².

I nyere EPD'er inkluderes biogent karbon som en del av utslippsbildet for tre/plantebaserte produkter. Mengden bundet karbon i tre/plantebaserte produkter overgår i de fleste tilfeller CO₂-utslippene fra produksjon, transport, bruk og avhending. Dersom man ekskluderer avhendingsfasen (modul C) i klimagassberegninger og benytter netto negative utslipp for treprodukter, får man den ulogiske slutningen at jo mer tre du putter inn i et bygg, desto lavere blir utslippene, dvs. et insentiv til overdimensjonering.

I EPD-er for trebaserte produkter der utslipp i C-fasen ikke er deklartert kan man derfor oppgi negative utslipp i A1-A3. Imidlertid kreves det at man også angir en tilleggsberegning av utslipp der opptak kanselleres av forbrenningsutslipp (også kalt prinsippet om umiddelbar oksidasjon av biogent karbon, IOBC).

Figur 10 og Figur 11 viser eksempler på hvordan dette kan angis i EPD for trebaserte produkter:

Miljøpåvirkning		
Parameter	Unit	A1 - A3
GWP _{Bio+GHG}	kg CO ₂ -ekv	-672
<i>derav biogent karboninnhold, GWP_{Bio}</i>		<i>-718</i>
<i>derav bidrag till klimapåv., GWP_{GHG}</i>		<i>45,6</i>

Figur 10 Eksempel på hvordan klimapåvirkning (GWP) kan oppgis fordelt på biogene utslipp og netto bidrag til å øke atmosfærens karboninnhold i en EPD

³¹ http://www.skogoglandskap.no/filearchive/tilvekst_og_skogavvirkning.pdf

³² <http://www.fao.org/3/a-i4868e.pdf>

Klimadeklarasjon

For å øke transparensen i bidraget til klimapåvirkning, så er indikatoren GWP blitt delt opp her i underindikatorer:

GWP-IOBC Klimapåvirkning beregnet etter umiddelbar oksidasjon av biogent karbon prinsippet.

GWP-BC Klimapåvirkning fra netto opptak og utslipp av biogent karbon fra materialene i hver modul.

Klimapåvirkning

Parameter	Unit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5
GWP-IOBC	kg CO ₂ -ekv	7,46E+01	1,27E+01	4,13E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,66E+00	0,00E+00	0,00E+00
GWP-BC	kg CO ₂ -ekv	-7,98E+02	0,00E+00	5,57E-03	0,00E+00	0,00E+00	-3,36E-05	0,00E+00	0,00E+00
GWP	kg CO ₂ -ekv	-7,23E+02	1,27E+01	4,14E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,66E+00	0,00E+00	0,00E+00

Klimapåvirkning

Parameter	Unit	B6	B7	C1	C2	C3	C4		D
GWP-IOBC	kg CO ₂ -ekv	0,00E+00	0,00E+00	9,88E-03	5,59E+00	4,73E+00	2,02E-02		-3,53E+01
GWP-BC	kg CO ₂ -ekv	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,97E+02	0,00E+00		0,00E+00
GWP	kg CO ₂ -ekv	0,00E+00	0,00E+00	9,88E-03	5,59E+00	8,02E+02	2,02E-02		-3,53E+01

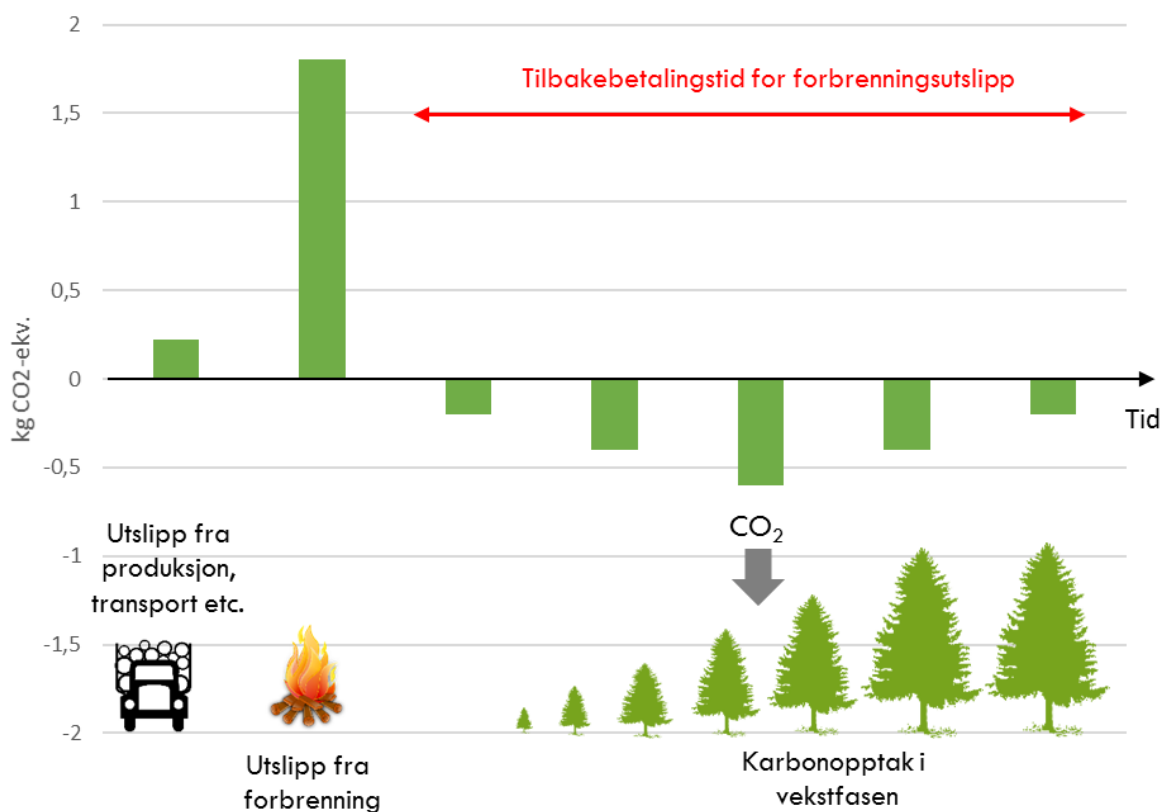
Figur 11 Eksempel på hvordan klimapåvirkning (GWP) kan oppgis som biogene og fossile opptak og utslipp per modul (GWP), iht. prinsippet om umiddelbar oksidasjon av biogent karbon (GWP-IOBC), og for netto opptak og utslipp av biogent karbon i hver modul (GWP-BC) i en EPD

Tidspunktet fra et tre plantes til det er hugges kalles treets rotasjonsperiode. Dersom man forutsetter at kun fullvoksne trær hugges, er rotasjonsperioden for norsk gran og furu på rundt 100 år³³. Tidsperioden fra et tre hugges og til tilsvarende mengde karbon som ble tatt ut av skogen er bundet i ny biomasse gjennom fotosyntese er altså relativt lang. Alle utslipp av CO₂ til atmosfæren har samme potensiale for å forårsake klimapåvirkning, uavhengig av kilde. Som nevnt over, er ikke grunnen til at biobrensler betraktes som klimanøytrale at CO₂ fra forbrenning av ved ikke har den samme fysiske virkningen i atmosfæren, men at vi antar at et utslipp for forbrenning av ved nulles ut av et tilsvarende opptak i ny tilvekst. Men ettersom utslipp og opptak ikke inntreffer samtidig, og at tidsforskyvningen mellom disse hendelsene er lang, vil utslipp fra forbrenning av biomasse bli værende i atmosfæren og forårsake økt klimapåvirkning over lang tid. Karbonnøytralitet medfører dermed ikke klimanøytralitet.

Tiden det tar før utslipp fra karbon frigjort til atmosfæren gjennom forbrenning av biomasse er bundet i ny tilvekst kan vi betegne som tilbakebetalingstiden for forbrenningsutslipp. Dette er illustrert i Figur 12. De negative søylene representerer opptak av CO₂ i vekstfasen. Søylene er ulike i størrelse ettersom karbonopptaket ikke skjer lineært over vekstfasen³⁴, men tilsvarer i sum utslippet fra forbrenning.

³³ Cherubini f.fl. (2012)

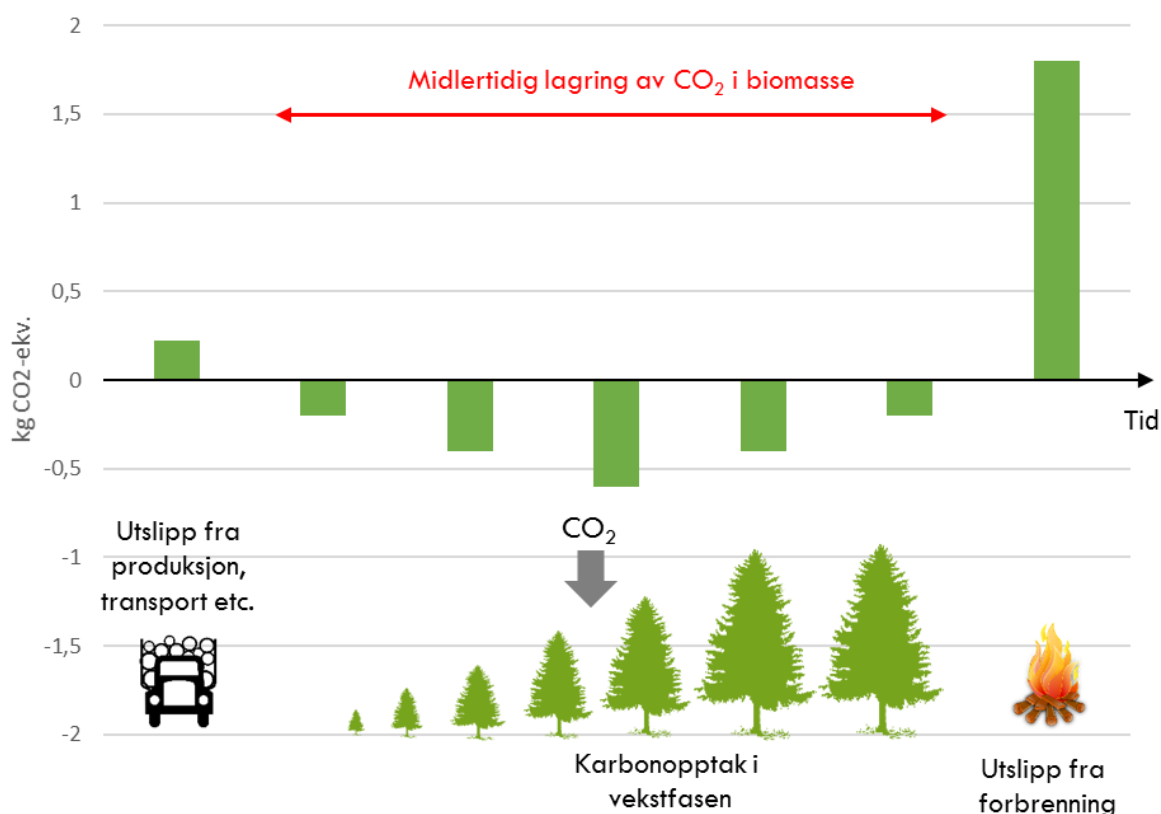
³⁴ Akkumulert CO₂-opptak i vekstfasen følger en S-formet kurve, mens det årlige opptaket tilnærmet følger en normalfordelt kurve.



Figur 12 Karbonsyklus for biobrensler medregnet rotasjonstid for ny tilvekst

For biobaserte materialer med lang levetid vil perioden med karbonopptak i ny tilvekst imidlertid starte *før* utslippet oppstår (når bygget avhendes eller senere, dersom materialene for eksempel ombrukes). Produkter tilvirket av biomasse (for eksempel byggematerialer av tre) fungerer dermed som et midlertidig karbonlager så lenge produktene forblir i bruk. Karbonet som er lagret i biomassen vil til slutt slippes ut, oftest ved forbrenning av produktene til energiformål, enten direkte eller i avhendingsfasen. I klimagassberegninger (LCA) har det så langt vært standard praksis å regne klimaeffekt av utslipp på samme måte, uavhengig av når de oppstår, slik at tidsaspektet ikke har hatt noen praktisk betydning (se kapittel 2.3.3).

Figur 13 illustrerer karbonsyklusen for biobaserte materialer når rotasjonstiden tas med i bildet. I tidsrommet der materialene er i bruk utgjør de et midlertidig karbonlager. Denne tidsperioden er uavhengig av rotasjonstiden, men her er det for enkelhets skyld forutsatt levetid for materialene lik rotasjonsperioden.



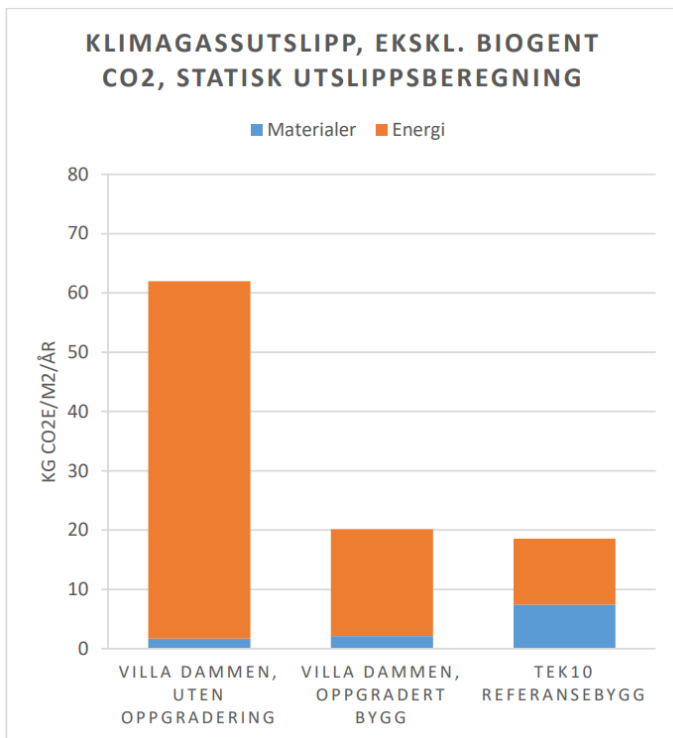
Figur 13 Karbonsyklus for biobaserte materialer medregnet rotasjonstid for ny tilvekst (her vist for materialer med lik levetid som treets rotasjonsperiode).

Ettersom det forsinkes utslipp av CO₂ til atmosfæren (frem til endt levetid), kan karbonlagring i treprodukter betraktes som et klimatiltak. Så lenge produktene er i bruk som bygningsmateriale, bidrar de til å forsinke utslipp.

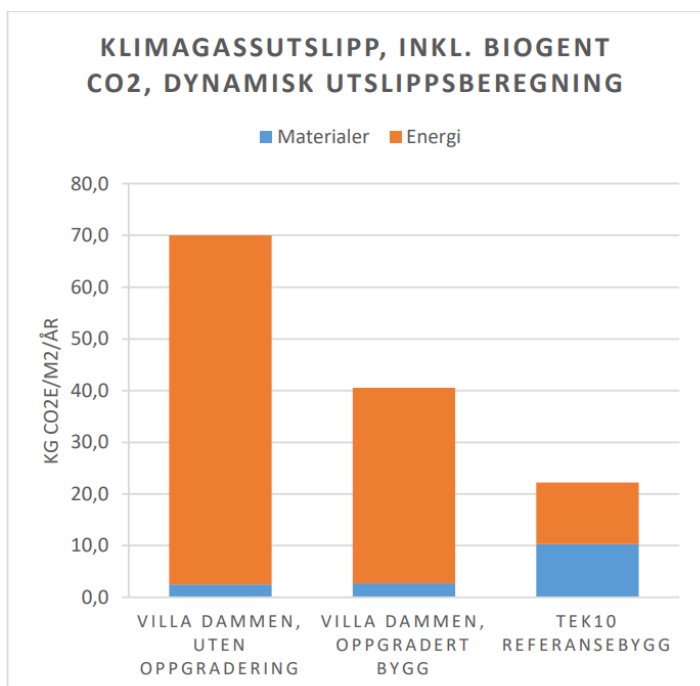
Standard LCA-metodikk tar imidlertid ikke hensyn til tidsaspektet ved opptak og utslipp, og kan derfor ikke benyttes til å vise klimagevinst av midlertidig lagring eller forsinkelse av utslipp. Med dynamisk beregningsmetodikk (se kapittel 2.3.3) vil den midlertidige lagringseffekten fra trevirke i bygningsmassen kunne medregnes som en netto klimagevinst.

Beregninger med og uten tidsjustering av utslipp for ulike scenarier for eneboligen Villa Dammen, utført av Asplan Viak i 2016³⁵ er vist i Figur 14 og Figur 15.

³⁵ https://www.byggogbevar.no/media/6381/klimagassberegninger_villa_dammen.pdf



Figur 14 Klimagassberegninger for materialbruk og energi for utviklingsscenarioer for eneboligen Villa Dammen, med konvensjonell (statisk) beregningsmetodikk



Figur 15 Klimagassberegninger for materialbruk og energi for utviklingsscenarioer for eneboligen Villa Dammen, med konvensjonell (statisk) beregningsmetodikk

Beregningsresultatene for Villa Dammen viste at dynamisk beregningsmetodikk ga høyere beregnede totale utslipp enn standard metodikk. Det var av stor betydning for resultatene at bygget før og etter

oppgradering i hovedsak benyttet vedfyring til oppvarming, mens referansebygget var forutsatt å benytte elektrisitet. Dynamisk beregningsmetodikk førte også til en vesentlig større økning i materialutslippene i referansescenarioet med nybygg enn i oppgraderingsscenarioet. Dette skyldtes at utslippene fra forbrenning av avfallstrevirke fra riving var medregnet i utbyggingsfasen for referansebygget, og dermed hadde større betydning totalt enn forbrenningsutslippene forbundet med riving etter 60 år, fordi utslippene forekommer tidlig i analyseperioden, og dermed ble vektet tyngre. Konklusjonen fra beregningene for Villa Dammen var at effekten av midlertidig karbonlagring i trematerialene hadde vesentlig mindre betydning for totale utslipp enn det å regne med biogene utslipp fra forbrenning av ved og trematerialer ved riving.

I de nye regnereglene for FutureBuilt ZERO³⁶ er det, som beskrevet i kapittel 2.3.4.1, foreslått vektingsfaktorer for tidsjustering av utslipp. Metodikken også er basert på prinsippene i dynamisk LCA, betrakter opptak i ny tilvekst som en konsekvens av hogst, og legger til grunn 100 års rotasjonstid for trevirke. FutureBuilt foreslår imidlertid statiske vektingsfaktorer for å regne effekten av karbonbinding og biogene forbrenningsutslipp, som en forenkling for å gjøre regnereglene mer anvendbare. En viktig forutsetning som har betydning for vektingsfaktorene er at det legges til grunn at 50 % av avfallsforbrenning vil skje med CCS som snittverdi i løpet av byggets levetid, mens 90 % av avfallsforbrenning etter 60 år vil skje med CCS. Dette gir, som gjengitt i Tabell 3, en total vektingsfaktor for karbonopptak i trematerialer på -1.27 kg CO₂-ekv./kg materiale. Beregningsfaktor for forbenning av trevirke etter 60 år er 0.09 kg CO₂-ekv./kg.

For 1 m³ massivtre (tetthet 500 kg/m³) med produksjonsutslipp (A1-A3) på 120 kg CO₂-ekv/m³ og levetid 60 år, vil dette i teorien gi en netto klimagevinst på:

$$500 * -1.27 + 120 + 500*0.09 = -470 \text{ kg CO}_2\text{-ekv.}$$

Det spesifiseres imidlertid at «det er mulig å oppnå nøytral, men ikke negativ klimaeffekt fra fremstilling og avfallsforbrenning av trevirke. (...) Nøytraliteten beregnes som netto effekt fra materialfremstilling og avfallshåndtering av treproduktet og det biogene opptaket. Altså kan summen av disse gå i null, men ikke bli negativ.». Dette er gjort for å unngå insentiver til overdimensjonering. Det spesifiseres også: «Transportutslipp kan ikke kompenseres for med biogent opptak.». Med dette menes at utslipp fra transporten av treproduktene ikke oppveies av fratrek for karbonopptak i skog.

Den praktiske konsekvensen av denne metodikken vil altså i de aller fleste tilfeller være at utslipp fra trematerialer regnes tilsvarende transporten til byggeplass. Variasjonen i produksjonsutslipp for limte treprodukter er stor (se Figur 26, kapittel 3.5.1.3). Med FutureBuilt's nye regneregler vil man imidlertid likestille en massivtreproducent som leverer massivtre med 190 kg CO₂e/m³ med en som leverer med 45 kg CO₂e/m³, gitt at de er plassert like langt fra byggeprosjektet. Selv om transport av tunge treprodukter har stor betydning, vil det å ikke ta hensyn til den godt dokumenterte variasjonen i produksjonsutslipp eliminere muligheten til å påvirke de utslippene prosjektene har best oversikt og innflytelse over, og å realisere det betydelige potensialet for utslippsreduksjon knyttet til å velge produsentene av trematerialer som kan dokumentere de laveste produksjonsutslippene. Regnereglene er i skrivende stund ikke testet i praksis i prosjekter³⁷.

Et alternativ til å benytte tidsjustering for å ta hensyn til utslipp og opptak av biogent karbon, er å benytte vektingsfaktorene fremsatt av Guest et. al.³⁸, kalt GWP_{bio} (må ikke forveksles med betegnelsen som brukes i enkelte EPDer for å deklare biogent karboninnhold i produkter). Dette er

³⁶ <https://www.futurebuilt.no/content/download/21526/128234>

³⁷ Mailkorrespondanse med Eirik Resch ved NTNU

³⁸ Guest, Geoffrey; Cherubini, Francesco; Strømman, Anders H. (2013) *Global Warming Potential of Carbon Dioxide Emissions from Biomass Stored in the Anthroposphere and Used for Bioenergy at End of Life*. Journal of Industrial Ecology, Vol. 17. Issue 1

statiske vektingsfaktorer som er ment å kunne benyttes som en mellomting mellom å regne med GWP=0 (ingen klimapåvirkning) og GWP=1 (klimapåvirkning tilsvarende fossile utslipp) for biogene karbonutslipp til atmosfæren. GWP_{bio}-faktorene skiller på ulike rotasjonstider (1-100 år), varierende periode for midlertidig lagring (tidspunkt fra hogst til forbrenning) og tidshorisonter (GWP100 og GWP500). Vektingsfaktorene varierer fra -0.99 for biomasse fra hurtigvoksende vekster med 1 års rotasjonstid som lagres midlertidig i 100 år før karbonet frigjøres til atmosfæren, til +0.44 for saktevoksende vekster med 100 års rotasjonstid og ingen midlertidig lagring, dvs. forbrenning i samme år som hogst. Vektingsfaktorene skal multipliseres med den mengden biogent CO₂ som vil slippes ut ved forbrenning av trevirket. For å finne hvor mye biogent CO₂ som frigjøres til atmosfæren ved forbrenning etter endt levetid (forutsatt at CCS ikke brukes), kan man benytte angitt biogent karboninnhold i EPD, eller alternativt regne det ut ved hjelp av beregningsmetodikken i NS EN 16449:2014 *Wood and wood-based Products – Calculation of the biogenic carbon content of wood and conversion to carbon dioxide*.

Samlet klimafotavtrykk for et trebasert bygningsprodukt vil dermed bli summen av fossile utslipp gjennom livsløpet og biogene utslipp ved forbrenning, justert med GWP_{bio}.

GWP_{bio}-faktorer med 100 års tidshorison (GWP100) er gitt i Tabell 4:

Tabell 4 GWP_{bio} vektingsfaktorer med 100 års tidshorison (GWP100) for å regne klimaeffekt fra utslipp av biogent karbon til atmosfæren, for varierende rotasjonstid og tidsperiode for midlertidig lagring. Kilde: Guest et al. (2013)

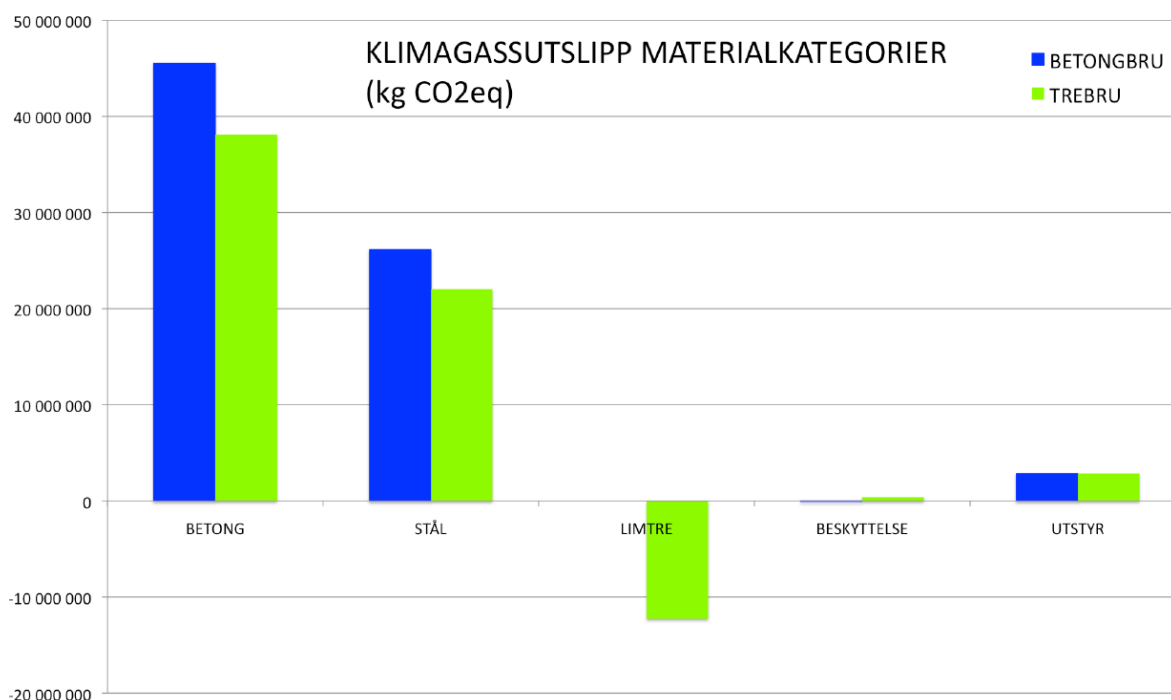
Rotation period (years)	Storage period in the anthroposphere (years)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	0.00	-0.07	-0.15	-0.23	-0.32	-0.40	-0.50	-0.60	-0.71	-0.84	-0.99
10	0.04	-0.04	-0.12	-0.20	-0.28	-0.37	-0.46	-0.57	-0.68	-0.80	-0.96
20	0.08	0.00	-0.08	-0.16	-0.24	-0.33	-0.42	-0.53	-0.64	-0.76	-0.92
30	0.12	0.04	-0.04	-0.12	-0.20	-0.29	-0.38	-0.48	-0.60	-0.72	-0.88
40	0.16	0.09	0.01	-0.08	-0.16	-0.25	-0.34	-0.44	-0.55	-0.68	-0.84
50	0.20	0.13	0.05	-0.03	-0.12	-0.21	-0.30	-0.40	-0.51	-0.64	-0.80
60	0.25	0.17	0.09	0.01	-0.07	-0.16	-0.26	-0.36	-0.47	-0.59	-0.75
70	0.29	0.22	0.14	0.06	-0.03	-0.12	-0.21	-0.31	-0.42	-0.55	-0.71
80	0.34	0.26	0.18	0.10	0.02	-0.07	-0.17	-0.27	-0.38	-0.50	-0.66
90	0.38	0.31	0.23	0.15	0.06	-0.03	-0.12	-0.22	-0.33	-0.46	-0.62
100	0.44	0.37	0.29	0.21	0.12	0.032	-0.06	-0.16	-0.27	-0.4	-0.56

For trevirke som benyttes i byggeprodukter er det som nevnt over rimelig å legge til grunn 100 års rotasjonstid. Dersom man igjen vurderer 1 m³ massivtre med 60 års midlertidig lagring i et bygg (dvs. levetid tilsvarende byggets levetid), vil man regne med en GWP_{bio} vektingsfaktor på -0.06. Hvis vi legger til grunn karboninnhold i 1 m³ massivtre som vist i figur, dvs. 718 kg CO₂-ekv./m³, gir dette et netto fratrekk som følge av midlertidig karbonlagring i bygget på ca. 43 kg CO₂-ekv./m³ massivtre. Dersom vi legger til grunn samme produksjonsutslipp for massivtreet som i regneeksemplet over, 120 kg CO₂-ekv./m³, gir det et netto utslipp medregnet lagring og utslipp av biogent karbon på ca. 77 kg CO₂-ekv./m³.

Fordi vi legger til grunn 100 års tidshorison og 100 års rotasjonstid, vil det ha stor betydning om man forutsetter at treprodukter lagres kortere eller lenger enn 60 år med denne metodikken. Hvis vi for eksempel legger til grunn at bygningen vil stå i vesentlig lenger enn 60 år, eller at treproduktene ombrukes i et nytt bygg, vil man kunne regne inn karbonopptak over hele rotasjonsperioden, som gir en justeringsfaktor på -0.56 iht. Tabell 4, og som ville endret regnestykket over til å gi en netto utslippsgevinst på ca -402 kg CO₂-ekv./m³. I klimagassberegninger for Mjøsbrua³⁹ benyttet Bård

³⁹ Mjøsbrua - Klimagassberegninger. Notat 27.04.2016. Bård Solem, Eggen Arkitekter.

Solem i Eggen Arkitekter i 2016 denne beregningsmetodikken⁴⁰ for å vurdere betydningen av å regne med karbonlagring for brukonstruksjon i tre. Her var det altså lagt til grunn at brukonstruksjonen ville ha en levetid på 100 år eller mer, som ga netto negative beregnede utslipp for limtre:



Figur 16 Klimagassberegninger for Mjøsbrua, medregnet karbonlagringseffekt for trematerialer iht. GWPbio. Kilde: Bård Solem, Eggen Arkitekter.

Dette viser at effekt av utslipp og midlertidig lagring av biogent karbon varierer mye med valg av beregningsmetode og forutsetninger om tidsperiode for midlertidig lagring i bygg og avfallshåndteringsteknologi. For bygg med mye tre vil dette ha stor betydning for beregnet klimapåvirkning.

NS 3720 spesifiserer at beregninger av biogent karbon skal oppgis separat i resultatpresentasjonen og dermed ikke skal inngå i presenterte livsløpsutslipp.

Dette er hovedgrunnene til at beregningene av referanse- og lavutslippsnivåer presentert i denne rapporten er gjort med konvensjonell (statisk) beregningsmetodikk. Som drøftet over, har forutsetninger knyttet til avhending/ombruk stor betydning for trematerialer, og denne usikkerheten er en hovedårsak til at vi har valgt å ekskludere avhendingsfasen (modul C) i referansenivåene. Dersom vi hadde valgt å inkludere avhendingsutslipp, kunne vi benyttet en dynamisk beregningsmetodikk tilsvarende som for Villa Dammen, kunne vi forventet en moderat endring i materialutslippene for bygningskategorier som inneholder mye trematerialer (i hovedsak småhus). For de øvrige kategoriene ville effekten med all sannsynlighet vært minimal. Dersom vi i stedet hadde valgt FutureBuilt's beregningsmetodikk, ville trematerialer blitt regnet med nullutslipp fra produksjon. Dette ville ført til lavere beregnede utslipp for småhus, og et noe større beregnet effekt av å velge trebaserte materialer i lavutslippsbygg. Sammenlikning av utslipp for kontorbygg med bæresystem i tre og betong (se kapittel 3.9.3) ville gitt vesentlig endrede resultater dersom utslipp fra

⁴⁰ En GWPbio-faktor på -0.39 ble brukt i beregningene til Eggen Arkitekter, på anbefaling fra Christian Solli i Asplan Viak. Faktoren er hentet fra en senere rapport fra Guest et. al., der de også angir faktorer som ekskluderer klimaeffekten av skogdekke for refleksjon av sollys global oppvarming (albedo-effekt), og tilsvarer faktoren på -0.56 i Tabell 4, som inkluderer albedoeffekt.

trematerialer regnes tilsvarende transportutslippene, og ville ikke kunne gi noen meningsfull vurdering av betydningen av å velge produsenter av trematerialer som kan dokumentere lave produksjonsutslipp.

2.3.4.2. Karbonatisering i betong

Ved framstilling av sement og kalk, frigjøres CO₂ som del av den kjemiske kalsineringsprosessen. Disse prosessutslippene i sementproduksjonen står for ca. halvparten av de totale klimagassutslippene forbundet med produksjon av betong. En del av karbonet som frigis, kan senere tas opp igjen i betongen gjennom såkalt karbonatisering og lagres som kalsiumkarbonat (CaCO₃). Effekten av karbonatisering frem til avhending og eventuell knusing kan inkluderes i EPDer og klimagassberegninger iht. NS 3720.

Karbonatisering fører til at pH i betongen synker, og kan i verste fall føre til korrosjonsskader på innstøpt stålarming. Karbonatisering av betongen i et bygg i drift er følgelig ikke ønskelig, og det skjer vanligvis svært lite karbonatisering i bruksfasen av et bygg. Effekten av karbonatisering på beregnede klimagassutslipp frem til avhending vil dermed være marginale.

I og etter avhendingsfasen kan det forekomme større grad av karbonatisering, dersom betongen knuses til mindre partikler slik at overflaten som kan reagere med karbon i luften blir større. Dersom betongen knuses, spres utover et større område og blir liggende over lengre tid, vil potensialet for opptak av karbon tilsvare ca. 40 % av CO₂-utslippene fra kalsinering i sementproduksjonen. De mest vanlige bruksformålene for knust betong er imidlertid som erstatning for pukk/grus i bærelag ved veibygging eller underlag for andre asfalterte områder, der oksygentilgangen ikke vil være optimal for karbonatisering⁴¹.

Effekt av karbonatisering på klimaregnskapet for et betongbygg avhenger dermed av bruksformål for betongen etter at bygget rives, og det er svært usikkert hvorvidt effekten vil være signifikant dersom vi ser på vanlig praksis for bruk av knust betong. Eventuell signifikant påvirkning på utslipp over bygningers livsløp vil inntreffe i modul C og/eller D, som ikke er medregnet i beregningene presentert i denne rapporten (se kapittel 3.2.4.2).

I de nye regnereglene for FutureBuilt ZERO er det foreslått å regne klimagevinst som følge av karbonatisering i sementbaserte produkter ved å benytte en beregningsfaktor på -0.06 kg CO₂-ekv./kg sement i produktet (se Tabell 3). Dette er basert på en forutsetning om et opptak 94 kg CO₂ per tonn sement etter en brukstid på 100 år⁴².

2.3.5. Allokering av gevinster fra gjenvinning

I modul-systemet gitt av NS-EN 15978 defineres gevinster knyttet til ombruk/gjenvinning av materialer etter byggets levetid som «tilleggsinformasjon», og skal deklarerer i egen modul, D.

For resirkuleringsprosesser er den mest utbredte beregningspraksisen at alle utslipp knyttet til utvinning og produksjon av et nytt materiale allokeres til den første brukeren av materialet, mens nedstrøms bruk kun belastes miljøbelastningen ved å oppgradere det resirkulerte materialet til nytt bruk.

For avfallsbehandling ved forbrenning med energigjenvinning er praksis stort sett at utslippene allokeres til avfallshåndteringen. Denne praksisen er også formalisert i norsk standard for klimagassberegninger for bygninger, NS 3720 (se kapittel 2.2.2.1), ved at utslipp fra

⁴¹ https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2651382/NIBIO_RAPPORT_2020_6_20.pdf?sequence=4

⁴² <https://www.futurebuilt.no/content/download/21528/128241>

avfallsforbrenning skal tilskrives den som genererer avfallet, og ikke den som benytter energien i form av fjernvarme.

2.3.6. Beregningsmetodikk for ombruk

Det har så langt vært vanlig å benytte samme metodikk for ombruksmaterialer som ved resirkulering, dvs. å fordele alle produksjonsutslipp for en komponent som ombrukes til det første byggeprosjektet der komponenten ble tatt i bruk. Dermed regnes som regel ombruksmaterialer med null produksjonsutslipp, utover det som forårsakes av transport og eventuell tilpasning for bruk i det nye bygget.

Man kan argumentere for at dette perspektivet kun gir en rettferdig byrdefordeling dersom komponenten som ombrukes har oppfylt sin funksjon i bygget i en tidsperiode tilsvarende komponentens forventede levetid. Dette blir spesielt tydelig når man skal anslå gevinsten av å ombruke materialer som bare har vært benyttet i det første bygget i en kort periode, eller overskuddsvarer som ikke har blitt tatt i bruk i det hele tatt. På den ene siden kan man lene seg på det økonomiske konseptet om *sunk cost*, og si at utslipp fra å produsere disse materialene var drevet at en etterspørsel fra det opprinnelige byggeprosjektet, og derfor bør belastes dette. På den andre siden er det også mulig å benytte det økonomiske prinsippet om *restlevetid* for å fordele produksjonsutslippene mellom prosjekter. Restlevetid benyttes i økonomiske analyser for å tilskrive en økonomisk verdi til komponenter som ikke har utlevd sin tekniske levetid. Samme tilnærming kan i prinsippet benyttes for å fordele produksjonsutslipp for ombrukskomponenter i klimagassberegninger.

I stedet for å betrakte ombruksmaterialer som har en betydelig restlevetid som sunk cost, kunne man i stedet allokere produksjonsutslippene i henhold til komponentens forventede levetid. Et eksempel er vinduer som har vært i bruk i et bygg i 5 år, og deretter demonteres og ombrukes i et nytt bygg. Dersom vinduene har en forventet levetid i bygget på 30 år, kan man legge til grunn at en 5/30 av produksjonsutslippene er «avskrevet», og at den resterende 25/30-delen av utslippene fra produksjon av vinduene bør tilskrives det nye byggeprosjektet.

Selv om restlevetid-tilnærmingen gir en mer rettferdig byrdefordeling, kan man også argumentere for at den reduserer incentivet til ombruk, og fremmer dårligere ressursutnyttelse ved at man eliminerer den beregnede klimagevinsten ved å ta i bruk overskuddsvarer. En metodisk utfordring er i tillegg at man i praksis dobbeltteller utslipp fra materialene som ombrukes, fordi byggeprosjektet der materialene første gang tas i bruk ikke vil kunne forutse at materialene kommer til å ombrukes, og uansett teller med 100% av produksjonsutslippene i sitt klimagassregnskap.

Utover metodiske spørsmål om allokering, bør man inkludere utslipp knyttet til nødvendig bearbeiding, transport og evt. mellomlagring for å nyttiggjøre ombruksmaterialer i nye bygg. Det er imidlertid gjort få beregninger på utslippseffekten av disse aktivitetene for ulike materialgrupper og scenarier. Ettersom markedet for ombruksmaterialer også er lite organisert i Norge per i dag, vil det være høy usikkerhet knyttet til hvor godt tall for ett prosjekt er overførbare til et annet.

Mye på grunn av at ombruk til nå har vært relativt lite utbredt, er det ikke etablert felles regneregler som angir hvordan disse spørsmålene skal håndteres i klimagassberegninger. Hvis det skal utformes retningslinjer, oppfordrer vil til at disse baseres på scenarier og analyser av ulike typer ombruk, slik at de utformes til å håndtere de komplekse problemstillingene knyttet til ombruk.

2.3.7. En lek med tall? Variasjon og usikkerhet i klimagassberegninger for materialer og bygninger

Som det fremgår av de ovenstående avsnittene, kan det være relativt stor variasjon i metodiske valg og forutsetninger i LCA og klimagassberegninger, som igjen kan være kilder til variasjon i analyseresultater, selv om analyseobjektet er likt. En studie utført av Asplan Viak for Husbanken i

2015⁴³ sammenliknet konsekvensene av å bruke ulike forutsetninger i LCA for byggematerialer. Studien analyserte fire ulike materialtyper (tre, betong, stål og aluminium) brukt i konstruktiv bæring i et søyle-/draggersystem for et gitt areal. Man oppdaget stor variasjon i beregnet klimapåvirkning innenfor hver løsning, som følge av hvilke forutsetninger og metodiske valg som ble lagt til grunn. Den relative rangeringen mellom løsningene forholdt seg imidlertid mer eller mindre lik. Spenn i beregningsresultater og viktigste forutsetninger som hadde betydning for resultatene er vist i Tabell 5:

Tabell 5 Spenn i beregnet klimapåvirkning for materialbruk i bæresystem og viktigste forutsetninger som påvirker beregningsresultater. Kilde: Nordby, Solli & Dahlstrøm, 2015

Materialtype	Stål (per kg)	Aluminium (per kg)	Tre (per m3)	Betong (per m3)
Resultat-range (min-max) [kg CO2-ekv.]	0,7 - 2,8	2,5 - 9,1	+ 558 - 275	234 - 380
Viktigste bestemmende forutsetninger for resultat	Overordnet analyseperspektiv og markedssituasjon for skrap er veldig viktig Tidsperspektivet er viktig i forhold til gevinst ved avhending og resirkulering	Overordnet analyseperspektiv og markedssituasjon for skrap er bestemmende for resultatet Tidsperspektivet er viktig i forhold til gevinst ved avhending og resirkulering Klimautslipp fra elektrisitmiksen brukt i produksjonen har stor påvirkning på resultatet	Klimaeffekt av biogent karbon er meget viktig i forhold til klimapåvirkning i produksjon (forbrenning av biomasse til tørking) og klimaeffekt fra forbrenning i avhending. «Lagringseffekten» byttes i større klimapåvirkning fra forbrenning når man inkluderer klimaeffekt fra biogene utslipp. Tidsperspektivet påvirker også klimaeffekten av gevinst ved avhending og varmeproduksjon.	Overordnet analyseperspektiv og markedssituasjon for flyveaske og avfallsforbrenning (klinkerproduksjon) er ganske viktig for resultatet.

Det er svært viktig at enhver LCA eller klimagassberegning sees i lys av forutsetningene som er lagt til grunn. Dette betyr likevel ikke at LCA kun er en lek med tall, men at det krever kompetanse å velge de forutsetningene som er best egnet for å besvare på de spørsmålene man stiller i den aktuelle analysen.

I analyser som er ment å brukes som sammenlikningsgrunnlag, som for eksempel i EPDer eller standardiserte klimagassberegninger av bygninger, er det avgjørende at man i størst mulig grad benytter tilsvarende metodikk og forutsetninger. Dette er bakgrunnen for at man har utarbeidet produktkategoriregler (PCR) for EPDer og en nasjonal standard for klimagassberegninger på bygningsnivå. Det er imidlertid viktig å være klar over at disse rammeverkene i hovedsak angir retningslinjer for hvordan analyser skal utføres, og at det fortsatt er nødvendig med LCA-faglig

⁴³ <http://biblioteket.husbanken.no/arkiv/dok/Komp/helhetlig%20miljovurdering%20av%20byggematerialer.pdf>

kompetanse for å gjennomføre gode analyser. Dette gjelder også ved bruk av dedikerte beregningsverktøy.

Vår vurdering er at følgende faktorer har vært og er hovedkildene til variasjon i beregnet klimapåvirkning og utslippsreduksjon for bygninger i Norge:

- Valg av forutsetninger og systemgrenser
- Utslippsdata
- Utforming av beregningsmodell og løsningsvalg i referansebygg

Det er svært utfordrende å si noe om hvor stor relativ betydning hver enkelt faktor har hatt i klimagassberegninger for norske bygg frem til i dag.

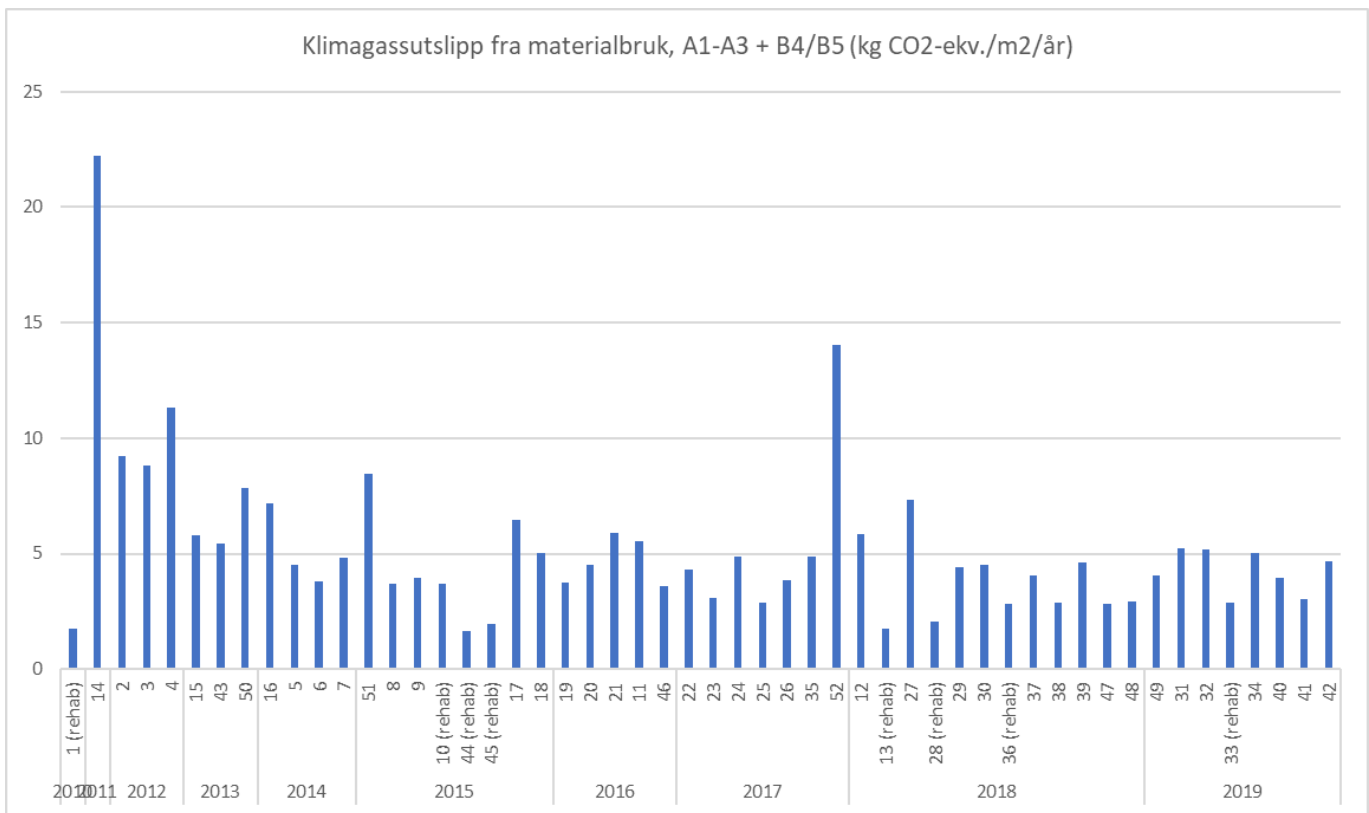
Fordi klimagassberegninger fortsatt må ansees som et relativt ungt fagfelt, har det i tidligere beregninger (spesielt da tilfanget på EPDer for byggevarer var mer begrenset) hersket en del usikkerhet rundt hvor representative utslippstall for materialer har vært. For produktgrupper der det ikke har vært EPDer tilgjengelig, har det vært utbredt å benytte samme utslippstall, på tross av at man ikke nødvendigvis benytter de samme produktene i de faktiske byggene. Dette er en utfordring vi fortsatt ser for solceller, fordi tilgangen på gode miljødata har vært begrenset⁴⁴.

En sammenstilling av tidligere utførte klimagassberegninger for bygg i Osloområdet⁴⁵ i kronologisk rekkefølge indikerer en tendens til at tidligere utslippsberegninger (utført 2010-2013) lå noe høyere enn nyere beregninger, men også at variasjonen i de tidlige beregningene er større enn for de nyere. Dette kan ha sammenheng med utvikling i beregningsverktøy og økende grad av konsensus rundt metodikk og utslippsfaktorer. Det er også nærliggende å tro at forbedringer i materialproduksjon i

⁴⁴ Med ny PCR for solcellekomponenter som ble publisert i 2020 forventes det at EPDer for solcellemoduler vil bli tilgjengelig innen kort tid.

⁴⁵ https://www.klimaoslo.no/wp-content/uploads/sites/88/2020/09/Kartlegging-av-klimagassberegninger-for-bygg-og-anlegg-i-Oslo_endelig.pdf

retning av mer klimavennlige produkter, spesielt for betong, har bidratt til at beregnede utslipp har gått noe ned over tid.



Figur 17 Sammenstilling av klimagassberegninger for bygninger oppført i Oslo-området, i kronologisk rekkefølge. Kilde: *Kartlegging av klimagassberegninger for bygg og anlegg i Oslo* (Asplan Viak, 2020)

Ulikheter i valg av forutsetninger og systemgrenser og løsningsvalg i referansebygg kan likevel sies å ha vært de mest debatterte punktene. Bruk av referansebygg er drøftet i detalj i kapittel 2.3.1.1.

I sammenstillingen av tidligere utførte beregninger forsøkte vi til en viss grad å korrigere for ulikheter i systemgrenser, men ettersom metodikk og forutsetninger ikke alltid er like transparent fremstilt i beregningsrapporter, er det en veldig stor jobb å kunne komme frem til generelle konklusjoner om hvor stor variasjonen mellom ulike beregninger faktisk har vært på disse punktene. Stor usikkerhet knyttet til hva som skaper variasjon og hvor mye av forskjellen i beregnede utslipp som skyldes metodikk i stedet for faktisk valg i prosjektene har tidvis ført til konklusjonen at klimagassberegninger kun er «en lek med tall». Svekket tillit til hvor godt klimagassberegninger egentlig fungerer til som rettesnor for, og dokumentasjon av hva som er mest klimavennlig er et problem for bransjen, men ikke minst for mulighetene til å realisere mer klimavennlige byggeprosjekter.

Å redusere usikkerheten kan være et viktig virkemiddel for å motvirke denne tendensen. Usikkerhet dokumenteres relativt sjeldent på en konsistent måte i klimagassberegninger som gjennomføres utenfor de akademiske miljøene. En hovedårsak til dette er at det er krevende å dokumentere usikkerhet i LCA, fordi en konsistent vurdering av usikkerhet krever at man kvantifiserer usikkerheten i både beregningsfaktorer (inkludert utslippsfaktorer), scenarioer og i selve beregningsmodellen (for eksempel knyttet til mengdegrunnlag). Det er ikke vanlig å oppgi usikkerhet i EPDer, og det er heller ikke vanlig at mengdegrunnlag som benyttes til klimagassberegninger oppgis med usikkerhet for alle mengdeposter. Dette betyr ikke at usikkerhet er umulig å kvantifisere, men at det er betydelige

barrierer mot at grundig usikkerhetsberegning blir gjennomført i denne typen beregninger. Det finnes heller ingen dedikerte beregningsverktøy for klimagassberegninger i bygninger som inkluderer vurdering av usikkerhet.

En betydelig mindre arbeidskrevende og kanskje minst like nyttig måte å vurdere usikkerhet på, er å gjennomføre følsomhetsvurderinger, dvs. beregne hvordan resultater og konklusjoner endrer seg dersom viktige forutsetninger endres. Følsomhetsvurderinger kan vesentlig forbedre funksjonen klimagassberegninger har som beslutningsstøtte, ved at man synliggjør hva som er de viktigste premissene for at konklusjonene man presenterer er gyldige. Et eksempel kan være hvordan det påvirker en beregnet utslippsreduksjon på 30 %, sammenliknet med et referansebygg, for et bygg med kledning av naturstein, dersom man av kostnadshensyn blir nødt til å kjøpe naturstein fra Kina i stedet for Portugal.

Det er spesielt viktig å gjennomføre følsomhetsvurderinger for beregningsfaktorer som oppfyller ett eller flere av følgende kriterier:

- Stor betydning for beregnede utslipp (som følge av stor mengde eller spesielt høye enhetsutslipp)
- Stort spenn i mulige verdier (for eksempel stor variasjon i utslipp mellom ulike produsenter)
- Prosjektet har liten grad av innflytelse over hvordan faktoren påvirker resultater (for eksempel forutsetninger om fremtidig avhending)

En faktor som oppfyller samtlige av de ovennevnte kriteriene er valg av utslippsfaktor for elektrisitetsforbruk i drift. Gjennom NS 3720 er det derfor formalisert at klimagassberegninger for bygg skal gjøres for minst 2 scenarioer for utslippsfaktor for elektrisitet. Selv om denne rapporten kun omhandler materialbruk, er dette relevant fordi det viser at retningslinjer og regneregler kan benyttes for å gi bedre oversikt over usikkerhet i beregninger. Bedre kontroll med usikkerhet gjør beregninger og konklusjoner mer robuste, og mer utbredt bruk av følsomhetsberegninger kan øke tilliten til klimagassberegninger på generelt nivå.

2.4. Viktigste hensyn ved valg av/krav til bruk av metodikk og beregningsverktøy for klimagassberegninger

Det aller viktigste for å sikre sammenliknbare beregninger vil alltid være transparent dokumentasjon av metodikk, systemgrenser, utslippsfaktorer og scenarioer. Dersom dette er godt og transparent dokumentert, vil man alltid kunne vurdere hva som er årsaken til variasjon mellom beregninger for ulike prosjekter.

Ettersom hensikten med NS 3720 har vært å gjøre klimagassberegninger for bygg mer sammenliknbare, anbefales det å stille krav til at beregninger skal være iht. NS 3720, iht. et av de forhåndsdefinerte omfangene i standarden (se Tabell 1, kapittel 2.2.2.1).

Det er per i dag ikke konsensus om hvordan utslipp fra ombruk av materialer skal regnes (se kapittel 2.3.6). Det bør utvikles omforente regneregler basert på utprøving for ulike case-scenarioer for å sikre at det etableres en beregningspraksis som gir rettferdige sammenlikninger, men også insentiver til økt ombruk. I alle tilfeller må utslipp knyttet til transport og evt. mellomlagring og tilpasning av ombruksvarer for bruk i det nye bygget medregnes.

Det vil nødvendigvis medføre noe arbeid og kostnad å stille krav til, vurdere og dokumentere klimagassutslipp i prosjekter. Når vi ser at enkelte produktgrupper, som betong og stål står for de største utslippene, kan det virke hensiktsmessig å avgrense vurderingene ved å stille utslippskrav kun til disse materialene, eller til de bygningsdelene som har størst forekomst av disse. De ulike bestanddelene i et bygg er gjensidig avhengige av hverandre, og dersom man endrer en løsning, kan de ha konsekvenser andre steder i bygget. Dette kan føre til at man «flytter» utslippene dersom man

stiller klimakrav isolert for enkelte bygningsdeler eller materialer, og ikke reduserer utslippene totalt for bygget.

Krav til klimagassutslipp bør derfor stilles helhetlig for hele bygningskroppen, og ikke på komponent- eller bygningsdelnivå. Det anbefales at krav til klimagassberegninger og -utslipp stilles i tråd med forhåndsdefinerte omfang i NS3720. Når stadig flere benytter disse standardiserte avgrensningene, vil beregninger bli mer sammenliknbare, og datagrunnlaget for å utføre beregningene vil bli bedre. Krav til klimaprestasjon for komplett bygg gir fleksibilitet slik at det enkelte prosjekt kan velge de tiltakene som er mest hensiktsmessige og kostnadseffektive for bygget totalt.

På bakgrunn av høy usikkerhet om fremtidig avhending og forventet relativt lav betydning for totale utslipp, kan avhendingsfasen eventuelt utelates fra *reduksjonsmål*, men den bør likevel inkluderes i beregninger, for å få frem erfaringstall og sikre en utvikling i beregningspraksis. Da er det spesielt viktig at resultater vises oppdelt per livsløpsfase, og at forutsetninger om hvordan fremtidig avhending vil skje oppgis.

Ettersom det ikke finnes noe anerkjent åpent tilgjengelig beregningsverktøy for klimagassberegninger for bygg, bør krav til klimagassberegninger være verktøynøytrale. Det bør også stilles krav til at den som utfører regnskapet har formalkompetanse eller tilsvarende på LCA og klimagassregnskap. På denne måten sikrer man at beregninger følger etablert praksis og holder et godt metodisk og beregningsteknisk nivå.

Tabell 6 gir en sammenstilling av tilgjengelige generiske og bygg-dedikerte verktøy for LCA og klimagassberegninger som er aktuelle for bruk i Norge per i dag:

Tabell 6 Oppsummering av relevante verktøy for klimagassberegninger av bygninger og byggematerialer

Verktøy	Hva vurderes	Lisensbelagt/åpent tilgjengelig	Praktisk bruk
SimaPro	Alle typer prosesser	Lisensbelagt. Lisens gir tilgang til mange ulike LCI-databaser.	LCA-programvare som gir tilgang til mange ulike LCI-databaser. Kan brukes for å sammenlikne materialer iht. gjennomsnittlig produksjonsteknologi. Lite egnet for å vurdere hele bygg.
GaBi	Alle typer prosesser	Lisensbelagt. Lisens gir tilgang til mange ulike LCI-databaser.	LCA-programvare som gir tilgang til mange ulike LCI-databaser. Kan brukes for å sammenlikne materialer iht. gjennomsnittlig produksjonsteknologi. Lite egnet for å vurdere hele bygg.
OpenLCA	Alle typer prosesser	Åpent tilgjengelig fra www.openlca.org Tilgang til LCI-databaser må kjøpes for hver enkelt database.	LCA-programvare. Kan brukes for å sammenlikne materialer iht. gjennomsnittlig produksjonsteknologi. Lite egnet for å vurdere hele bygg.
One Click LCA	Bygg	Lisensbelagt	Benytter i hovedsak EPD-data. Godkjent for bruk i BREEAM-NOR. Se anbefalte rutiner for god beregningspraksis, kapittel 2.2.3.1.
ByggLCA	Bygg	Ikke i salg (tilbys som en del av rådgivningstjeneste)	Benytter i hovedsak EPD-data. Godkjent for bruk i BREEAM-NOR.

LCAbyg	Bygg	Åpent tilgjengelig fra www.lcabyg.dk	Benytter miljødata fra GaBi-databasen, ikke mulig å legge inn egne miljødata fra f.eks. EPD. Kun tilgjengelig på dansk.
--------	------	---	---

3. DEL 2: POTENSIAL FOR Å REDUSERE KLIMAGASSUTSLIPP FRA BYGGEMATERIALER

Formålet med del 2 er å anslå potensialet for å redusere klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygg ved å ta i bruk mer klimavennlige løsninger enn det som er standard per i dag. For å komme frem til dette, må vi først anslå utslippene fra materialbruk i bygg med standard løsningsvalg. Deretter må vi identifisere hvilke alternative løsninger som gir lavere utslipp enn det som er standard, og hva som er best available technology (BAT) for disse, for å finne potensialet for utslippskutt på materialnivå. Til slutt kan vi så anslå hvilket samlet potensiale for utslippskutt de ulike løsningene gir i kombinasjon, totalt på bygningsnivå.

I dette kapitlet drøfter vi innledningsvis kvalitativt hva vi legger i begrepet klimavennlig materialbruk, og hvilke strategier som kan benyttes for å oppnå lavest mulige klimagassutslipp fra materialbruk i bygg. Deretter presenterer vi vår metodiske tilnærming for å vurdere hvilke materialgrupper som har størst betydning for klimagassutslipp, og hvordan vi evaluerer potensialet for utslippsreduksjon.

De viktigste materialgruppene for utslipp gjennomgås tematisk etter funksjon i bygget, og vi presenterer hva som er standard materialvalg i dagens marked, samt hvilke klimavennlige alternativer som er tilgjengelige, og potensialet for utslippskutt knyttet til de mest aktuelle løsningene. Til slutt presenterer vi det samlede potensialet for utslippsreduksjon ved å benytte klimavennlige materialer, sammenliknet med dagens praksis, og drøfter hvordan det beregnede potensialet vil påvirkes av prosjektspesifikke forhold, og hvordan vi kan forvente at det utvikler seg fremover.

3.1. Hva er klimavennlig materialbruk?

Begreper som «klimavennlige materialer» og «lavutslippsmaterialer» i betydningen utslipp av klimagasser har ingen entydig definisjon. I rapporten «Lavutslippsmaterialer i bygg. Barrierer og muligheter» fant Nibio og Civitas gjennom intervjuer med bransjeaktører at det hersker betydelig usikkerhet knyttet til hva som regnes som klimavennlige materialer/lavutslippsmaterialer [3].

I motsetning til for eksempel lavemitterende materialer, der vi har standarder⁴⁶, myndighetskrav⁴⁷ og merkeordninger⁴⁸ som angir grenseverdier for hva som betraktes som nivåer av emisjoner til inneklime, finnes det ingen absolutt målestokk for hva vi vurderer som et lavt nivå av klimagassutslipp. Lavutslipp/klimavennlig er i stedet relative begreper som indikerer at et produkt eller en løsning forårsaker et lavt nivå av klimagassutslipp *sammenliknet med noe annet*. Oftest sammenlikner vi med materialer og produkter som vi anser som gjennomsnittlige eller «bransjestandard».

Dermed vil definisjonen av hva som regnes som klimavennlig endre seg i takt med utviklingen i markedet. Som vi har sett, har økt oppmerksomhet rundt klimabelastningen fra byggematerialer ført til betydelige endringer i markedet i retning av reduserte produksjonsutslipp for flere materialgrupper. Betongbransjen kan trekkes frem som det tydeligste eksempelet på at krav til klimaprestasjon for bygg og byggematerialer har fått konsekvenser for produksjonsteknologi og utslipp. I 2015 ga Norsk Betongforening ut dokumentet Publikasjon 37 Lavkarbonbetong, som definerte grenseverdier for produksjonsutslipp for ulike klasser av såkalt lavkarbonbetong, i tillegg til å definere et bransjereferansenivå for utslipp fra gjennomsnittlig betong produsert i Norge. I den

⁴⁶ <https://www.standard.no/nyheter/nyhetsarkiv/bygg-anlegg-og-eiendom/2012/norsk-standard-for-inneklime/>

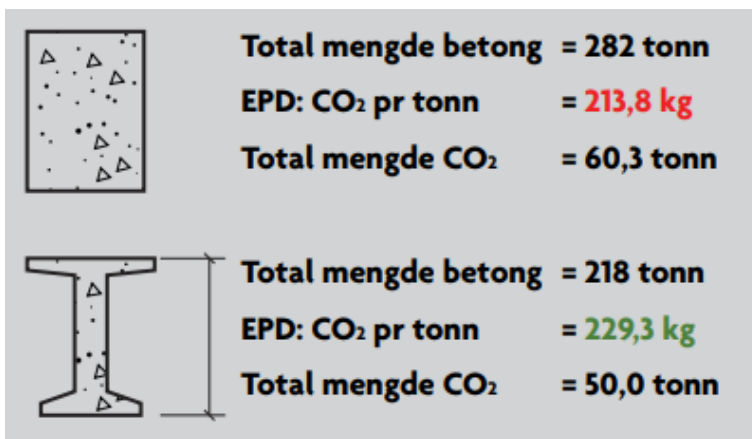
⁴⁷ <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/13/i/13-1/>

⁴⁸ <https://kriterieveiviseren.difi.no/nb/content/nb-flyktige-organiske-forbindelser-voc-i-produkter-0>

opdaterte versjonen av Publikasjon 37 fra 2019 ble imidlertid bransjereferansenivået justert ned, som følge av at «byggebransjens ambisjonsnivå, kunnskapsnivået, markedssituasjonen og dokumentasjonsverktøy har vært i sterk utvikling»⁴⁹. Hva som regnes som klimavennlig innen betong er dermed ikke det samme i 2020 som det var i 2015, og vil sannsynligvis fortsette å endre seg i årene som kommer.

Hvilke material- og løsningsvalg som gir lave klimagassutslipp må også sees i kontekst av bygget som helhet. Selv om et materiale kan ha lavere utslipp per enhet, sammenliknet med et annet, kan det være andre forhold og tekniske egenskaper som påvirker summen av materialbruk i bygget, og som kan ha betydning for byggets totale klimafotavtrykk. Derfor er det avgjørende å sammenlikne materialer og løsninger på grunnlag av funksjonen de skal oppfylle i bygget når vi skal vurdere hvilken løsning som gir lavest utslipp. Konseptet funksjonell enhet er forklart i kapittel 2.3.1.

I Figur 18 har vi gjengitt et eksempel fra Norsk Betongforening som sammenlikner to ulike betongbjelker. Den øverste søylen har lavere klimagassutslipp per m³ betong, men krever et større volum av betong totalt sett for å oppnå samme bæring som bjelken under. Dermed gir løsningen med den nederste søylen lavest netto utslipp, selv om enhetsutslippet per m³ er høyere.



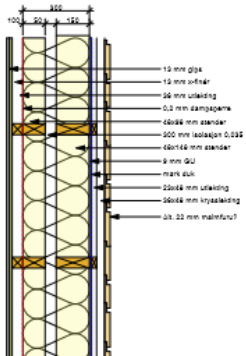
Figur 18 Eksempel på sammenlikning av klimagassutslipp for ulike betongbjelker. Kilde: Norsk Betongforening.

Mange av komponentene i en bygning er sammensatte elementer som skal tilfredsstillere en rekke tekniske ytelseskrav. For eksempel skal en yttervegg tilfredsstillere krav til varmetap, bæreevne, brannklasse og lydtransmisjon. Det vil være mange ulike måter å sette sammen materialer for å tilfredsstillere kravene, og sammenlikning av alternativer med hensyn til klimagassutslipp må derfor gjøres for den sammensatte løsningen. Et eksempel på en slik sammenlikning for oppbygning av yttervegg er gitt i Figur 19:

⁴⁹ <https://betong.net/nettbutikk/nb-publikasjoner/37-pdf-lavkarbonbetong-2015-gratis-nedlasting-klikk-les/>

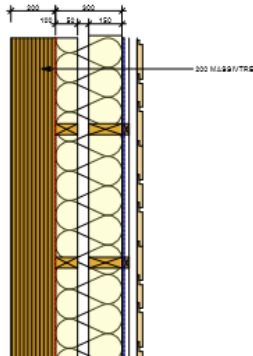
BINDINGSVERK TRE
PLATEKLEDNING

21 kg CO₂eq/m²



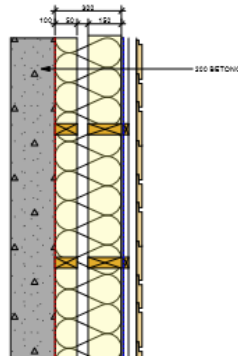
BINDINGSVERK TRE
MASSIVTRE SKIVE

24 kg CO₂eq/m²



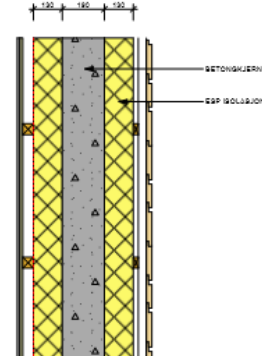
BINDINGSVERK TRE
LAVKARBON BETONG C

75 kg CO₂eq/m²



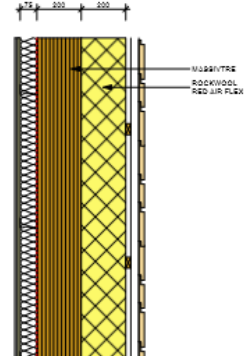
ESP ISOLASJON
BETONGKJERNE

81 kg CO₂eq/m²



PÅFORING/MASSIVTRE
TUNG ISOLASJON

43 kg CO₂eq/m²



Figur 19 Sammenlikning av klimagassutslipp fra produksjon av materialer i alternative ytterveggoppbygninger som gir u-verdi 0,15 kWh/m²K. Kilde: Bård Solem, Eggen Arkitekter, 2018

Optimalisering av bygg med hensyn til klimagassutslipp handler også om mer enn å erstatte et materiale med tilsvarende materiale med lavere levetidsutslipp. En stor andel av potensialet for utslippskutt ligger i mengdeoptimalisering, dvs. å tilpasse materialbruken totalt sett i bygget med hensyn til utslipp.

I tillegg til å vurdere den bygde løsningen som helhet i produksjonsfasen, må man også ta hensyn til hvordan utslipp vil fordele seg over løsningens forventede levetid når vi sammenlikner alternative produkter. Dersom et produkt har lave produksjonsutslipp men kort forventet levetid, kan et alternativt produkt med høyere produksjonsutslipp men som er mer robust og dermed lengre forventet levetid i bygget være et mer klimavennlig valg. Levetid påvirker klimagassutslipp for produkter som må forventes å ha kortere levetid enn selve bygget. Dette omfatter typisk innvendige og utvendige dekke- og kledningsmaterialer, samt lettvegger, vinduer og dører. Materialer som inngår i byggets bæresystem, eller som er sammenføyd med andre materialer vil normalt sett ikke skiftes ut i løpet av byggets levetid. Et unntak fra det sistnevnte er våtromsmebran, som vil ha kortere teknisk levetid enn påstøpet over membranen. I slike tilfeller må man se på elementet som helhet, og vurdere hvorvidt komponenten med kortest forventede levetid vil gjøre at hele komponenten må forventes å skiftes ut.

For innvendige dekkematerialer kan vedlikehold og renholdshensyn kanskje være vel så gode styrende parametre for å minimere klimabelastning over levetiden, fordi det ofte vil gi lavere levetidsutslipp å velge robuste materialer som tåler bruk og vedlikehold enn alternativer med lavere produksjonsutslipp, men som lettere forringes i bruk. Generelt kan man si at en god strategi for overflatematerialer vil være å velge det som er best egnet til bygget for å få robuste løsninger.

Basert på drøftingen i dette kapitlet kan vi oppsummert si at hva som kan omtales som klimavennlige materialer påvirkes av følgende:

- Gjennomsnittlig produksjonsteknologi og utvikling i markedet
- Tekniske egenskaper i den sammensatte løsningen og i bygget som helhet
- Robusthet og forventet levetid

Det vil ikke være mulig å dekke over alle mulige kombinasjoner av ulike materialer som benyttes i norske bygg for å kunne komme med konklusjoner om hvilke løsninger som vil være mest klimavennlige under alle omstendigheter. I denne rapporten er imidlertid vekten på potensialet for utslippskutt ved bruk av klimavennlige materialer, og vi har ikke vurdert i det videre hvordan bygningskonstruktive grep vil kunne bidra til å redusere utslipp. Dette er i seg selv grunnen til at det bør gjøres spesifikke klimagassberegninger for det aktuelle bygget, dersom man ønsker å finne frem til hvilke løsningsvalg som ligger i skjæringspunktet mellom funksjonskrav og miljø. I sin rapport om temaet [3] konkluderer Nibio og Civitas med at faktorene som har betydning for hvorvidt vi betegner noe som et lavutslippsmateriale er så kontekstavhengige at det ikke anbefales å definere faste kriterier eller grenseverdier for klimavennlige materialer.

Når vi omtaler klimavennlige materialer i denne rapporten, mener vi overordnet sett materialer og løsninger som regnes å ha et lavt utslipp av klimagasser, sammenliknet med tilsvarende konvensjonelle produkter i det norske markedet anno 2020. Utslippsnivå for konvensjonelle produkter definerer vi ut fra hva som regnes som «typisk» produksjonsmåte for en gitt produkt- eller materialtype.

Dette omfatter både nye materialer og ombruksmaterialer. Vi har også gjort en kvalitativ vurdering av hvordan vi tror markedet vil utvikle seg i årene som kommer – se kapittel 3.11. Der det er relevant, og det er mulig og hensiktsmessig å gjøre generelle betraktninger, har vi forsøkt å påpeke forhold knyttet til praktisk bruk og robusthet som kan ha betydning for hvorvidt typiske klimavennlige materialer faktisk vil redusere klimagassutslipp for et bygg totalt sett.

3.1.1. Ombruk av bygningskomponenter

Det hevdes ofte at overgangen til en mer sirkulær bygg- og anleggsbransje er et av de viktigste tiltakene for å redusere klimafotavtrykket til nye bygg. Denne omstillingen handler både om å ombruke det som allerede er bygget i dag, og om å utforme nye bygg etter prinsipper om ombrukbarhet. Overgangen til en mer sirkulær byggebransje vil kanskje først og fremst spare oss for å ta ut mer ressurser av naturen enn nødvendig, slik at vi unngår unødvendig forurensning, skadelige inngrep i økosystemer, redusert naturmangfold, og at det blir mindre igjen til fremtidige generasjoner. Men mer ombruk er også et viktig tiltak for å redusere utslipp av klimagasser. Hensyn til sirkulærøkonomi bør derfor hensyntas for å minimere utslipp i neste byggs levetid.

3.1.1.1. Hva er ombruk?

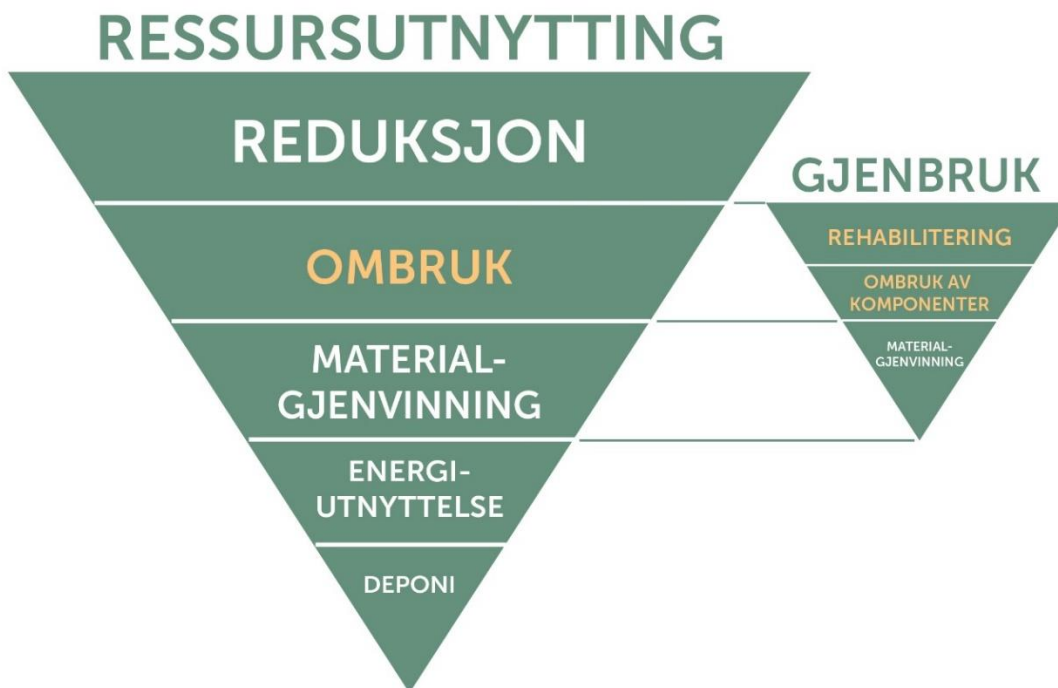
Ombruk av bygningskomponenter er altså miljø- og klimavennlig materialbruk. Men hva er egentlig ombruk, og hvordan skiller det seg fra gjenbruk, gjenvinning eller alle de andre termene som ofte brukes om hverandre? *Om-bruk* av bygg innebærer ganske enkelt at man bruker eksisterende bygninger eller bygningskomponenter om igjen når man bygger nytt (FutureBuilt 2020). Innenfor ombruk skiller man gjerne mellom rehabilitering, der eksisterende strukturer får et nytt liv gjennom alt fra enkelt vedlikehold til full transformasjon, og ombruk av enkelte bygningskomponenter. Det er potensial og barrierer for ombruk av bygningskomponenter, og ikke rehabilitering av eksisterende bygg, som undersøkes i denne rapporten.

Med bygningskomponenter mener vi her en «*identifiserbar bygningsdel, deler av bygg eller tekniske installasjoner som kan utskiftes eller oppgraderes enkeltvis*» (KMD 2012). Ombruk av bygningskomponenter vil som regel si at man bruker hele bygningsdeler som vinduer, vegger, kledninger, gulv, eller tekniske komponenter som ventilasjonsanlegg, belysningsanlegg osv. om igjen. Avhengig av hvordan bygget er utformet, kan det også være snakk om mindre komponenter som kan skiftes ut og brukes på nytt uten større bearbeiding.

Et byggs *ombrukbarhet* handler om i hvilken grad komponenter kan ombrukes ved rehabilitering og riving, enten lokalt i samme bygg eller eksternt i et nytt bygg (FutureBuilt 2020). I tidligere tider, før

man begynte å bygge (og rive) ved hjelp av energikrevende maskiner, utformet man gjerne bygg slik at bygningskomponentene kunne brukes igjen. F.eks. er laftede bygg konstruert ved hjelp av tømmerstokker som enkelt kan tas fra hverandre, flyttes og brukes på nytt. Trekonstruksjoner generelt ble helt fram til slutten av 40-tallet gjerne utformet med reverserbare forbindelser som tapper, kammer, innskjæringer, forsatter og låser, som gjorde at bygningskomponentene kunne demonteres og ombrukes. Stein og tegl er andre eksempler på bygningskomponenter som gjerne ble brukt igjen og igjen før man oppfant sementbasert mørtel. Ved ruiner av gamle kirker kan man finne 1000 år gamle bygningskomponenter i stein ombrukt i bygg i nærheten.

Ordene ombruk og gjenbruk brukes ofte om hverandre, men gjenbruk inkluderer også *materialgjenvinning*, der kun råmaterialene blir bevart. Materialgjenvinning kan for eksempel innebære at man smelter om metaller og bruker dem om igjen, eller at man knuser betong og bruker den som fyllmasse. Materialgjenvinning er ikke tema for denne utredningen. Figuren under illustrerer forskjellen mellom ombruk og gjenbruk i pyramiden som viser ulike nivåer av ressursutnytting i henhold til sirkulærøkonomiske prinsipper.



Figur 20: Etter reduksjon av ressursbruk er mer ombruk det viktigste vi kan gjøre for å bidra til mindre sløsing av ressurser ifølge norsk avfallspolitikk og EUs rammedirektiv for avfall. Ombruk er som regel en mer miljøvennlig form for gjenbruk enn gjenvinning, og rehabilitering mer miljøvennlig enn ombruk av komponenter (figur: Asplan Viak / Haakon Haanes)

3.1.1.2. Klimaeffekten av ombruk

Ombruk av bygningskomponenter reduserer klimagassutslipp i byggefasen ved at behovet for utvinning av råmaterialer og produksjon av bygningskomponenter reduseres. I tillegg spares man, i hvert fall midlertidig, for utslippene som ville ha skjedd i forbindelse med avfallshåndtering av materialene som nå får en ny levetid. Ombruk er ikke nødvendigvis utslippsfritt - transport, bearbeiding og eventuell mellomlagring vil forårsake noe utslipp - men netto utslipp vil generelt være langt lavere enn dersom man benytter nyproduserte materialer. I NHP-rapporten *Utredning av barrierer og muligheter for ombruk av byggematerialer og tekniske installasjoner i bygg* (NHP 2017) beregnes det at ombrukte materialer sparer miljøet for 94% av klimautslippene sammenliknet med nyproduserte materialer (per tonn). Videre vurderes det at 10% av avfallsmengdene i nybygg og

rehabiliteringsprosjekter kan ombrukes. Reduksjonspotensialet nasjonalt om disse materialene hadde blitt ombrukt beregnes til omtrent 2% av dagens utslipp fra produksjon, transport og avfallshåndtering av byggematerialer. Det er altså et betydelig potensial for å spare klimagassutslipp, både i det enkelte prosjekt og for byggebransjen som helhet dersom ombruk av bygningskomponenter blir mer vanlig. Nasjonale mål om reduksjon av klimagassutslipp fra bygg er derfor en av de sterkeste drivkreftene for ombruk i dag ifølge rapporten (NHP 2017).

Beregnet klimapåvirkning knyttet til ombruk er også avhengig av hvordan man fordeler utslipp fra prosessene med å klargjøre en bygningskomponent for ombruk i et nytt bygg. Metodiske aspekter knyttet ved beregning av klimaeffekten av ombruk er drøftet i kapittel 2.3.6.

Det kan være flere innfallsporier til å vurdere hvilke byggematerialer og produkter som har størst utslippseffekt ved ombruk. Det ene kan være å se på hvilke volumer som avfallshåndteres nasjonalt, det andre kan være å vurdere hvilke byggematerialer og produkter som har stort klimafotavtrykk i produksjon og det tredje kan være å se på hvilke komponenter som ofte har kort levetid i bygg. Disse aspektene vil diskuteres mer i kapittel 3.5, som omhandler aktuelle klimavennlige materialer i dagens marked, inkludert ombrukskomponenter.

3.2. Metode og beregningsforutsetninger

3.2.1. Modellbygg for referansenivåer

Som utgangspunkt for å anslå potensialet for å redusere utslipp fra materialbruk i bygg har vi beregnet referansenivåer for utslipp fra materialbruk for ulike bygningstyper. Referansenivåene bygger videre på tilsvarende arbeid fra utredninger for DiBK⁵⁰ og Oslo Kommune Klimaetaten⁵¹.

Tidligere var det åpent tilgjengelige verktøyet Klimagassregnskap.no (nedlagt 2018) i utbredt bruk som «referansebygg-generator» i bransjen. Klimagassregnskap.no tok utgangspunkt i en skoeforformet bygningsgeometri, kombinert med forutsetninger om standard materialbruk, for å anslå klimagassutslipp fra materialbruk. Beregningene av bygningsgeometri i Klimagassregnskap.no var basert på den samme bygningsmodellen som ble lagt til grunn av DiBK og deres rådgivere i utarbeidelsen av energikrav fra 2007 til 2017. Materialvalg var basert på Bygghanalyses database for kostnadsberegninger for ulike bygningstyper samt faglige vurderinger av 'dagens praksis'. Se kapittel 2.3.1.1 for en detaljert drøfting av bruken av referansebygg for klimagassberegninger av bygg i Norge.

Praksis med å definere skoeforformede referansebygg er videreført i det kommersielle verktøyet One Click LCA, i modulen Carbon Designer. Den norske tilpasningen av One Click LCA bygger videre på Klimagassregnskap.no, og er per i dag i relativt utstrakt bruk for å utarbeide klimagassberegninger for byggeprosjekter i Norge. Ettersom det ikke finnes klare retningslinjer eller åpent tilgjengelige verktøy for å definere referansebygg, og det rimelig å tro at klimagassberegninger for norske byggeprosjekter vil basere seg på ulike forutsetninger om standard referansebygg. Det er imidlertid også rimelig å forutsette at referansebyggene i One Click LCA vil være førende i noen grad for klimagassberegninger i norsk sammenheng.

⁵⁰ Utredning av nivå for klimagassutslipp fra materialbruk tilsvarende «nesten nullenergibygg» (nNEB), i foreslått ny kravsinnetning i teknisk byggforskrift (TEK20). Arbeidet omfattet også beregninger av referansenivå for utslipp fra materialbruk.

⁵¹ Kartlegging av tidligere utførte klimagassberegninger for bygg i Osloområdet, samt beregninger av referansenivå for utslipp fra materialbruk. Utredningen var en av to delleveranser i oppdraget, der den andre omfattet kartlegging av barrierer mot økt ombruk. https://www.klimaoslo.no/wp-content/uploads/sites/88/2020/09/Kartlegging-av-klimagassberegninger-for-bygg-og-anlegg-i-Oslo_endelig.pdf

Modellbyggene er definert som enkle, skoeskeformede bygg. Vårt argument for dette er at offentlige krav og insentivordninger burde gi insentiver for å bygge mest mulig nøkternt, og unngå kompliserte geometriske former som krever økte materialmengder og spesifikke materialtyper for å kunne bygges. Et nøkternt utgangspunkt for referansenivåer gir dessuten et insentiv for å unngå overdimensjonering, noe som har vært og er relativt utbredt i byggebransjen. Det vurderes derfor som hensiktsmessig at referansenivåer for materialbruk er basert på en enkel og nøktern bygningskropp iht. gjeldende forskriftsnivå (TEK17), slik at dette er premissgivende for prosjekter som skal bruke utslippsreduksjon for materialbruk for å nå referansenivået.

Vi har gjennomført modellberegninger for følgende bygningskategorier:

- Kontor
- Skole
- Boligblokk
- Næring/forretning
- Sykehjem
- Småhus
- Kjeller (oppvarmet og ikke oppvarmet)

Disse er valgt på bakgrunn av forutsetning om hvilke typer bygninger det bygges mest av i Norge, samt hvilke bygningskategorier det finnes best grunnlag for å vurdere gjennomsnittlige løsningsvalg og resulterende utslippsnivå for.

Oppvarmet og ikke oppvarmet kjeller er skilt ut som egne bygningskategorier. Dette vurderes som en enklere og mer praktisk tilnærming enn å definere nivåer for samtlige bygningskategorier med og uten kjeller. I tillegg vil man med denne tilnærmingen enklere kunne benytte referansenivåene for bygg med et annet antall kjelleretasjer enn det som er lagt til grunn i modellbyggene, eller eventuelt for bygg der BYA for kjeller avviker fra BYA for hovedbygget. Gjennom arbeidet med modellbyggene har vi også avdekket et behov for å skille kjellerarealer som ikke er oppvarmende (parkering) fra oppvarmede kjellerarealer, på bakgrunn av at mengden innervegger og gulvbelegg vil være vesentlig forskjellig. Vi skiller derfor på oppvarmet og uoppvarmet kjeller.

Hvilke løsninger som legges til grunn i modellbyggene er den viktigste faktoren som påvirker resulterende utslipp. Det finnes ingen vedtatt «standard norsk bygningsoppbygning», eller konsensus rundt hvilke løsninger som ansees som standard. For å definere modellbygg med standard oppbygning som grunnlag for å beregne referansenivå, er det derfor gjort en sammenlikning av løsningsvalg i Carbon Designer i One Click LCA (som i stor grad baserer seg på oppbygning fra klimagassregnskap.no), og ISY Calcus for de ulike bygningskategoriene. Deretter er det gjort en tverrfaglig gjennomgang av løsningene i samråd med fagekspertene i Asplan Viak (bygningfysiker, akustiker og arkitekt).

Løsninger er valgt på bakgrunn av følgende hensyn:

- Representere standard byggepraksis i Norge per i dag
- Nøktern bygningsutforming, styrt av tekniske, heller enn estetiske hensyn
- Tilsvarende løsningsvalg i Carbon Designer i One Click LCA, med mindre øvrige hensyn tilsier noe annet, ettersom dette er et utbredt beregningsverktøy, for å unngå avvikende forutsetninger så langt som mulig

Vi har gjort justeringer av løsningsvalg og beregningsfaktorer relativt til mengdegrunnlaget fra Carbon Designer, der vi har vurdert det som hensiktsmessig. Dette er gjort for at modellberegningene skal være representative for standard løsningsvalg for nye bygg som oppføres i Norge. Korrigeringene er beskrevet og begrunnet i detalj i Vedlegg 3, og gjengis derfor kun overordnet her:

- Betong: Utslipp per m³ iht. bransjereferanse fra Norsk Betongforenings Publikasjon 37 2019 er lagt til grunn for all betong, ettersom ny versjon ble publisert i november 2019, og dermed bør være representativ for standard betong i Norge, både for plasstøpt betong og prefabrikerte betongelementer/hulldekker.
- Hulldekker: I One Click LCA er hulldekker modellert med slakkarmering, utslippsfaktor er justert iht. spennarmering og bransjereferanse på betong.
- Vinduer: Utslippsfaktor omfatter kun vindusglass. Utslippsfaktor justert til å omfatte et komplett vindu.
- Isolasjon: Utslippsfaktor for mineralull er justert til å være representative verdier
- Innerdører: Innerdør er modellert som klimadør og er lagt til grunn for alle innerdører i byggene i One Click LCA. Denne utslippsfaktoren er representativ for ytterdør inn til leiligheter, og ikke for innerdører inne i bygg. Dette ga svært høye utslipp fra innervegger for boligblokk. Utslippsverdi er derfor korrigert til å være representativ for innerdør inne i bygg.
- Endring av levetider som beskrevet i kapittel 3.2.4.2

Beregnete referansenivåer er presentert i kapittel 3.3.

3.2.2. Lavutslippsbygg

For å komme frem til potensialet for utslippsreduksjon fra materialbruk på bygningsnivå, har vi byttet ut standard materialer i modellbyggene med de mest klimavennlige alternativene som er tilgjengelige på det norske markedet per i dag. Hensikten er at disse *lavutslippsbyggene* skal representere såkalt *best available technology* (BAT) for klimavennlig materialbruk, slik at differansen i utslipp mellom referansenivåene og lavutslippsbyggene viser potensialet for utslippsreduksjon på bygningsnivå.

Som drøftet i kapittel 3.1, er det ikke nødvendigvis mulig å substituere én løsning med en annen mengdemessig 1:1 i et bygg, uten å endre byggets tekniske kvaliteter. At modellbyggene er «prosjektert» med utgangspunkt i standardløsninger, legger derfor visse begrensninger på handlingsrommet for endring i lavutslippsbyggene. For eksempel er det ikke mulig å endre konseptet for bæresystem i byggene uten å foreta en fullstendig revurdering av løsningsvalgene som er lagt til grunn, fordi valg av bæresystem påvirker løsningsvalg i andre bygningsdeler. Derfor har vi i lavutslippsbyggene forholdt oss til de overordnede konstruksjonsløsningene, og foretatt substitusjonsvurdering per materialgruppe. Dette er også i tråd med bestillingen fra Enova.

For eksempel har nesten alle byggene som standard et bæresystem i stål og betong, og hulldekker av prefabrikkert betong. I lavutslippsbyggene har vi ikke endret materialvalgene i bæresystemet og dekker, men lagt til grunn mer klimavennlige produkter innenfor de materialgruppene som er benyttet (for eksempel lavkarbonbetong i hulldekker). Der materialvalg ikke påvirker løsninger i andre bygningsdeler, har vi imidlertid valgt andre materialer der dette fører til reduserte utslipp (for eksempel å erstatte keramisk flis med vinyl).

En gjennomgang av hvilke klimavennlige materialer vi har valgt å legge til grunn for lavutslippsbyggene er gitt i kapittel 3.5.

En detaljert oversikt over løsningsvalg for de ulike bygningskategoriene, både for standard løsningsvalg og lavutslippsbygg, er gitt i Vedlegg 1.

3.2.3. Kontorbyggmodell med alternative løsningsvalg i bærekonstruksjon

Som nevnt over, legger bestillingen og modellbyggene visse begrensninger på muligheten for å utforske potensialet for utslippskutt ved å endre løsningsvalg, utover å bytte ut et materiale med et annet med tilsvarende egenskaper. For å få en bredere vurdering av hvordan løsningsvalg påvirker utslipp, har vi derfor valgt å supplere modellbygg-beregningene med et praktisk eksempel på et kontorbygg utformet både med bærekonstruksjon i stål og betong, og i tre.

Beregningene omfatter materialbruk i bæresystemet til et enkelt 3-etasjes kontorbygg med tilsvarende bygningsgeometri er som for referansebygget for kontor (3800 m² BTA, se Vedlegg 1 for detaljer). Av hensyn til tidsbruk i oppdraget, er regneøvelsen kun gjennomført for et kontorbygg. Det antas imidlertid at materialbruk i bærekonstruksjonen vil variere i mindre grad mellom de ulike bygningskategoriene (med unntak av småhus) enn materialbruk ellers i bygget, slik at vurderingen vil ha betydelig overføringspotensiale til bygg med andre bruksformål.

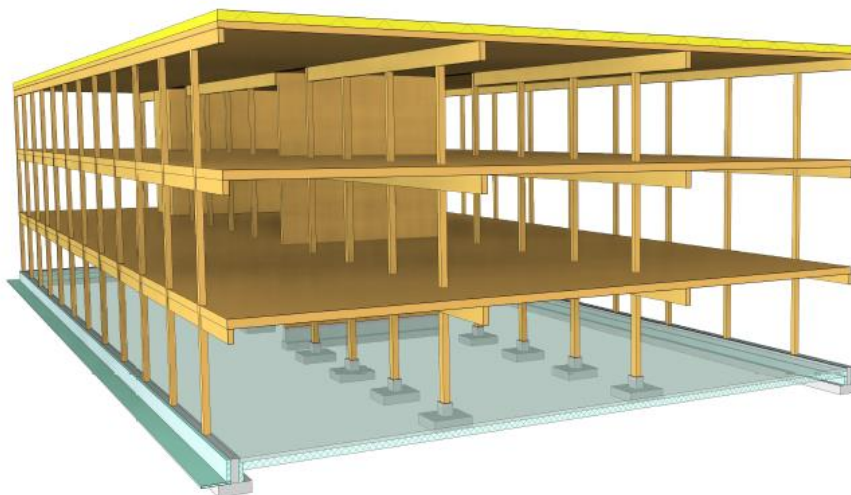
Kontorbyggmodellen i stål og betong er bygget opp med søyler og bjelker av stål, avstivende vegger i plasstøpt betong og med hulldekker i etasjeskillere og tak. Kontorbyggmodellen i tre er bygget opp med søyler og bjelker i all hovedsak av limtre. Det imidlertid lagt inn hattebjelker i stål i hver etasje for å oppnå enklere føringsveier for ventilasjonskanaler. Avstivende vegger er i massivtre, og det er massivtre i etasjeskillere og tak. Dekkeoppbygningen i begge bygg er funksjonelt ekvivalent med hensyn til lydkrav. Øvrige detaljer om oppbygning av byggene, samt detaljerte tegninger og mengder er gitt i Vedlegg 5.

De to modellene er ment som et eksempel på to alternative måter å konstruere bæresystemet på i ett konkret bygg. Øvelsen er gjort for å illustrere hvordan utslipp varierer med material- og løsningsvalg. Vi har i de to modellene etterstrebet å velge det vi anser som vanlige løsninger, men det vil naturligvis finnes mange andre løsninger som også vil kunne gi et funksjonelt bæresystem.

Det er dessuten viktig å understreke at bruk av betong og tre i bygninger ikke står i motsetningsforhold til hverandre. Det finnes stadig flere eksempler på prosjekter som har utnyttet tre og betong i samvirke, for å dra nytte av de tekniske egenskapene i begge materialer for å optimalisere materialbruk og minimere klimagassutslipp.



Figur 21 Prinsipp tegning (snitt) av kontorbyggmodell i stål og betong



Figur 22 Prinsipp tegning (snitt) av kontorbyggmodell i tre

Utslippstall for betong og limte treprodukter varierer mye (se kapittel 3.5.1). For å illustrere hvordan variasjon i utslipp mellom ulike produkter innenfor hver materialgruppe påvirker sammenlikningen, har vi derfor valgt å legge til grunn et spenn i utslipp per enhet både for betong og tre. For betong har vi lagt til grunn et spenn fra bransjereferanse til lavkarbonklasse Ekstrem iht. betongforeningens Publikasjon 37, mens for massivtre og limtre har vi lagt til grunn et spenn fra laveste til høyeste verdi funnet i publiserte EPDer (se figur Figur 26, kapittel 3.5.1.3). I tillegg har vi vurdert to ulike forutsetninger for transportdistanse for massivtre og limtre: transport fra leverandør i Norden (500 km), og fra Sentral-Europa (2000 km). Vi har også gjort beregninger både med standard utslippstall for armering og konstruksjonsstål, og med verdier tilsvarende det vi har lagt til grunn for lavutslippsbyggene (se kapittel 3.5.1.2).

3.2.4. Systemgrenser

3.2.4.1. Systemgrenser i rom

Omfang for analysen er bygningsdelsnummer 2 Bygning iht. NS 3451 Bygningsdeltabell. Dvs. at materialer i selve bygningskroppen vil inkluderes, men ikke materialbruk i tekniske systemer, utendørs eller interiør. Dette tilsvarer avgrensingen av bygningskroppen i forhåndsdefinert omfang «Basis» i NS 3720, ekskludert materialbruk i lokalt energiproduksjonsutstyr. Vi har valgt denne avgrensningen av hensyn til tilgjengelig informasjon om materialbruk og miljøinformasjon om materialer, som fortsatt er relativt begrenset for tekniske systemer. Denne avgrensingen er i tråd med det som hittil har vært standard praksis for klimagassberegninger for bygg i Norge, og resultatene vil dermed være sammenliknbare med det meste av tidligere utførte beregninger. Avgrensningen tilsvarer også beregnede referansenivåer i tidligere rapporter på oppdrag for DiBK og Klimaetaten i Oslo.

Ved fremtidige revisjoner av referansenivåer, når man har opparbeidet erfaring med klimagassberegninger for materialbruk og tilfanget av EPDer for disse bygningselementene har økt, bør systemgrensene utvides f.eks. til «Avansert uten lokalisering», jf. Tabell 1. Dette vil dermed på sikt også omfatte aktiviteter på byggeplass, inkludert tomtebearbeiding. Det sistnevnte er spesielt aktuelt dersom klimagassberegninger gjøres før det er funnet en aktuell tomt for bygget (før fastsatt reguleringsplan).

Samtlige modellbygg er modellert uten kjeller. Kjeller er lagt til som egen kategori, hvor det skilles mellom oppvarmet og ikke oppvarmet kjeller. På denne måte er det da mulig å sette sammen et

modellbygg som kan bestå kun av arealer over bakken, og med en kombinasjon av arealer over bakken og med oppvarmet og ikke oppvarmet arealer under bakken.

Bygningsmodellene omfatter bunnplate, men ikke ekstra behov for materialer til fundamentering. Det er generelt antatt at bygget står på god grunn og at det kun er behov for bunnplate. Nødvendig materialmengde for fundamentering legges til, basert på dybde til fjell, for det enkelte byggeprosjekt, både for referansenivå og det prosjekterte bygget. Dybde til fjell og behov for fundamentering vil derfor alltid være lik både for referansen og det prosjekterte bygget. I referanseberegningene har materialer til fundamentering et standard utslippstall på betong og stål, mens det er mulig å påvirke dette i konkrete prosjekter for å kunne redusere byggets klimagassutslipp. I tillegg til materialer til grunn og fundamenter må det bygges tykkere bunnplate når bygget fundamenteres med peler. Modellbyggene er medregnet en bunnplate (gulv mot grunn) på 100 mm tykkelse når det ikke er noe behov til fundamentering. Ved behov for fundamentering med stålkjernepeler må tykkelsen på bunnplaten økes til 300 mm. Utslipp fra materialbruk i bunnplaten medregnes i bygningsdelen dekker iht. bygningsdeltabellen (Bygningsdel 252 Gulv på grunn).

Referansestål i stålkjernepeler er antatt med 50% hulprofiler og 50% valseprofiler.

Materialbruk til fundamentering beregnes basert på m² BTA, dybde til fjell og m² bebygd areal (BYA). Følgende verdier er basert på materialmengde til stålkjernepeler og fundamentering fra OneClick LCA:

- Stålkjernepel, diameter Ø 130 mm: 1,44 kg stål/(m² BTA * dybde til fjell)
- Betong B20 M90 til gysemasse: 3,93E-4 m³ betong/(m² BTA * dybde til fjell)
- Betong B35 M45/MF45 til tykkere bunnplate: 0,2 m * m² bebygd areal (BYA)

3.2.4.2. Systemgrenser i tid

I NS 3720 angis enheten kg CO₂-ekvivalenter per m² BTA og år som den foretrukne enheten for vurdering av klimagassutslipp for bygg. For at resultatene presentert i denne rapporten skal være sammenliknbare med andre klimagassberegninger for bygg, har vi valgt å benytte denne enheten. I tillegg vil vi presentere også beregningsresultater totalt for et 60 års livsløp (dvs. ikke fordelt per år i beregningsperioden), for å illustrere det forventede tidsaspektet for utslipp.

Utslippsberegninger for modellbyggene omfatter produktfasen (A1-A3), transport av materialer til byggeplass (A4), samt utskifting av materialer med kortere levetid enn bygget (B4).

Transport av materialer til byggeplass i A4 og B4 regnet iht. standard distanser, basert på distanse til standard produksjonsland (definert spesifikt for hver produktkategori basert på erfaring). Det er forutsatt at byggevarer typisk vil ha opprinnelsessted innenfor Europa. Dette er basert på erfaring, og materialsammensetningen som er lagt til grunn i modellbyggene⁵². Typisk transportdistanse for varer produsert utenfor Europa er derfor ikke inkludert i Tabell 7. Vi har valgt å skille ut betongelementer som en egen kategori med en spesifikk transportdistanse (200 km), på bakgrunn av prefabrikerte betongelementer kan produseres både lokalt og i lang transportdistanse fra byggeplassen.

Tabell 7 Transportdistanser lagt til grunn for beregning av utslipp fra transport av materialer i A4 og B4

Transportkategori	Distanse (km med lastebil)	Typiske materialgrupper
Lokalt	50	Plasstøpt betong, pukk, asfalt, masser
Betongelementer	200	Prefabrikkerte betongelementer
Norge/Norden	500	Trevirke, gipsplater

⁵² Naturstein er et eksempel på en materialtype som ofte fraktes fra Asia, på grunn av kostnadshensyn. Det er imidlertid ikke forutsatt at det benyttes naturstein i modellbyggene. Utover naturstein er det ikke grunnlag for å peke på materialgrupper der man vanligvis vil velge leverandører utenfor Europa.

Europa	2 000	Plast, stålprodukter
--------	-------	----------------------

Vi har også gjort beregninger for å vurdere potensialet for utslippsreduksjon i lavutslippsbygg ved å etterspørre lokalt produserte byggevarer i større grad – se kapittel 3.9.2. I tillegg har vi gjort en forenklet vurdering av hvilken betydning byggeprosjekters geografiske plassering har for utslippsreduksjon, ved å endre transportdistansene – se kapittel 3.9.6.

Utslippsfaktor som er benyttet for å regne utslipp fra transport i denne utredningen er gitt i Tabell 8. Fordi det ikke foreligger data som gjøre det mulig å gjøre generelle forutsetninger om fordeling av transport mellom ulike transportmidler samlet for ulike materialtyper, er det er forutsatt at all transport skjer med lastebil:

Tabell 8 Utslippsfaktor for transport av materialer

Transportmiddel	Utslippsfaktor (kg CO ₂ e/tkm)	Kilde
Lastebil	0.17	ecoinvent v3.2, lorry 16-32 t, RER, Euro 5

I One Click LCA er det mulig å velge mellom tre ulike predefinerte sett av levetider for bygningselementer; teknisk og kommersiell (i tillegg kan man velge å benytte levetider angitt i EPD for valgte produkter). Det er gjort en gjennomgang av begge sett med forutsetninger om levetider i forbindelse med oppsett av modellbyggene som ligger til grunn for beregning av referansenivå. Resultatet av gjennomgangen er at det er satt opp et eget sett med levetider, ettersom begge predefinerte sett ble funnet å inneholde noen inkonsistente eller uhensiktsmessige valg.

Generelt er det valgt å benytte teknisk levetid, med unntak av innvendige kledningsmaterialer (gulvbelegg o.l.), der det forutsettes at kommersiell levetid er mer realistisk. Materialer som støpes eller integreres på annet vis som en fast del av bygningskroppen (for eksempel avrettingsmasse) forutsettes å ha lik levetid som bygget. Levetider er holdt like for referansenivå og lavutslippsnivå.

Tabell 9 Levetider benyttet i One Click LCA (teknisk og kommersiell), og levetider lagt til grunn i modellberegninger for klimagassutslipp fra materialbruk i bygg

Bygningskomponent	Levetid (år)		
	Teknisk	Kommersiell	Brukt i beregninger
Asfaltpapp på tak	20	10	20
Fasadeplater	60	35	60
Keramisk flis	30	25	25
Innerdør (klimadør)	40	25	40
Dampspærre i plast	30	20	60
Murpuss	60	45	60
Gipsplater i vegg og himling, generisk	60	40	40
Høvellast, tre	60	40	60
Mørtel	60	45	60
Tregulv/parkett	60	40	40
Ytterdør (ståldør)	30	25	30
Vinduer inkl rammer, karm og beslag	35	12	35
Avrettingsmasse over dekker	60	45	60
Terrassebord og utvendig kledning av trevirke,	60	40	40
Flislim	60	45	25
Vindspærre av gips, (GU-X)	60	40	60
Vinyl gulvbelegg	25	20	20
Vinylbelegg, vegg, bad	25	20	20
Linoleum gulvbelegg	25	20	20
Innvendig maling	15	15	12
Utvendig maling	15	6	10
Membran, plast	20	15	25
Gulvteppe	15	8	8
Glassfasade	30	30	30

Transport av materialer som skiftes ut i levetiden er også medregnet, slik beskrevet over, for fase A4.

Følgende livsløpsfaser er ikke inkludert i beregninger for modellbyggene – se kapittel 2.3.2 for detaljer og begrunnelse:

- Byggefase, A5
- Avhendingsfase, C1-C4

3.2.5. Utslippsfaktorer

Der vi ikke har funnet åpenbare grunner til å avvike fra utslippsfaktorene gitt Carbon Designer i One Click LCA, har vi lagt disse til grunn i beregningene. Utslippsfaktorer for materialgrupper der vi vurderer klimavennlige alternativer er dokumentert i kapittel 3.5.

En fullstendig oversikt over hvilke utslippsfaktorer som er lagt til grunn i beregningene er gitt i Vedlegg 4.

3.2.5.1. Skaleringseffekt

Nivåene for klimagassutslipp fra materialbruk i bygg presentert i denne rapporten er basert på estimert materialbruk for modellbyggene, som har en definert bygningsgeometri (se Vedlegg 1). Vi har forutsatt at utslipp, og dermed materialbruk, skaleres lineært med bygningsareal. I virkeligheten påvirkes materialbruk av bygningens størrelse og utforming – for eksempel kan materialbehovet i bæresystemet endres med økende bygningshøyde, samt at forhold mellom gulvareal og fasadeareal endres. Dette kan være et argument for at et rammenivå for klimagassutslipp fra materialer burde justeres med en skaleringsfaktor som tar hensyn til bygningshøyde.

Ved utarbeidelse av referansebygg med Carbon Designer i verktøyet One Click LCA endres ikke bæresystemet etter bygningshøyden. I Tabell 10 vises resultater for 3 ulike arealer og byggehøyder, 1 000 m² BTA 2 etg., 2 000 m² BTA 4 etg. og 5 000 m² BTA 10 etg. Endringene i tabellen er vist relativt i forhold til klimagassutslipp pr m² BTA. Det er primært utslipp fra gulv på grunn og yttertak som påvirkes av byggehøyden, da et bygg med få etasjer må fordele utslipp fra gulv på grunn og yttertak på mindre kvadratmeter gulvoverflate. Utslipp fra gulv på grunn og yttertak vil bli relativt lavere for et bygg med mange etasjer.

Tabell 10 Endring i klimagassutslipp fra referansebygg med ulikt areal og byggehøyde. Endringene er vist relativt i forhold til klimagassutslipp pr m² BTA

BTA, m ²	1000	2000	5000
Etasjer	2	4	10
222 - Søylar	100 %	100 %	100 %
223 - Bjelker	100 %	100 %	100 %
231 - Bærende yttervegger	99 %	100 %	101 %
234 - Vinduer, dører, porter	106 %	100 %	97 %
235 - Utvendig kledning og overflate	99 %	100 %	101 %
241 - Bærende innervegger	100 %	100 %	100 %
243 - Systemvegger, glassfelt	100 %	100 %	100 %
244 - Vinduer, dører, foldevegger	100 %	100 %	100 %
251 - Frittstående dekker og 252 - Gulv på grunn	117 %	100 %	90 %
255 - Gulvoverflate	100 %	100 %	100 %
256 - Faste himlinger og overflatebehandling	100 %	100 %	100 %
261 - Primærkonstruksjon	200 %	100 %	40 %
262 - Takteking	200 %	100 %	40 %
281 - Innvendige trapper	101 %	100 %	104 %
284 - Balkonger og verandaer	100 %	100 %	100 %
Sum, A1-A3	113 %	100 %	92 %

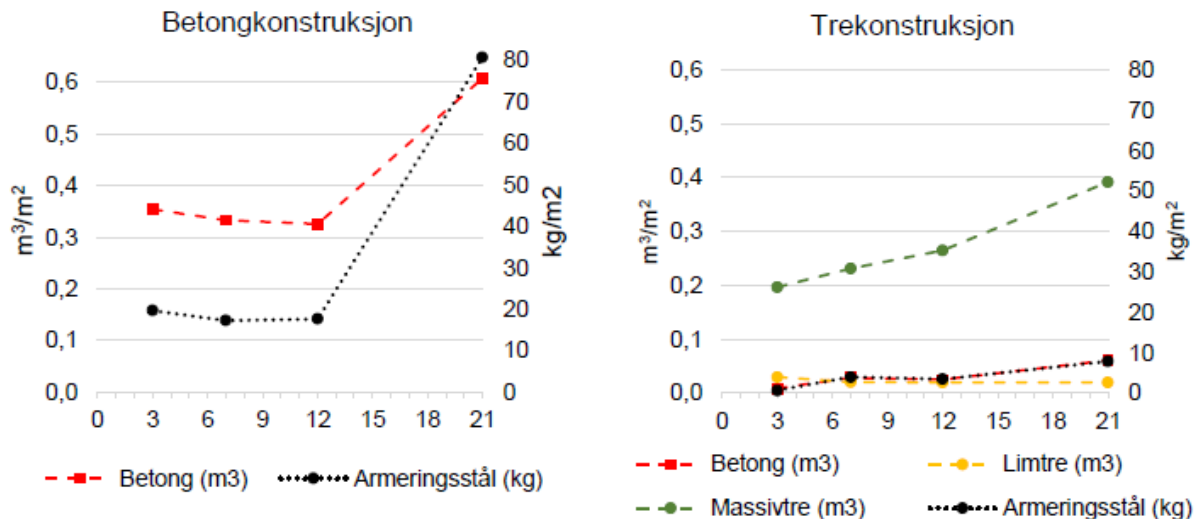
Et referansebygg med 10 etasjer har i One Click LCA rundt 8% lavere klimagassutslipp pr m² BTA sammenliknet med et referansebygg på 4 etasjer. Et referansebygg med 2 etasjer har rundt 13% høyere klimagassutslipp pr m² BTA sammenliknet med et referansebygg på 4 etasjer. Vi anser det som realistisk at det i Norge i snitt i hovedsak vil oppføres bygg som har tilsvarende byggehøyde som modellbyggene. Referansenivåene kan imidlertid være noe overestimert (opp mot 8%) for bygg opp mot 10 etasjer, som typisk vil være mer utbredt i sentrale byområder.

En studie fra 2016^{53,54} fant at økning i klimagassutslipp fra bæresystemet som følge av økt materialbruk for høye bygg først og fremst inntreffer for bygninger høyere enn 12 etasjer. For betongbygg over 12 etasjer slo behovet for sterkere bærekonstruksjon pga. byggehøyden kraftig ut, slik at klimagassutslippene per m² BRA økte tydelig med byggehøyden, se Figur 23. For trekonstruksjoner fant studien en betraktelig mindre økning i utslipp med økende bygningshøyde

⁵³ Skullestad et. al 2016: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610216307512>

⁵⁴ Skullestad, 2016: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2407885>

enn for betongbygg. Dette kom bl.a. av at trekonstruksjonene ikke hadde en like bratt økning av materialmengder per m² BRA for økende byggehøyder, i tillegg til at trekonstruksjonene var lettere og hadde behov for mindre betong til fundamentering.



Figur 23 Økning i materialbruk fra bærende/avstivende elementer og fundamentering per m² BRA med økning i byggehøyde for betongkonstruksjoner og massivtrekonstruksjoner, hentet fra Skullestad, 2016.

Valg av type bærekonsept for høyhus kan altså avgjøre i hvor stor grad utslippsnivået påvirkes av bygningshøyde. Vi ser i dag en rask utvikling i erfaringer med høyhus i tre, men det finnes fortsatt en del barrierer for bruk av tre i bærekonstruksjoner for bygg over 4 etasjer, som omtalt i kapittel 4.3. Samlet sett kan man si at dette peker mot at det kan være mer krevende å innfri krav om lave klimagassutslipp fra materialbruk for høye bygninger enn for lave. På en annen side kan høye bygninger gi bedre utnyttelse av sentrale tomter med god tilgang til kollektivtransport, som kan føre til en betydelig reduksjon i genererte utslipp fra transport til og fra bygget i løpet av dets levetid. Ved vurdering av byggehøyde, tomteutnyttelse og konsept for materialvalg bør alle disse mekanismene tas i betraktning for å få et reelt bilde av den totale utslippskonsekvensen ved å bygge høyt.

Ved å basere referansenivået på gjennomsnittlige bygningsgeometrier og byggehøyder (som er under 12 etasjer) vil eventuelle ulemper ved økt materialbruk for høye bygg gjenspeiles når bygget sammenliknes mot referansen. Dette blir analogt med at modellbyggerne er basert på enkel geometri og nøktern materialbruk, slik at bygninger med komplisert geometri vil ha et dårligere utgangspunkt for klimagassreduksjon. Det er ikke dermed sagt at det er ønskelig å gi et insentiv mot å bygge høye bygg i sentrale områder, når vi vet at klimaeffekten av god utnyttelse av sentrale tomter kan være svært god. Det er derfor å anbefale å inkludere klimagassutslipp fra transport i drift når klimaeffekten for bygging av høyhus skal vurderes.

Bruk av skaleringsfaktorer for bygningsgeometri ville dessuten komplisere beregnings- og dokumentasjonsprosessen for å tilfredsstille eventuelle krav til klimaprestasjon, og bør derfor unngås med mindre det er sterke indikasjoner på at det er nødvendig for å få representative referansenivåer.

På bakgrunn av dette mener vi at det er både tilstrekkelig og fornuftig å legge modellbygg med fast geometri til grunn, slik vi har gjort i modellberegningene presentert i denne rapporten. Det er derfor ikke benyttet skaleringsfaktorer i beregning av referansenivåer for klimagassutslipp fra materialbruk i bygg, da usikkerheten i oppbygging, løsningsvalg og materialmengder i referansebygget generelt sees på som høyere enn forskjell i resultater skalert etter ulike arealer.

3.3. Referansenivåer for klimagassutslipp fra materialbruk i nye bygg

Beregnete referansenivåer for klimagassutslipp fra materialbruk for de 6 ulike bygningskategoriene vi har vurdert, samt oppvarmet og uoppvarmet kjeller, er gitt i Tabell 11 og Tabell 12, hhv. per m² BTA og år og per m² BTA totalt for 60 års beregningsperiode.

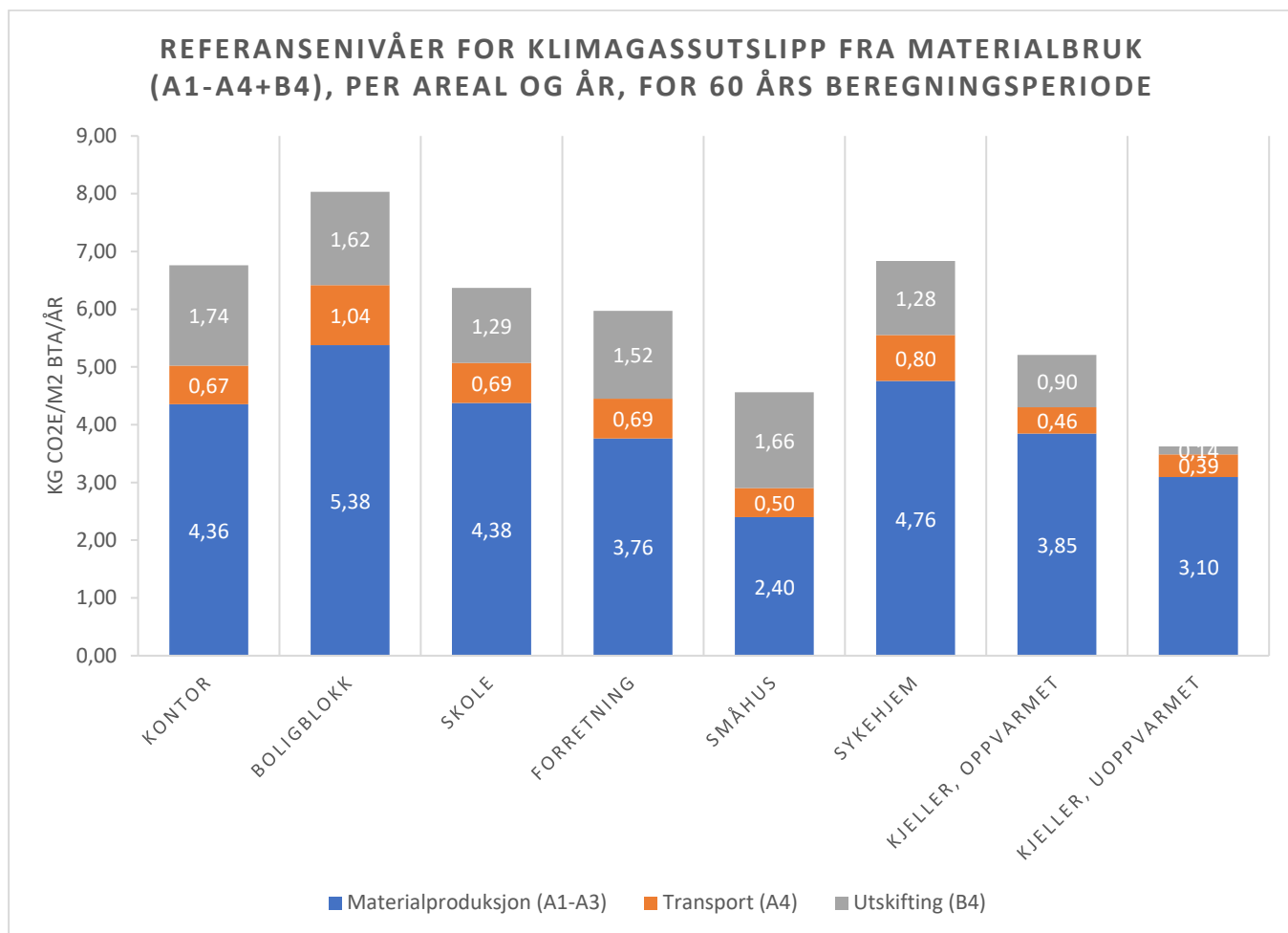
Tabell 11 Beregnede referansenivåer for klimagassutslipp fra materialbruk, gitt per areal (m² BTA) fordelt per år for 60 års beregningsperiode, per bygningskategori og livsløpsfase

Livsløpsfase	Klimagassutslipp per areal og år, for 60 års beregningsperiode (kg CO ₂ e/m ² BTA/år)							
	KONTOR	BOLIG-BLOKK	SKOLE	FORRETNING	SMÅHUS	SYKEHJEM	KJELLER, oppvarmet	KJELLER, uoppvarmet
Materialproduksjon (A1-A3)	4.36	5.38	4.38	3.76	2.40	4.76	3.85	3.10
Transport (A4)	0.67	1.04	0.69	0.69	0.50	0.80	0.46	0.39
Utskifting (B4)	1.74	1.62	1.29	1.52	1.66	1.28	0.90	0.14
SUM	6.76	8.03	6.37	5.97	4.56	6.83	5.21	3.62

Tabell 12 Beregnede referansenivåer for klimagassutslipp fra materialbruk, gitt per areal (m² BTA) som sum for 60 års beregningsperiode, per bygningskategori og livsløpsfase

Livsløpsfase	Klimagassutslipp per areal (kg CO ₂ e/m ² BTA)							
	KONTOR	BOLIG-BLOKK	SKOLE	FORRETNING	SMÅHUS	SYKEHJEM	KJELLER, oppvarmet	KJELLER, uoppvarmet
Materialproduksjon (A1-A3)	261	323	263	226	144	285	231	186
Transport (A4)	40	62	42	41	30	48	27	23
Utskifting (B4)	104	97	78	91	100	77	54	8
SUM	406	482	382	358	274	410	312	217

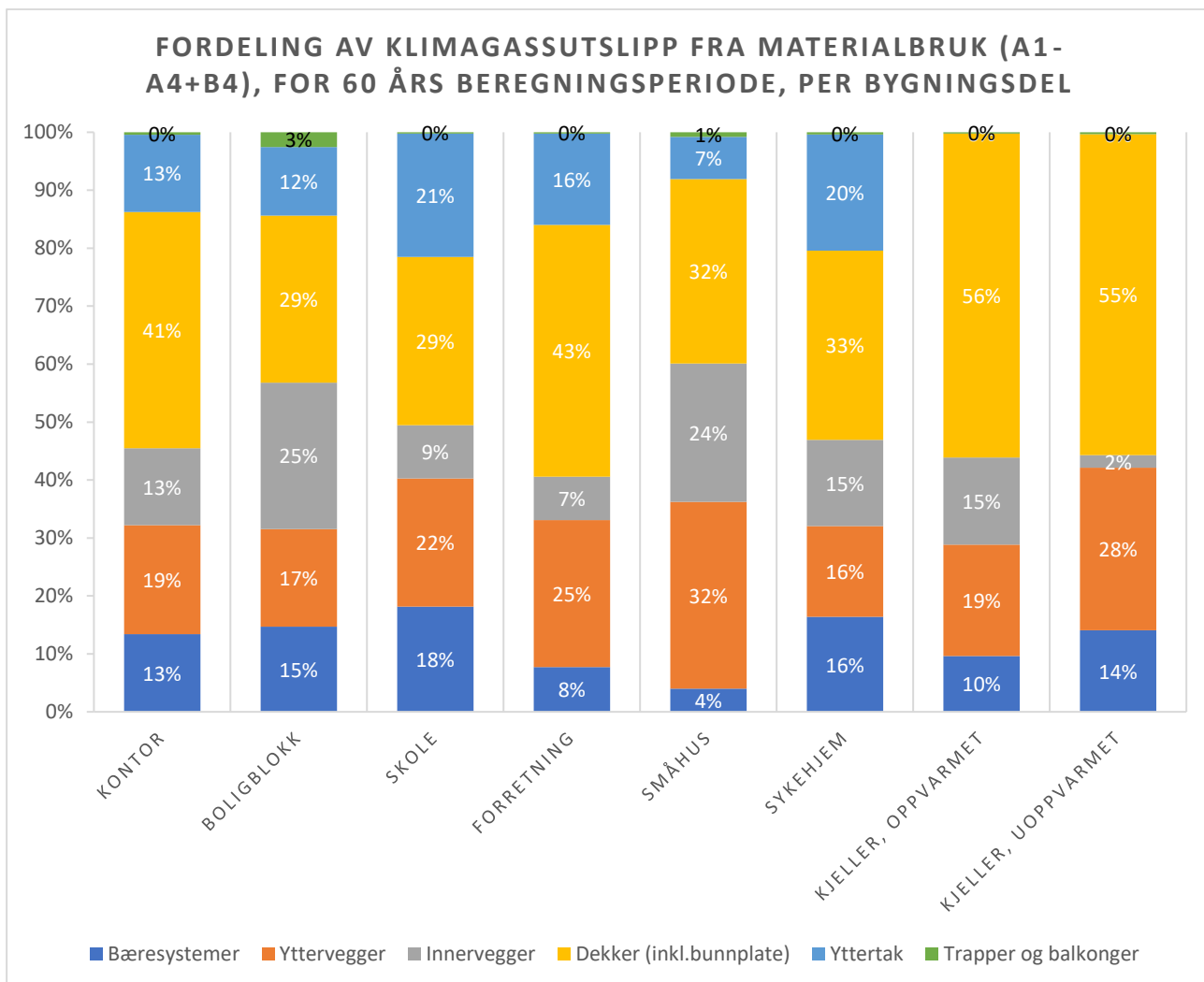
Referansenivåene er illustrert i Figur 24:



Figur 24 Beregnede referansenivåer for materialbruk for ulike bygningskategorier, inkludert materialproduksjon, transport til byggeplass og utskifting over 60 års levetid.

Utslipp knyttet til materialproduksjon (A1-A3) står for 64 % av totale beregnede utslipp i snitt for bygningskategoriene (ekskludert kjellere), mens transport (A4) og utskifting (B4) står for hhv. 11 % og 24 % i snitt med de forutsetningene vi har lagt til grunn.

Figur 24 viser en fordeling av beregnede utslipp på de ulike bygningsdelene. Dekker står for den største andelen av utslipp i snitt (også her ekskl. kjellerne), med 34 % av totalen, etterfulgt av yttervegger (22 %). Innervegger har relativt stor betydning for boligbyggene (boligblokk og småhus), ettersom disse byggene har en større andel innervegger.



Figur 25 Fordeling av beregnede klimagassutslipp for modellbygg, per bygningsdel

3.3.1. Sammenlikning med tidligere referansenivåer

I en rapport på oppdrag for Klimaetaten i Oslo beregnet vi tilsvarende referansenivåer for 4 av de 6 bygningskategoriene, samt kjellere. Referansenivåene vi presenterer i denne rapporten er noe endret, sammenliknet med nivåene i rapporten til Klimaetaten. Variasjonen for totale beregnede utslipp er i snitt 3.8 %, som betraktes som relativt liten. Den største variasjonen forekommer for skolebygg, der beregnet referansenivå for utslipp i denne rapporten er 12 % høyere enn referansenivå presentert i rapporten for Klimaetaten.

Avvikene skyldes generelt en kombinasjon av forbedringer og justeringer i modellene, for å tilpasse byggene bedre til å representere et nasjonalt gjennomsnitt mht. løsningsvalg, og noe feilretting, også knyttet til faktorer fra One Click LCA (se Vedlegg 3 for en komplett redegjørelse av justeringer i modellbyggene relativt til grunnlaget fra One Click LCA).

Avvik for skole er konkret knyttet til at det i beregningene til Klimaetaten var benyttet en annen type isolasjon i yttertak for skolebygg enn for øvrige kategorier. Denne typen hadde betydelig høyere trykkfasthet, som resulterte i vesentlig høyere beregnede utslipp. I tillegg var himlingsplater dobbelttelt for skolebygget.

3.4. Hva bidrar til klimagassutslipp fra materialbruk i nye bygg?

Deloppdrag 2 omfattet opprinnelig å vurdere potensialet for å redusere klimagassutslipp fra materialbruk, avgrenset til de materialene som utgjør 70% av den totale materialmengden i bygg. Mengdeandelen de ulike materialene utgjør varierer med bygningstype, ettersom oppbygningen i et moderne kontorbygg for eksempel er svært ulik oppbygningen i en typisk enebolig.

For å identifisere hvilke materialer dette omfatter, har vi derfor basert oss på referansenivåene presentert i kapittel 3.3, og sett på hvilke materialgrupper som faller innenfor 70 % av total masse for hver bygningskategori, ved å sortere dem etter andel de utgjør i byggene. For å sikre at mengdeavgrensningen ikke førte til at vi ikke utelater materialer som forekommer i mindre mengde, men har høye enhetsutslipp, har vi også gjort en vurdering av hvilken betydning de ulike materialene har for totale utslipp. Her har vi regnet kun sett på utslipp fra materialproduksjon (A1-A3), dvs. ekskludert transport til byggeplass (A4) og utskifting (B4), for at avgrensningen ikke skal være avhengig av transportdistanser eller levetider, ettersom disse faktorene har betydelig høyere usikkerhet.

En avgrensning på 70 % av total masse fører til at alt annet enn betong faller utenfor avgrensningen for alle bygningskategoriene med unntak av småhus. Hvis vi i stedet velger å avgrense på 70 % bidrag til klimagassutslipp (A1-A3), inkluderes flere materialgrupper, men totalt sett kun 10 hovedgrupper av materialer for byggene utenom småhus. Småhus har flere forekomster av materialer i små mengder, og består som regel av materialer med relativt lavt klimafotavtrykk, som gjør at både mengde og utslipp fordeler seg mer spredt enn for de øvrige bygningskategoriene. For å få et bredere grunnlag for å vurdere klimavennlige materialalternativer, har vi derfor valgt å utvide avgrensningen av hvilke materialer som vurderes fra 70 % til 90 % av total mengde. Hvis vi tar med alle materialgrupper som faller innenfor 90 % avgrensning på masse for én eller flere bygningskategorier, får vi totalt 13 materialgrupper.

Dersom vi avgrenser på 90 % av totale utslipp, i stedet for masse, omfatter listen totalt 24 materialgrupper. De 11 materialgruppene som faller innenfor 90 %-avgrensning på utslipp, men ikke på masse, er materialer som har høye enhetsutslipp (utslipp per mengde). I motsatt fall er det 3 materialgrupper som faller innenfor 90 % av masse, men ikke av totale utslipp: konstruksjonsvirke, limtre og lettklinkerblokk. Disse faller utenfor 90 % av totale utslipp fordi enhetsutslipp for disse materialgruppene er relativt lave.

En oversikt over fordeling på total masse og totale utslipp fra de ulike materialgruppene er gitt i Tabell 13. Andel av total masse/utslipp er vist, samt, akkumulerte verdier (regnet fra største bidrag til minste). Grønn markering indikerer materialgruppene som faller innenfor 70 % av akkumulert masse/utslipp, blå markering viser materialer som faller innenfor en avgrensning på 90 %, og gul markering viser materialgruppene som faller utenfor 90 % avgrensning.

Tabell 13 Fordeling av materialer i modellbygg på bidrag til total masse (til venstre) og utslipp (til høyre)

Masse: 0%-70%	Klimagassutslipp, A1-A3: 0%-70%
Huldekker av prefabrikkert betong	Huldekker av prefabrikkert betong
Betong, plasstøpt	Betong, plasstøpt
Gipsplate, standard	Konstruksjonsstål
Konstruksjonsvirke, tre	Glassvegg, inne
Takstein	Vinduer med tre- og aluminiumsprofil
Lettklinkerblokk (type leca)	Mineralull (glassull og steinull)
Masse: 71%-90%	EPS
Armeringsstål	Keramiske fliser inkludert flislim
Avrettingsmasse	Gipsplate, standard
Bygningsplater (OSB, spon, MDF)	Kledning, trevirke
Keramiske fliser inkludert flislim	Takstein

Kledning, trevirke	Avrettingsmasse
Konstruksjonsstål	Klimagassutslipp, A1-A3: 71%-90%
Limtre	Armeringsstål
Mineralull (glassull og steinull)	Gulvteppe
Teglstein	Teglstein
Vindspærre (gips - GU-X)	Taktekking og takbelegg (bitumen/PVC)
Masse: 91%-99%	Glassfasadesystem
Dører (innvendige og ytterdører)	Mørtel
Murpuss	Dører (innvendige og ytterdører)
Mørtel	Murpuss
Parkett og tregulv	Bygningsplater (OSB, spon, MDF)
Vinduer med tre- og aluminiumsprofil	Parkett og tregulv
Lettklinkerblokk (type leca)	Vindspærre (gips - GU-X)
Glassvegg, inne	Fasadeplate, sementkompositt
Taktekking og takbelegg (bitumen/PVC)	Klimagassutslipp, A1-A3: 91%-99%
EPS	Belegg (linoleum og vinyl)
Konstruksjonsvirke, tre	Himlingsplater
Himlingsplater	Konstruksjonsvirke, tre
Fasadeplate, sementkompositt	Lettklinkerblokk
Glassfasadesystem	Utvendig vanntetting, kjeller
Belegg (linoleum og vinyl)	Innendørs maling
Huldekker av prefabrikkert betong	Opphengssystem himlingsplater
Gipsplate, standard	Limtre/massivtre
Terrassebord utvendig, ulike typer	Dampspærre i plast
Utvendig vanntetting, kjeller	Våtromsmembran

Detaljerte oversikter over hvordan materialene bidrar til total masse og totale utslipp for de ulike bygningskategoriene er gitt i Vedlegg 2.

3.5. Aktuelle klimavennlige materialer i dagens norske marked og potensiale for utslippsreduksjon

I dette kapitlet tar vi utgangspunkt i oversikten over hvilke materialer som står for 90 % av total masse, samlet sett for de 6 bygningskategoriene. Vi har imidlertid valgt å utelate følgende materialgrupper fra vurderingen, på tross av at de faller innenfor 90 % avgrensning på masse:

- Lettklinkerblokk
- Konstruksjonsvirke
- Vindspærre (GU-X)
- Limtre

Dette er både på bakgrunn av disse materialgruppene har mindre betydning for totale utslipp, og at potensialet for å redusere utslipp for disse materialgruppene ved å erstatte dem med klimavennlige alternativer er svært begrenset. For limtre finnes det til en viss grad produkter med lavere utslipp, men limtre forekommer kun i liten grad i modellbygget for småhus. Potensialet for å redusere utslipp fra limtre og massivtre er dessuten vist i beregningene for kontorbygg i betong og tre (se kapittel 3.2.3 og kapittel 3.9.2).

For å få med materialgrupper som har høye enhetsutslipp, og der det finnes betydelig potensiale for å redusere utslippene i form av mer klimavennlige produkter eller alternative materialvalg, har vi valgt å inkludere EPS og gulvbelegg i vurderingen.

Totalt gir dette følgende 15 materialgrupper:

- Armeringsstål
- Avrettingsmasse
- Betong, plasstøpt
- Bygningsplater (OSB, spon, MDF)
- EPS
- Gipsplate, standard
- Gulvteppe
- Hulldekker av prefabrikkert betong
- Keramiske fliser, inkludert flislim
- Kledning, trevirke
- Konstruksjonsstål
- Mineralull (glassull og steinull)
- Parkett og tregulv
- Takstein
- Teglstein

Vi diskuterer potensiale for utslippsreduksjon både ved å bytte fra en materialtype til en annen, og gjennom å velge alternative produkter innenfor samme materialgruppe med lavere utslipp. For hver materialgruppe viser vi forventede enhetsutslipp for standard materialvalg (som lagt til grunn i modellbyggene), og for de vi vurderer som det mest klimavennlige alternativet for hver materialgruppe. Kapitlet er imidlertid ikke ment som en veileder i klimavennlige materialvalg, og oversikten vi presenterer er ikke uttømmende, ettersom vi velger å presentere de alternativene som vi mener har størst potensiale for å redusere utslipp, basert på vår erfaring og kunnskap. For en mer komplett oversikt over alternative materialvalg og en bredere vurdering av miljøaspekter henviser vi til Grønn Materialguide⁵⁵.

Vi angir også potensialet for utslippskutt på bygningsnivå knyttet til å endre enkeltmaterialer i bygningsmodellene. Potensialet angis som snittverdier for de bygningskategoriene der materialene brukes.

Ombruk av materialer omtales i et eget delkapittel for hver materialgruppe. Klimaeffekt knyttet til ombruk av materialer er beregnet i kapittel 3.9.5.

Kostnader har ikke vært en del av vurderingen.

3.5.1. Konstruktive materialer

3.5.1.1. Betong

Betong står for den klart største andelen av total masse i modellbyggene. For de bygningskategoriene vi har vurdert utgjør betong rundt 80 % av total masse, med unntak av modellbygget for småhus, der kun bunnplaten er i betong (31 % av total masse). For totale utslipp står betong for en noe mindre andel – 34-40 % for modellbyggene utenom småhus og 10 % for småhus. Det er likevel få andre materialgrupper som står for en så stor enkeltandel av utslipp. Dette indikerer at valg av betong med lave enhetsutslipp er et av de klart viktigste tiltakene for å redusere utslipp fra materialbruk i bygg.

Betong består av vann, sement, tilslag (sand, stein, pukk) og tilsetninger. Det er i hovedsak produksjon av klinker i sementproduksjonsprosessen som bidrar til store klimagassutslipp i produksjon. Derfor er det redusert klinker-innhold som må til for å produsere betong med lavere klimafotavtrykk. Deler av klinkerinnholdet kan erstattes med pozzolander, dvs. flyveaske og silikastøv, som er biprodukter fra hhv. kullkraftverk og silisiumfabrikker. I tillegg kan deler av

⁵⁵ <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2018/11/Gr%C3%B8nn-Materialguide-v3.pdf>

sementen i seg selv også erstattes av pozzolaner. For en betong (B35/M45) produsert i Oslo med sement fra Norcem i Brevik, står sementinnholdet for 93 % av klimagassutslippene fra produksjonsprosessen, ifølge Multiconsult⁵⁶. Tilslag (flyveaske, silikastøv og slagg) står for 4-5 % av utslippene, og det meste av dette er knyttet til transport, ettersom flyveaske og liknende tilslagsstoffer er avfallsprodukter fra annen industri, der utslippene allokeres til hovedproduktet. Klimagassutslipp for betong varierer også med fasthetsklasse. Generelt vil høyere trykkfasthet gi høyere klimagassutslipp. Det er derfor viktig å velge riktig fasthetsklasse i hvert prosjekt, og ikke overdimensjonere.

Beregnete klimagassutslipp kan variere fra rundt 120 kg CO₂-ekv/m³ til over 330 kg CO₂-ekv/m³ for betong med fasthetsklasse B35, avhengig av hvor mye av sementen som er erstattet av tilsetningsstoffer. Det har vært en betydelig utvikling i betongbransjen i senere år knyttet til å redusere klimagassutslipp. Fremtidig utslippsreduksjon som følge av karbonfangst på Norcems sementproduksjonsanlegg i Brevik er drøftet i kapittel 3.11.1.

Betongforeningens Publikasjon 37 (oppdatert versjon fra 2019) definerer følgende verdier for maksimalt tillatt klimagassutslipp for de ulike betongklassene⁵⁷:

Tabell 14 Utslippsnivåer for bransjereferanse og lavkarbonbetongklasser, Norsk Betongforenings Publikasjon 37, 2019

Fasthetsklasse ¹⁾ og lavkarbonklasse	B20	B25	B30	B35	B45	B55	B65
Maksimalt tillatt klimagassutslipp [kg CO₂-ekv. pr m³ betong]							
Bransjereferanse	240	260	280	330	360	370	380
Lavkarbon B	190	210	230	280	290	300	310
Lavkarbon A	170	180	200	210	220	230	240
Lavkarbon Pluss ²⁾			150	160	170	180	190
Lavkarbon Ekstrem ²⁾			110	120	130	140	150

De senere årene har det blitt stadig enklere å få tak i lavkarbonbetong. De fleste betongprodusenter leverer nå betong med klimagassutslipp tilsvarende bransjereferanse eller noe bedre som standard. Lavkarbon Pluss og Ekstrem har begrenset tilgjengelighet, krever spesielle tiltak og må som regel spesialbestilles. Tilgang på lavkarbonbetong i ulike landsdeler og betydning for potensialet for utslippsreduksjon fra betong er vurdert i kapittel 3.9.5.

Bruk av resirkulert tilslag, som for eksempel knust betong, kan potensielt redusere klimagassutslippene fra betong noe, dersom det fører til reduserte transportavstander i

⁵⁶ <https://www.nho.no/contentassets/931076d7f29042eba38a0b8e4d72a85b/rapport-multiconsult---hvordan-gjore-co2-fangst-og-lagring-lonnsomt.pdf>

⁵⁷ Hentet fra presentasjonen: <https://fabeko.no/assets/2.-Lavkarbonbetong-Tom-Fredvik.pdf>

produksjonen. Mulig reduksjon ved bruk av resirkulert tilslag er imidlertid ikke særlig stor, da klinker- og sementinnholdet står for opptil 90 % av klimagassutslippene⁵⁸. Tester utført av Sintef⁵⁹ har dessuten vist at bruk av resirkulert tilslag i verste fall kan føre til økt behov for sement, og dermed økte klimagassutslipp.

For utslippsfaktorer for produksjon av betong er verdier fra Norsk Betongforenings Publikasjon 37 lagt til grunn. Denne utkom nylig (november 2019) i revidert versjon. Utslippsnivå for betong iht. bransjereferanse i den forrige versjonen av Publikasjon 37 har ligget vesentlig høyere enn det som erfaringsmessig har vært reell standard utslippsverdi for tilgjengelig betong i det norske markedet. I den reviderte versjonen publikasjon 37, publisert november 2019, er nivået for bransjereferanse satt tilsvarende nivå for lavkarbonklasse C i versjon fra 2015, mens selve klassifiseringen lavkarbon C er fjernet. Fordi bransjereferansenivå i publikasjon 37 nå må ansees å være representativ for standard betong i dagens marked, er denne verdien lagt til grunn for betong i modellberegningene, både for plasstøpt betong og prefabrikerte betongelementer/hulldekker.

For å beregne det maksimale potensialet for utslippskutt fra betong i modellbyggene har vi lagt til grunn utslipp tilsvarende Lavkarbon Ekstrem, som spenner mellom 110 og 150 kg CO₂e/m³. Dette gir en 63 % utslippsreduksjon per m³ betong. Å erstatte all plasstøpt betong i modellbyggene med lavkarbon Ekstrem medfører en samlet utslippsreduksjon på 10 %, i snitt for alle bygningskategorier. Tilsvarende gir det en samlet reduksjon på 8 % i snitt å bytte ut standard betong i hulldekker med lavkarbon Ekstrem.

3.5.1.2. Stål

Konstruksjonsstål står for 1-3 % av masse for modellbyggene, men 9-20 % av totale utslipp (med unntak av for småhuset, som i hovedsak har bærekonstruksjon i tre). Produksjon av stål og andre metaller er i utgangspunktet forbundet med høye klimagassutslipp. Dette har sammenheng med at produksjon av jomfruelig stål er energikrevende, og det er betydelig potensiale for å redusere utslippene per vektenhet ved å benytte produkter som har en høy andel resirkulert råstoff.

Det finnes hovedsakelig to metoder for å produsere stål. Enten fra masovn, eller fra elektrisk lysbueovn. En masovn benytter malm, kalk, kull og maksimalt 20 % skrap, mens elektrisk lysbueovn baserer seg i hovedsak på skrap og elektrisitet. Stålprodukter produsert med elektrisk lysbueovn vil dermed ha høyere andel skrap og lavere klimafotavtrykk enn stålprodukter produsert med masovn.

For konstruksjonsstålprodukter varierer innholdet av skrapstål, og dermed enhetsutslippet, med produkttype. Hulprofiler har typisk lavere andel skrapstål enn valseprofiler. Det varierer hvor høy resirkuleringsgrad som er mulig å få tak i for ulike typer stålprodukter. Per nå finnes det følgende dokumenterte andeler resirkulert stål på markedet:

- Armeringsstål: 100 % skrap
- I,H,U,L,T-Profil (HEB, IPE etc.): Flere leverandører kan levere med opptil 85 % skrap, og én leverandør kan levere med 100 % skrap
- Hulprofiler: < 13 % skrap
- HSQ: <11 % skrap

Det er viktig å være klar over at en del leverandører lager EPD-er for et snitt av sine produkter, slik at noen av produktene vil ha lavere resirkulert andel enn det EPD-en viser, og andre vil ha høyere. Det bør derfor i prosjekter med høye miljøambisjoner etterspørres produkter som er produsert med så

⁵⁸

https://www.researchgate.net/publication/257304389_Comparative_LCA_of_recycled_and_conventional_concrete_for_structural_applications

⁵⁹ <https://fabeko.no/assets/betongrester-rapport-fra-SINTEF.pdf>

mye skrap som er mulig for de aktuelle produktene som skal brukes. Et bæresystem i stål kan også optimaliseres ved å benytte mer av IHULT-profiler og mindre av hulprofiler og HSQ, men det må være et premiss fra tidlig i prosjektet.

Ifølge EPD fra Celsa SteelService⁶⁰ har norskprodusert armeringsstål (slakkarmering) et utslipp fra produksjonsfasen på 0.36 kg CO₂e/kg stål (99% resirkulert andel). Dette er laveste dokumenterte verdi i publiserte EPDer, og legges derfor til grunn for armering i lavutslippsbyggene. Referanseverdi for slakkarmering er 0.6 kg CO₂e/kg. Dette tilsvarer en utslippsreduksjon per kg stål på 40 %. For hulldekker er det lagt til spennarmering med referanseutslipp på 2.68 kg CO₂e/kg, og 1.0 kg CO₂e/kg, basert på laveste verdi i publiserte EPDer. Dette tilsvarer en utslippsreduksjon på 63 % per kg stål. Totalt i snitt for byggene gir mer klimavennlig armeringsstål en moderat utslippsreduksjon – 1 % for slakkarmering og 2 % for spennarmering.

For hulprofiler er det lagt til grunn en utslippsverdi på 3.6 kg CO₂e/kg stål for referansenivå. Dette er valgt på bakgrunn av benchmarkberegning for det norske markedet hentet fra One Click LCA, gjennomsnitt i utvalget av EPDer. Tilsvarende er gjort for valseprofiler, der utslippsverdi på 2.1 kg CO₂e/kg stål er lagt til grunn for referansenivå. I lavutslippsbyggene er laveste verdier funnet i publiserte EPDer lagt til grunn. 2.5 kg CO₂e/kg er lagt til grunn for hulprofiler og 0.6 kg CO₂e/kg for valseprofiler, som tilsvarer hhv. en 31 % og 71 % utslippsreduksjon per kg stål. Å benytte stålsøyler og bjelker med høyere andel skrapstål medfører en samlet utslippsreduksjon på 6 % i snitt for modellbyggene.

3.5.1.3. Tre

Konstruksjonsvirke står for en høy andel av total masse i modellbygget for småhus (11 %), men under 1 % av totale utslipp, som følge av lave enhetsutslipp. Det er heller ikke stor variasjon i utslipp fra konstruksjonsvirke, ettersom konstruksjonsvirke i prinsippet er ubehandlet tre, og som oftest kan skaffes fra lokale produsenter.

Limtre og massivtre har høyere klimafotavtrykk enn konstruksjonsvirke, som følge av liminnholdet og høyere energibehov for å sammenføre materialene. Generelt vil stenderverk i tre derfor gi lavere klimafotavtrykk enn massivtre per areal, fordi mengden trevirke i stenderverket er mindre enn en tilsvarende massivtrekonstruksjon. Massivtre bør derfor kun benyttes der det har bærende og/eller avstivende funksjoner.

Det har vært mye debatt om massivtre eller betong er det beste valget for miljøambisiøse bygg de senere årene. Det korte svaret på dette er at det ikke er mulig å angi en generell og allmenngyldig konklusjon. Det optimale materialkonseptet vil avhenge av en rekke faktorer for hvert enkelt prosjekt, bl.a. bygningsutforming, ønskede funksjoner, tekniske krav og lokal tilgang på materialer. I tillegg spiller overgripende faktorer inn: tilgang på ressurser til materialproduksjon, erfaring i markedet og grad av industrialisering for ulike produksjonsteknologier og materialløsninger.

Trevirke er et fornybart materiale som vi har god tilgang på, mens lavkarbonbetong foreløpig er avhengig av ikke- fornybare ressurser som kalkstein og flyveaske eller andre pozzolaner. Det er dermed grunn til å anta at det er begrenset tilgang på betongmaterialer med utslippsnivå som er sammenliknbart med massivtre. Skullestad et al., 2016⁶¹ sammenliknet klimapåvirkning for bærekonstruksjoner i tre og plastøst betong for bygg med varierende bygningshøyde. Til sammen ble 96 ulike kombinasjoner av LCA-forutsetninger og produksjonsteknologier sammenliknet. I ett tilfelle kom betongkonstruksjonen bedre ut enn trekonstruksjonen. Dette gjaldt for et sett med

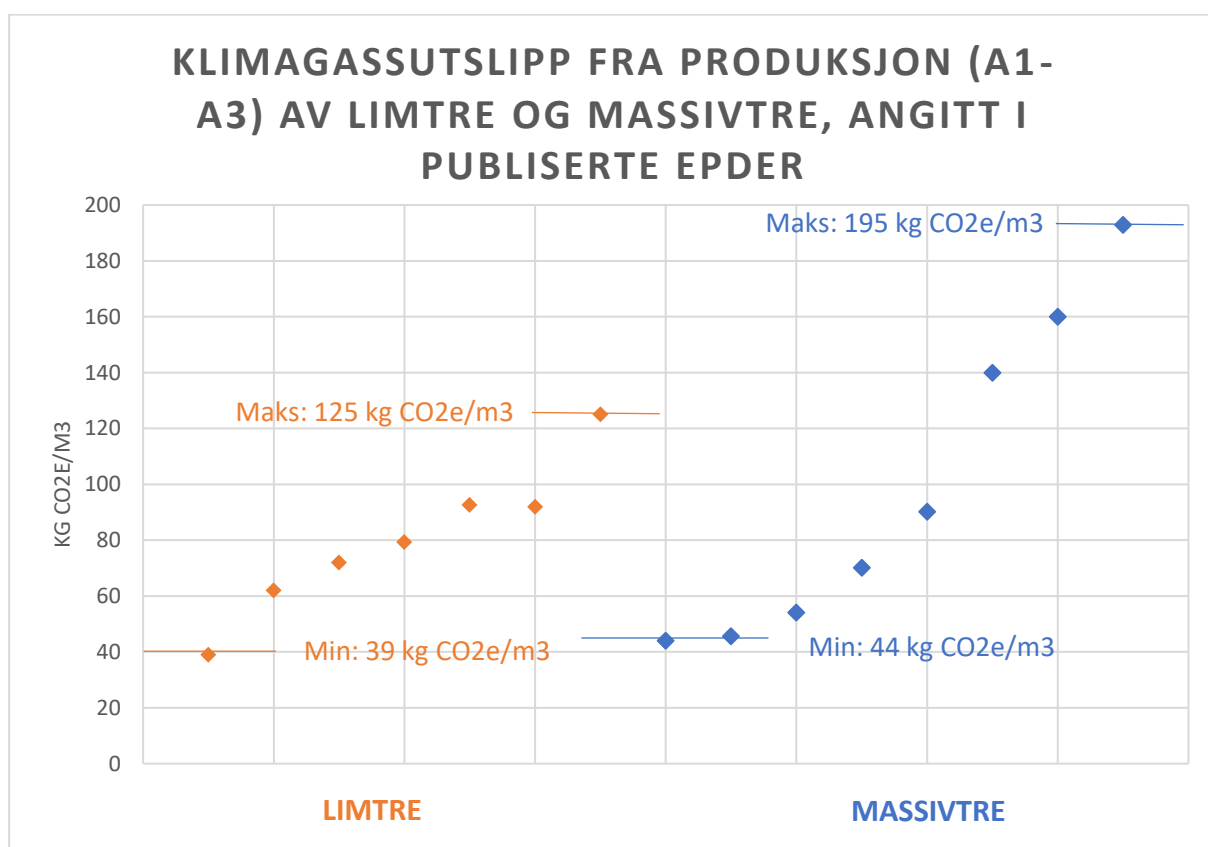
⁶⁰ https://www.epd-norge.no/getfile.php/138647-1519641284/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-434-305-EN_Steel-reinforcement-products-for-concrete_1.pdf

⁶¹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610216307512>

kriterier som var mer fordelaktige for betongalternativet og mindre fordelaktige for tre-alternativet. Generelt var reduksjonspotensialet ved bruk av massivtre lavest ved 12 etasjer, men økte drastisk herfra opp mot 21 etasjer.

Det presiseres at studien kun beregnet utslipp fra materialer i bærestruktur og fundamenter. På grunn av studiens natur ble ikke transport til byggeplass (A4) medregnet. For spesifikke prosjekter der det skal vurderes å bruke massivtre, er det erfaringsmessig svært viktig å medregne utslipp fra transport fra produsent til byggeplass (A4). På grunn av manglende tilgang på norske produsenter av massivtre i flere år, har det vært vanlig å importere massivtre fra Øst-Europa. Dette kan føre til høye utslipp i A4 som må medregnes i sammenlikningen mot bruk av betong. Det kan også være en rekke tekniske barrierer ved bruk av massivtre, spesielt i høyere bygninger. Dette er nærmere omtalt i kapittel 4.3.

Utslippsverdier varierer mye mellom ulike produsenter av massivtre og limtre. En oversikt over verdier i publiserte EPDer er gitt i Figur 26:



Figur 26 Verdier for klimagassutslipp fra produksjonsfasen (A1-A3) fra publiserte EPDer for limtre og massivtre

I tillegg til variasjon i produksjonsutslipp har transportavstander stor betydning, ettersom limtre og massivtre har relativt høy egenvekt, og tilgangen på lokalt produserte materialer er begrenset, spesielt for massivtre. Ettersom mengden limtre i modellbyggene er svært liten, og ingen av byggene er oppført ved bruk av massivtre, er det ikke gjort noen beregning av potensialet ved å velge alternative treprodukter for modellbyggene. Betydningen av utslippsverdi for limtre og massivtre, inkludert ulike forutsetninger om transportdistanse, er i stedet vurdert for kontorbyggmodellen i tre – se kapittel 3.2.3 og 3.9.2.

3.5.1.4. Ombruk av konstruktive materialer

Den bærende konstruksjonen er gjerne den delen av bygget som det er mest krevende å bruke ombrukskomponenter i, siden det kreves nøyaktig og pålitelig informasjon om materialenes egenskaper for å dimensjonere riktig. Som grunnlag for RIB-prosjektering, er man avhengig av gode prosedyrer for å teste og dokumentere materialenes egenskaper. Siden det er bæresystemet som er ansvarlig for mesteparten av klimagassutslippene i mange typer bygg, er det imidlertid viktig at det legges inn en innsats for å muliggjøre ombruk av bygningskomponenter også her.

- **Betong**

Betong utgjør størstedelen av avfallet fra rivingsprosjekter i dag, og med mange bygg fra etterkrigstiden som nærmer seg slutten av sin levetid vil det bli stadig mer. I et klimaperspektiv er det så klart best å rehabilitere betongbygg, slik at man kan ombruke hele bærekonstruksjonen der den er. Rehabilitering er imidlertid ikke tema for denne rapporten. Når det besluttes at et betongbygg skal rives, blir gjerne betongkomponentene materialgjenvunnet i dag. Selve betongen knuses og brukes som fyllmasse, mens armeringsjernet sorteres ut og smeltes om. Men ombruk er også mulig, og vil gi en langt større miljøgevinst enn materialgjenvinning. Her er det mye potensial for kreative og nyskapende løsninger. De siste årene har man for eksempel begynt så smått å ombruke hulldekker. Fra Regjeringskvartalet har brukte hulldekker blitt levert til 4-5 prosjekter i Oslo-området, inkludert ombruksbygget Kristian Augusts gate 13. Fokuset fremover vil være på prosedyrer for kvalitetssikring og testing for ny bruk.

- **Stål og andre metaller**

Metaller, som stål og aluminium, er robuste materialer som er godt egnet til ombruk. I likhet med betong blir mye stål og andre metaller materialgjenvunnet i dag. F.eks. er mesteparten av aluminiumen som er produsert fortsatt i omløp. Ifølge rapporten *Ombruk av stål og tilknyttede byggematerialer* (Widenoja et. al. 2018) utgitt av Norsk stålforbund vil klimagevinsten ved å ombruke stål være omtrent 80% sammenliknet med gjenvinning. Her er det et stort potensial for å ombruke mer. Søylar, bjelker og andre bygningskomponenter av stål kan ombrukes, men potensialet for ombruk er ofte avhengig av innfestingsmetode. For eksempel vil det være enklere å demontere og ombruke komponenter som er festet mekanisk, og kan skrus ut, enn komponenter som er sveiset. I Kristian Augusts gate 13 ble klimagevinsten 97% ved å ombruke stål sammenliknet med å bruke nytt stål.

- **Tre**

Det meste av trevirke er ombrukbart, og med store og økende avfallsmengder, og karbonlagringspotensiale ved at treet holdes i omløp lengre (se kap. 2.3.4.1), burde mer trevirke gå til ombruk enn i dag. Massivtreelementer av rent tre er ombrukbare, i hvert fall på papiret, men siden massivtreteknikken er såpass ny er det ingen kjente eksempler på dette i Norge ennå. Søylar, bjelker og dragere av limtre og andre kraftige trekomponenter er også verdifulle med tanke på ombruk, særlig der man har original dokumentasjon intakt. I stenderverksbygg er konstruksjonsvirke også gjenbrukbart, men dette kan være utfordrende med tanke på kvalitetssikring. I tillegg er det ikke spesielt dyrt å kjøpe nytt trevirke. I gjenbrukshuset i Trondheim ble brukt trevirke anvendt i bærekonstruksjonen, men her ble det vurdert som mer krevende å anvende brukte trematerialer i bærekonstruksjon og bjelkelag enn i fasader, veggkonstruksjoner og innvendige konstruksjoner (Trondheim kommune/Njål Pettersen 2005). I eksperimentboligene på Svartlamon er den bærende konstruksjonen den eneste delen av byggene som utelukkende er bygget av nye materialer, nettopp for å unngå problematikken rundt kvalitetssikring av konstruksjonen.

3.5.2. Utvendige kledningsmaterialer

Kledning i teglstein har svært høye enhetsutslipp, i hovedsak på grunn av energibruk til brenning av tegl. Teglstein står for 2-4 % av masse, og 2-3 % av totale utslipp (ekskludert for småhus, der det ikke

benyttes tegl i modellbygget). Referanseutslipp for teglstein er 31.1 kg CO₂e/m², og i tillegg kommer mørtel på 17.3 kg CO₂e/m², totalt 48.4 kg CO₂e/m². Alle bygg med teglkledning har også innenforliggende bærende stenderverk med vindspærre, og dermed er det mulig å erstatte teglkledning med en annen kledningstype uten at dette får konsekvenser for den øvrige ytterveggkonstruksjonen.

Glassfasade står for en svært liten andel av total masse for de byggene der det er forutsatt (kontor, forretningsbygg og skole, ca. 0.3 % av masse for alle), men faller innenfor 90 % masse-avgrensning for skole og forretningsbygg. Selv om bidraget til totale utslipp ikke er veldig høyt (3.5 % for forretningsbygg, 2.2 % for skole og 1.7 % for kontor), er det uforholdsmessig høyt relativt til mengden i bygget. Dette skyldes i hovedsak at produksjon av glass er energikrevende, og forårsaker høye utslipp. I tillegg inneholder glassfasadesystemer ofte mye metall, generelt med lav resirkuleringsandel, og dermed høye enhetsutslipp. Glass er dessuten et mer skadeutsatt materiale enn mange andre kledningsalternativer, og vil derfor ofte i praksis ha kortere levetid. Bruk av glassfasade bør derfor begrenses dersom klimagassutslipp skal minimeres. Glassarealer bør optimaliseres med hensyn til dagslys.

Det finnes så langt vi er kjent med ingen gode produktalternativer til glassfasade som har lavere klimagassutslipp og samtidig oppfyller samme funksjon. Glassfasade har en mer sammensatt funksjon som en del av ytterveggkonstruksjonen, sammenliknet med teglforblending eller trekledning. Derfor kan man ikke uten videre substituere arealer med glassfasade med andre kledningsløsninger uten å gjøre en mer inngående vurdering av hvordan materialbehovet i yttervegg endrer seg som en konsekvens av dette. Det er derfor ikke gjort noen endring i andelen glassfasade i lavutslippsbyggene, sammenliknet med referansenivået.

Det er kun for småhus at trekledning har vesentlig betydning for totale utslipp i modellbyggene (3 % av total masse og 4 % av totale utslipp A1-A3), ettersom de andre byggene i hovedsak er forutsatt med andre typer kledning som standard løsningsvalg. Trekledninger kan ha svært lave klimagassutslipp, spesielt ubehandlet eller lett behandlet tre (for eksempel jernvitrolbehandlet). Trekledning kan medføre økte utslipp i drift og vedlikehold, knyttet til maling og/eller utskifting av hel eller deler av kledningen. Levetiden til ubehandlede trekledninger er avhengig av type behandling og vedlikehold, men en eventuelt kortere levetid for trekledning vil generelt likevel ikke veie opp for utslippsdifferansen sammenliknet med glass- eller metallfasade. Et ubehandlet trepanel (21 mm) har typisk et klimagassutslipp fra produksjon på under 2 kg CO₂-ekv/m² panel, mot over 70 kg CO₂-ekv/m² for 2 mm aluminiumskledning laget av jomfruelig materiale, eller over 80 kg CO₂-ekv/m² med 3-lags glass. Ved valg av trekledning må man ta i betraktning hvor trevirket kommer fra, da flere kledningsleverandører importerer trevirke fra USA, Canada og New Zealand, noe som øker klimafotavtrykket. Varigheten til trefasade er også svært avhengig av lokalklimatiske forhold. Ved kysten har man for eksempel ofte brukt liggende panel, der man kan bytte ut de nederste plankene uten å kle om hele bygget. Det er trekledningsprodukter tilgjengelig på markedet som har god kvalitet og gir lang levetid, med rett vedlikehold. Kledning av malmfuru har generelt god nok kvalitet til å kunne ha svært lang levetid i bygget (tilsvarende byggets levetid).

I lavutslippsbyggene legger vi til grunn at all utvendig kledning, med unntak av glassfasade og fibersementplater utenfor grunnmur, er ubehandlet malmfurekledning. Utslipp er beregnet til 1.9 kg CO₂e/m², basert på laveste verdi for malmfuru i publiserte EPDer. Å erstatte malt trekledning med ubehandlet gir 68 % lavere utslipp per m², mens å erstatte teglkledning med ubehandlet trevirke gir hele 96 % lavere utslipp per m². Samlet sett for byggene medfører overgangen til ubehandlet trekledning 1.9 % utslippsreduksjon i snitt.

Takstein står for 7 % av total masse i modellbygget for småhus og 4 % av totale utslipp (er ikke brukt for de øvrige bygningskategoriene). Ubehandlet tre på tak i form av spontak/takshingel er et klimavennlig og tradisjonelt alternativ til takstein. Sponen er kløyvd radielt etter fibrene i treet og

legges med overlapp både i høyden og til siden, i forhold til rådende værretning på stedet. Kløyvd spon festet på lekt med rustfrie og syrefaste kramper (stifter). Sponen monteres på taket på tilsvarende måte som takstein, og gir dermed et tilsvarende estetisk uttrykk⁶². Ubehandlet trevirke utendørs blir raskt grått, og ettersom tak ofte får en jevn fukt- og solbelastning vil de normalt grånes jevnt. Tretak krever skrå takflater med et minimum fall som avhenger av utforming og detaljering. Kjerneved av furu, gran og osp er norske treslag som egner seg til bruk i tretak.

Det finnes ikke EPD for spontak, og faktisk produksjonstslipp er noe usikkert, men variasjonen i energibruk vil ha marginal betydning totalt for bygget. FDV-datablad fra Norsk Spon⁶³ sier at tradisjonell levetid for spontak var 50 år, men at festemidlene var den begrensende faktoren. Det antas at man ved å bruke korrosjonsbestandig innfesting vil kunne forlenge forventet levetid til å være tilsvarende som for bygget (60 år i vår analyse). Det finnes ifølge Grønn Materialguide mange eksempler på bygg i Norge med ubehandlede tretak som har stått i flere hundre år, og at funksjonell levetid for ubehandlede tretak er meget lang forutsatt at treet ikke har kontinuerlig fuktpåkjening og får tørke ut etter å ha blitt utsatt for fukt.

Referanseutslipp for takstein er 11.1 kg CO₂e/m², mens utslippsverdi for spontak av ubehandlet malmfuru er beregnet til 2.1 kg CO₂e/m². Dette gir 81 % lavere utslipp per m², men kun 1 % lavere totale utslipp for småhuset.

3.5.2.1. Ombruk av utvendige kledningsmaterialer

Utvendige kledningsmaterialer egner seg godt til ombruk, da deres viktigste funksjon; å beskytte huset mot sol, vær og vind, ikke har endret seg betraktelig i nyere tid. Ytterkledninger består også ofte av mindre komponenter som er «sydd» sammen, noe som er gunstig med tanke på at det ikke alltid er like lett å få store kvanta av de samme brukte komponentene. Det samme gjelder materialer til takteking; f.eks ombrukte takstein av tegl, skiferstein og metallplater.

- **Tre:** Brukt treverk egner seg godt til utvendig kledning, og det er mulig å bruke mange ulike typer treverk til dette formålet. I eksperimentboligene på Svartlamon har for eksempel en av selvbyggerne kledd deler av huset sitt med et brukt scenegulv. Ombrukt treverk på fasaden kan også bidra til å gjøre det mer synlig at bygget har benyttet ombrukskomponenter.
- **Tegl:** I dag brukes tegl først og fremst som kledningsmateriale, og ikke som bærende konstruksjon, og det er også her det er enklest å bruke gjenbrukstegl. De økonomiske og miljømessige produksjonskostnadene ved framstilling av murstein i tegl er relativt høye. Teglstein har imidlertid lang levetid (avhengig av kvalitet) og er et modulært produkt som passer godt til ombruk. Som en av få material-/produkttyper, er det via European Organisation for Technical Approvals utstedt en 'European Assessment Document' (EAD) for ombrukt murstein av tegl, som dermed gir grunnlaget for en frivillig European Technical Assessment (ETA) og CE-merking (Miljøstyrelsen 2018). Ombruk av murstein i tegl, som krever lite rensing og forbehandling (ikke ombrenning), kan potensielt ha en stor miljøeffekt. Ikke bare murstein, men også takstein av tegl kan også med fordel brukes igjen.

⁶² https://www.byggforsk.no/nyheter/2/slik_legger_du_tretak/1544

⁶³ <http://www.norskspn.no/#intro>

- **Stål og andre metaller:** Plater av stål og andre metaller egner seg godt til ombruk som ytterkledning og takteking. Det finnes f.eks. mye brukt bølgeblekk som er enkelt å få tak i. Bølgeblekk, galvaniserte stålplater med «bølgeform», er et materiale som mange tidligere forbandt med uthus og skur og andre bygg av lav kvalitet, og som dermed har hatt litt frynsete rykte, men som i dag begynner å komme inn i varmen igjen. Flere av eksperimentboligene på Svartlamon har takteking av brukt bølgeblekk som tidligere var brukt som låvetak, og den ene fasaden av fellehuset er kledd med det samme bølgeblekket.
- **Stein:** Kledning av stein, som skiferstein, har lenge blitt ombrukt på grunn av den høye kvaliteten og verdien på materialene. Når man rehabiliterer skifertak i dag er det ikke uvanlig å ta vare på de steinene som fortsatt er av god kvalitet, og kun bytte ut de steinene som er ødelagte.

3.5.3. Innvendige klednings- og dekkematerialer

3.5.3.1. Bygningsplater og gips

Gips har tidligere vært et mye utskjelt produkt i klimagass-sammenheng, noe som har ført til en betydelig forbedring hos gipsprodusenter i retning lavere utslipp, og i dag får man gipsplater med svært lave enhetsutslipp. Gipsplater står for 2-3 % av masse i modellbyggene, med unntak av for småhus, der gipsplater står for hele 13 % av massen. Utslipp fra gipsplater står for ca. 1.5 – 8 %

Gips oppfyller ofte flere funksjoner i bygget, både som konstruktivt og overflatemateriale, og for å tilfredsstille krav til lyddemping og brannmotstand. Følgelig er det ikke alltid mulig å erstatte gips med andre bygningsplater. I lavutslippsbyggene har vi derfor beholdt mengden gips tilsvarende som for referansenivåene, men lagt til grunn en utslippsverdi på 1.6 kg CO₂e/m² for lavutslippsbyggene (mot referanseverdi på 2.9 kg CO₂e/m²), basert på laveste verdi i publiserte EPDer. Dette utgjør en 45 % utslippsreduksjon per m², og 0.9 % reduksjon totalt i byggene, i gjennomsnitt.

Det er kun for småhus at andre typer innvendige bygningsplater (OSB og sponplate) utgjør en vesentlig andel av total masse (5 %) og utslipp (4 %). Enhetsutslipp for trebaserte bygningsplater varierer en del mellom platetyperne, men generelt lite mellom produkter av samme type. Referanseverdier for utslipp i modellbyggene er 4.3 kg CO₂e/m² for sponplate og 5 kg CO₂e/m² for OSB-plate. De ulike platetyperne har litt ulik funksjon i bygget, og har ulik overflate, som gir forskjellig uttrykk. I sammenlikningen av bygningsplater har vi kun sett på praktisk funksjon per m² plate. Krav til brann/akustikk og betydning for oppbygning av vegg er ikke mulig å vurdere på dette nivået, og vil alltid måtte vurderes spesielt for hvert bygg ut fra de kravene som stilles til bruk. Gjennom diskusjon med RIB har vi lagt til grunn at samtlige trebaserte bygningsplater erstattes med tynne (25mm massivtreplater) fra en produsent av massivtre med svært lave enhetsutslipp. Dette gir en robust løsning med lang levetid, og en overflate som kan forbli ubehandlet, og dermed unngå behov for ytterligere platekledning eller maling av estetiske hensyn. Utslipp per m² plate er beregnet til 1.1 kg CO₂e/m². Dette gir kun en svært liten total utslippsreduksjon i byggene på 0.2 % i snitt.

3.5.3.2. Gulvbelegg

I modellbyggene benyttes i hovedsak parkett og gulvteppe i tørre rom, og keramisk flis i våtrom. Vinyl og linoleum benyttes i mindre grad. Klimapåvirkning fra gulvbelegg er i stor grad avhengig av antall utskiftninger som er nødvendig gjennom byggets levetid. Dette avhenger imidlertid i stor grad av bruksmønster og vedlikeholds- og renholdsstrategi. Hvilke levetider vi har lagt til grunn for beregningene er gitt i Tabell 9, kapittel 3.2.4.2.

Keramisk flis har høye enhetsutslipp, så selv om fliser kun utgjør 0.1-3 % av total masse i byggene, bidrar de til opp mot 5 % av totale utslipp for enkelte bygningskategorier. Ettersom det er energiforbruk ifm. brenning av flisene som har størst betydning for utslipp, er det relativt liten

variasjon i utslipp mellom ulike produkter. Referanseutslipp for fliskledning, inkl. flislim er 17.4 kg CO₂e/m². Våtromsvinyl kan ha betydelig lavere enhetsutslipp enn fliser, og kan erstatte flis som innvendig kledningsmateriale både på gulv og vegg. Vinyl kan også redusere behovet for øvrige materialer, fordi det ikke er behov for påstøp eller trinnlyddemping under gulvbelegget. Vinyl kan også fungere som membran på våtrom slik at det ikke er nødvendig med ekstra membran. I Powerhouse Kjørbo unngikk man også å legge varmekabler i kjellergulvet, fordi vinyl oppleves som mindre kaldt enn fliser. Vi har derfor i stedet valgt å erstatte keramisk flis i våtrom med vinyl. Utslipp fra vinyl er basert på laveste verdi i publiserte EPDer, med verdi 5.3 kg CO₂e/m². Sammenliknet med keramisk flis har vinyl 70 % lavere utslipp per m², og å erstatte all flis med vinyl medfører en gjennomsnittlig utslippsreduksjon totalt for byggene på 5.3 %.

Gulvteppe benyttes i hovedsak der det er behov for trinnlyddemping, for eksempel i landskapszoner i kontorbygg. Det er derfor typisk i kontorbygg gulvteppe har størst betydning. Produksjonsutslipp for gulvteppe varierer mye (ca. 3-25 kg CO₂e/m²), så det er stort potensiale for å redusere utslipp ved å velge mer klimavennlige teppeprodukter. Referanseutslipp fra gulvteppe i modellene er på 9.1 kg CO₂e/m². I lavutslippsbyggene har vi benyttet en utslippsverdi for gulvteppe på 3.5 kg CO₂e/m², basert på laveste verdi i publiserte EPDer. Dette gir en 62 % utslippsreduksjon per m², og en 8.8 % utslippsreduksjon for kontorbygg.

Parkett og tregulv kommer ikke innenfor avgrensningen på 90 % av total masse, men har relativt høye enhetsutslipp (9.2 kg CO₂e/m² som referanseverdi), og faller innenfor 90 % avgrensning på utslipp for småhus, der det typisk brukes mye parkett. Potensialet for utslippsreduksjon per enhet er også relativt høyt dersom man erstatter parkett med linoleum, som typisk har lave enhetsutslipp. I lavutslippsbyggene har vi lagt til grunn at all parkett og tregulv erstattes med linoleum med utslippsverdi 2.9 kg CO₂e/m², basert på laveste verdi i publiserte EPDer. Utslippsreduksjon per m² er 68 %, men totalt for byggene gir dette kun en 0.5 % utslippsreduksjon totalt, i hovedsak fordi det benyttes relativt lite parkett i modellbyggene, samt at parkett har lave enhetsutslipp i utgangspunktet.

3.5.3.3. Ombruk av innvendige dekkematerialer og bygningsplater

Trepanel egner seg godt til ombruk. Innvendige dekkematerialer og bygningsplater kan også ombrukes, men har noen utfordringer.

Platematerialer av tre er enkle å bearbeide og har en rekke bruksområder, og kan f.eks. brukes som innerkledning, møbler, trapper, lister o.l. I Eksperimentboligene på Svartlamon har man anvendt ombrukt kryssfinér, MDF, gamle forskalingsplater i interiøret, og til og med filten som ble brukt i utstillingen av prosjektet på Nasjonalmuseet som himling.

En begrensning ved omsetning av brukte paneler, platematerialer osv, er at det kan være vanskelig å oppdrive opprinnelig dokumentasjon. Festemetoder er en annen utfordring: For eksempel er det nærmest umulig å demontere en gipsplate uten at den skades. En løsning kan være at platematerialer brukes til en funksjon som ikke setter samme krav til kvalitet; I KA13 er brukte himlingsplater i mineralull lagt over fast himling av treullsementplater, som ekstra lag med støydemper. To lag med brukte mineralullplater erstatter her 50 mm ny mineralull.

Ombrukt tegl kan brukes innvendig, og egner seg godt som vegger f.eks. Man kan også legge gulv av brukt tegl, som overflatebehandles med f.eks. linolje.

3.5.4. Isolasjonsmaterialer

Isolasjonsmaterialer kan ha høye enhetsutslipp. Mineralull står for 0.5-4 % av total masse, og 4-15 % av totale utslipp. Tilsvarende står EPS for 0.2-0.7 % av total masse, men 3-11 % av totale utslipp.

Utslippsfaktorer for isolasjonsprodukter varierer med trykkfasthet, tetthet og isoleringsevne. Høyere trykkfasthet (som også henger sammen med tetthet) og gir generelt høyere klimagassutslipp, som følge av høyere vekt. Behov for trykkfasthet og isoleringsevne er avhengig av bruksområde. For eksempel vil det ofte brukes isolasjonsplater med høye enhetsutslipp som følge av krav til trykkfasthet i yttervegg, mens isolasjon i innervegg ikke trenger å være trykkfast, og følgelig vil ha lavere utslipp. Dette peker også på et potensial for å redusere utslipp fra isolasjonsmaterialer ved å prosjektere på en slik måte at man reduserer behovet for trykkfast isolasjon, som samtidig tilfredsstiller bygningsfysiske krav. Dette må imidlertid ikke gå på bekostning av økt materialbruk i andre komponenter, eller gi redusert arealeffektivitet.

For markisolasjon benyttes det som regel alltid EPS, eller alternativt XPS, av hensyn til trykkfasthet og fuktbestandighet. XPS har som regel vesentlig høyere produksjonsutslipp enn EPS. EPS bør derfor alltid velges fremfor XPS, med mindre det er spesielle hensyn til fuktbestandighet som ikke kan oppfylles av EPS. Modellbyggene inneholder kun EPS som markisolasjon (ikke XPS). EPS har igjen betydelig høyere produksjonsutslipp enn mineralull. Det finnes imidlertid ingen alternativer til EPS til bruk som markisolasjon som tilfredsstiller samme tekniske krav. Glasopor kan brukes, men vil typisk øke volumbehovet vesentlig. Det finnes heller ikke miljødokumentasjon som indikerer et vesentlig potensial for å redusere utslipp gjennom valg av mer klimavennlige EPS-produkter. Derfor har vi valgt å ikke gjøre endringer i produktvalg eller utslippsfaktorer for markisolasjon i lavutslippsbyggene.

For mineralullisolasjon vil glassull typisk ha lavere utslipp enn steinull, fordi glassull ofte fremstilles fra en høy andel resirkulert glass. En gjennomgang av de mest vanlige isolasjonsproduktene på det norske markedet indikerer følgende spenn i utslipp:

Tabell 15 Typiske verdier for produksjonsutslipp fra mineralullisolasjon for mest brukte produkter på det norske byggevaremarkedet

Type produkt	kg CO ₂ e/m ³ isolasjon A1-A3	
	Glassull	Steinull
Standard	13	35
Murplate	21.5	48.5
Veggplate	37	80

I modellbyggene er det lagt til grunn at all mineralullisolasjon er steinull. Murplate benyttes i hovedsak ved murt teglforbledning, for å beskytte det bakenforliggende bindingsverket og vindspærre mot mørtelsøl. Vanlig tykkelse er 50 mm.

Vi har derfor lagt til grunn referanseverdier for utslipp fra mineralullisolasjon i modellbyggene tilsvarende som i Tabell 15. Klimavennlige alternativer til mineralullisolasjon er blant andre isolasjonsprodukter basert på trefiber eller cellulose. Vi har imidlertid ikke funnet produkter som kan dokumentere lavere utslipp per volum med tilsvarende isolasjonsevne som det beste glassullproduktet på markedet.

I bindingsverksvegger kan mineralullisolasjon av typen Standard benyttes. Fordi vegger i modellbyggene i hovedsak er bindingsverk, og det ikke er lagt til grunn teglkledning for noen av lavutslippsbyggene, medfører dette at vi kan legge til grunn den laveste utslippsverdien for glassull for all isolasjon i vegger for lavutslippsbyggene. Mineralullisolasjon i tak er uendret i lavutslippsbyggene, fordi krav til trykkfasthet gir liten mulighet til alternative, mer klimavennlige produktvalg uten at takløsningen endres. Samlet sett gir disse endringene en gjennomsnittlig utslippsreduksjon på 1.4 % i byggene i snitt.

3.5.4.1. Ombruk av isolasjonsmaterialer

Det er lang tradisjon for at gjenvundne/nedsirkulerte materialer brukes til å lage isolasjonsmaterialer, tidligere f.eks. gamle aviser eller ullrester, i dag f.eks. cellulose og glasseballasje, men det er mer utfordrende å ombruke isolasjonsmaterialer direkte. Det meste av brukt isolasjon som finnes på markedet i dag dreier seg om overskuddsmaterialer fra byggeplass, eller trykkfast og fuktbestandig isolasjon, som plater av EPS osv. Løsmasser av glasopor, lecastein osv. og markisolasjon bør også kunne ombrukes.

3.6. Vurdering av potensiale for videreføring av bygningsdeler ved totalrehabilitering

Potensial for utslippskutt ved rehabilitering i kombinasjon med klimavennlige materialer vil avhenge av hvor stor andel av bygningsmassen som kan forventes å bevares i en rehabilitering, kombinert med potensialet for å redusere utslipp i nye bygningselementer ved bruk av mer klimavennlige materialer.

For å vurdere hvilke deler av bygningskroppen som kan bevares i en totalrehabilitering, har vi sett på de 8 rehabiliteringsprosjektene som inngikk i sammenstillingen av tidligere klimagassberegninger for bygg i Osloområdet som ble gjort for Oslo Kommune Klimaetaten (se kapitler 2.3.1.1 og 3.8). Omfanget av rehabilitering varierer noe for disse byggene, men for de av prosjektene som har gjennomført en omfattende rehabilitering, har samtlige i stor grad bevart bæresystemer og dekker. For de fleste av byggene inkluderer dette også takkonstruksjon, og også deler av yttervegg/fasade. Innervegger er derimot ikke bevart.

En sammenlikning av beregnede utslipp per bygningsdel med referansenivåene per bygningskategori presentert i kapittel 3.3 gir en pekepinn på hvor stor andel av total materialbruk som er bevart, og hvor mye nye materialer som er tilført (for eksempel i form av nye innvendige kledningsmaterialer). På grunnlag av dette, og vår erfaring med rehabiliteringsprosjekter, har vi for hver bygningsdel anslått forventede utslipp som prosentandel av utslipp, sammenliknet med ny bygningsdel, gitt tilstrekkelig god tilrettelegging. Det understrekes at dette er anslag med relativt høy usikkerhet, og at faktisk grad av rehabilitering avhenger av prosjektspesifikke forhold, som bruksområde, tekniske krav, og ikke minst byggets alder og tilstand før rehabilitering.

Tabell 16 Vurdering av forventede utslipp ved totalrehabilitering, gitt som prosentandel av utslipp for ny bygningsdel. Kun bygningsdeler som forutsettes videreført i noen grad i nytt bygg er vist.

Bygningsdel		Andel av utslipp, sammenliknet med ny bygningsdel
Bæresystem	Søylar	5 %
	Bjelker	5 %
Yttervegger	Bærende yttervegger	5 %
	Utvendig kledning og overflate	50 %
Innervegger	Bærende innervegger	5 %
Dekker	Frittstående dekker	5 %
	Gulv på grunn	5 %
Yttertak	Primærkonstruksjon	60 %

3.7. Vurdering av maksimalt ombrukspotensiale

Formålet er å vurdere hvor mye lavere man kommer i utslipp fra materialbruk med ombruk i tillegg til å benytte de mest klimavennlige nyproduserte materialene. Vi har tatt derfor tatt utgangspunkt i lavutslippsbyggene for beregningene av potensialet for utslippsreduksjon ved ombruk, presentert i kapittel 3.9.5.

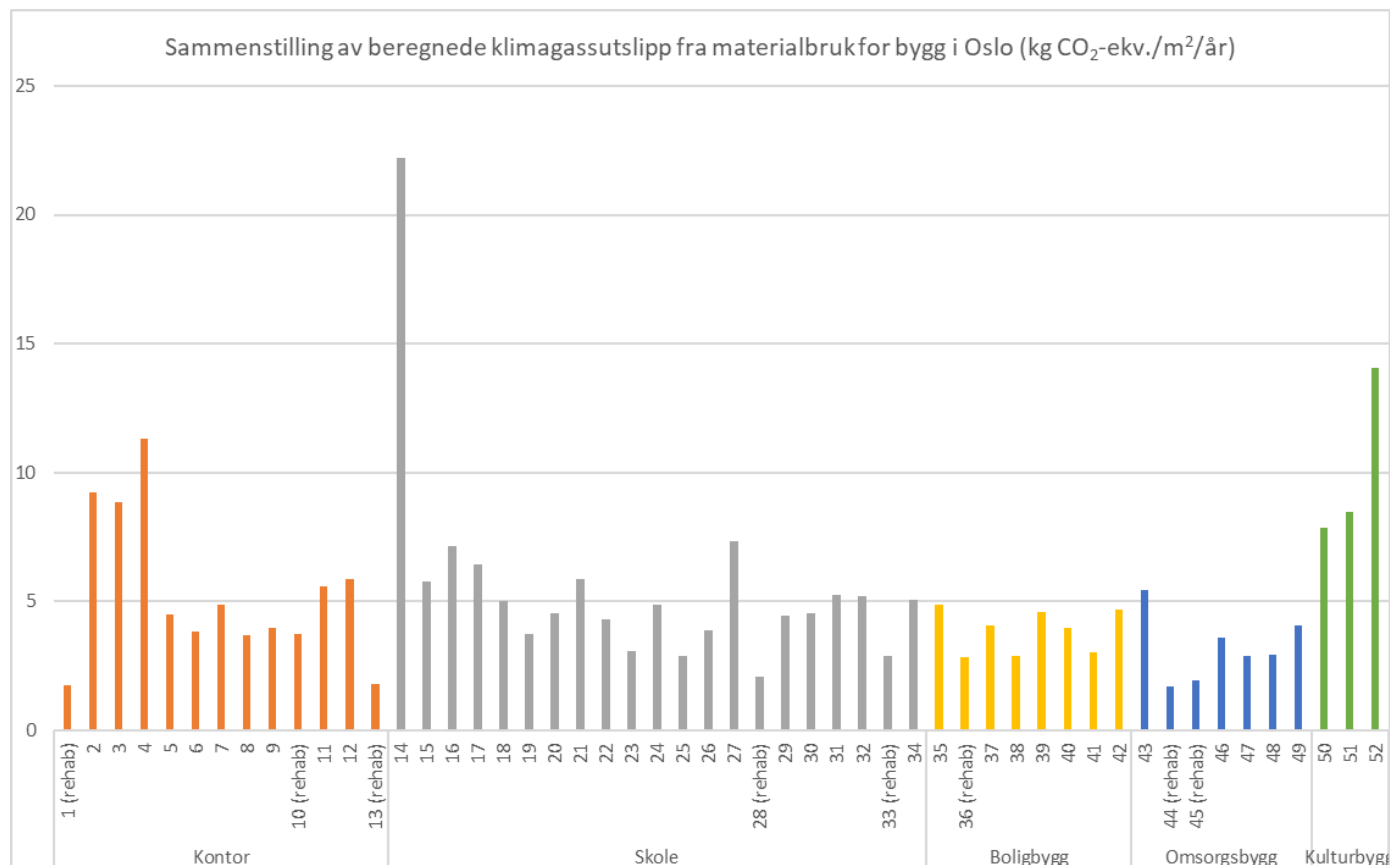
Tabell 17 Vurdering av maksimalt teoretisk potensiale for ombruk i nye bygg, gitt som andel av bygningskomponenter der ombruk erfaringsmessig er mulig

Bygningsdel	Komponenter som kan erstattes med ombruksmaterialer	Maksimal andel av komponent som kan bestå av ombruksmaterialer
Bæresystem	Stålsøyler	80 %
	Stålbjelker	80 %
Yttervegger	Utvendig kledning og overflate (ikke. lekter)	100 %
Dører og vinduer	Vinduer og glassfelt	50 %
	Innerdører med lyd/ brannkrav	40 %
Innervegger	Kontorfronter i glass (hele felter, eller evt. bare glass - hvis laminert, kan det kappes)	50%
Dekker	Frittstående dekker, hulldekker	100%
	Himlingsplater	90 %
	Gulvbelegg: Teppeflis	60 %
	Tregulv/parkett (hvis flytende gulv)	60 %
Ytterak	Primærkonstruksjon (betong/naturstein, ikke lekter)	100%
Trapper og balkonger	Trapper, rekkverk	20%

Som nevnt i kapittel 2.3.6, har standard praksis i LCA vært å regne produksjonsutslipp fra ombrukte byggematerialer lik null. Det finnes ikke tilstrekkelig datagrunnlag til å anslå utslippseffekten knyttet til aktiviteter knyttet til demontering, bearbeiding, transport og evt. mellomlagring av ombruksmaterialer. For å hensynta at ombruk også har en utslippskonsekvens, har vi som en tilnærming valgt å legge til grunn enhetsutslipp for ombruksmaterialer tilsvarende 15 % av nyproduserte materialer av samme type.

3.8. Beregnet potensiale for utslippskutt i tidligere rapporter

Asplan Viak gjennomførte i 2019/20 en kartlegging av tidligere utførte klimagassberegninger for prosjekter i Osloområdet, på oppdrag for Klimaetaten i Oslo⁶⁴. Sammenstillingen omfattet beregninger fra 2010 til 2019 for 52 bygg.

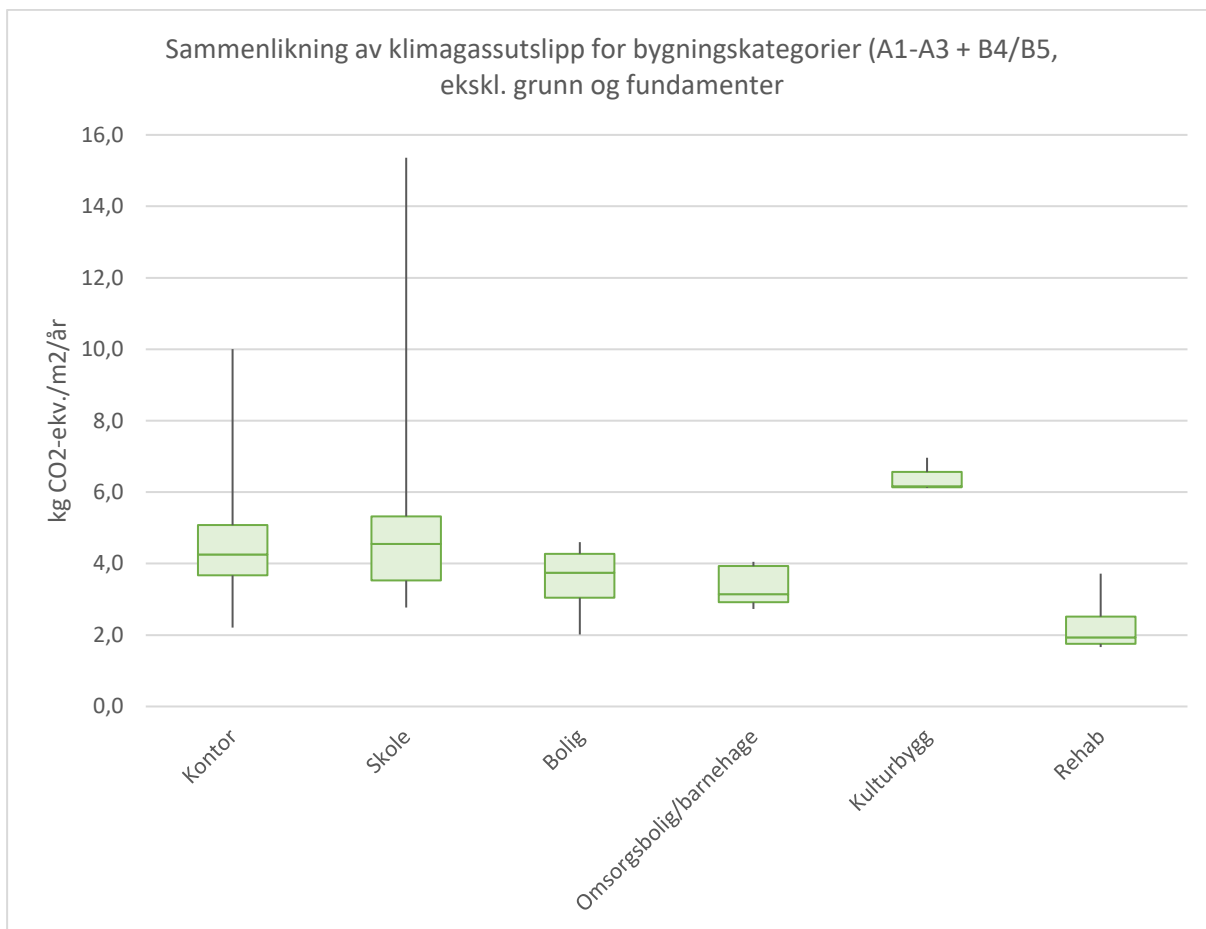


Figur 27 Sammenstilling av klimagassberegninger fra materialbruk for bygg oppført i Oslo-området, gruppert iht. bygningstype. Beregninger omfatter livsløpsfaser A1-A3 + B4/B5. Prosjektene er anonymisert og angitt med nummerering.

For de prosjektene i sammenstillingen der det var gjennomført sammenligning mot referansebygg, viste resultatene en gjennomsnittlig reduksjon av utslipp fra materialbruk på ca. 30 %, og ca. 40 % dersom man så bort fra de prosjektene som oppga like eller høyere beregnede utslipp fra materialbruk enn sine referansebygg. Dette gir et bilde på hva som har vært oppnåelig i nye byggeprosjekter i Oslo.

Sammenstillingen inneholdt beregninger for 8 rehabiliteringsprosjekter (merket «rehab» i Figur 27). Som vist, ligger beregnede utslipp fra materialbruk for disse prosjektene generelt betydelig lavere enn nybyggprosjektene, som vist i Figur 28:

⁶⁴ https://www.klimaoslo.no/wp-content/uploads/sites/88/2020/09/Kartlegging-av-klimagassberegninger-for-bygg-og-anlegg-i-Oslo_endelig.pdf



Figur 28 Sammenstilling av spenn i beregnede klimagassutslipp, per bygningskategori. Bokser for hver kategori angir spenn mellom 25. og 75. persentil i resultatene, samt medianverdi. Strekene angir minimums- og maksimumsverdier.

I utredning av utslippsnivåer for nesten nullenergibygg (nNEB) i mulig ny modellinnretning i TEK anbefalte Asplan Viak, Civitas og NTNU følgende reduksjoner, sammenliknet med referansenivå for bygningskategoriene som ble vurdert i utredningen, samlet for A1-A4 + B4/B5:

Kontor: - 30 %

Boligblokk: -30 %

Småhus: -10 %

Den foreslåtte modellinnretningen i TEK som lå til grunn for utredningen skulle være fleksibel på den måten at krav kunne nås enten gjennom energi- eller materialtiltak. Hensikten med nNEB-nivåene var derfor å anslå rammenivåer som ville være ambisiøse, men ikke uoppnåelige. Fordi utredningen gjaldt krav i TEK, gjaldt også vurderingen for bygg generelt i Norge. Bakgrunnen for at man anbefalte et lavere reduksjonsmål for småhus, var at småhus i Norge ofte oppføres med en relativt enkel konstruksjon og med utstrakt bruk av tre, som gjør det mer utfordrende å finne grep som reduserer utslipp fra materialbruk.

3.9. Potensiale for reduserte utslipp fra materialbruk i bygg ved bruk av klimavennlige materialer

3.9.1. Potensiale for utslippsreduksjon i nye lavutslippsbygg

Beregnete klimagassutslipp fra materialbruk i for lavutslippsbygg, basert på forutsetningene beskrevet i kapittel 3.2, er gitt i Tabell 18 og Tabell 19:

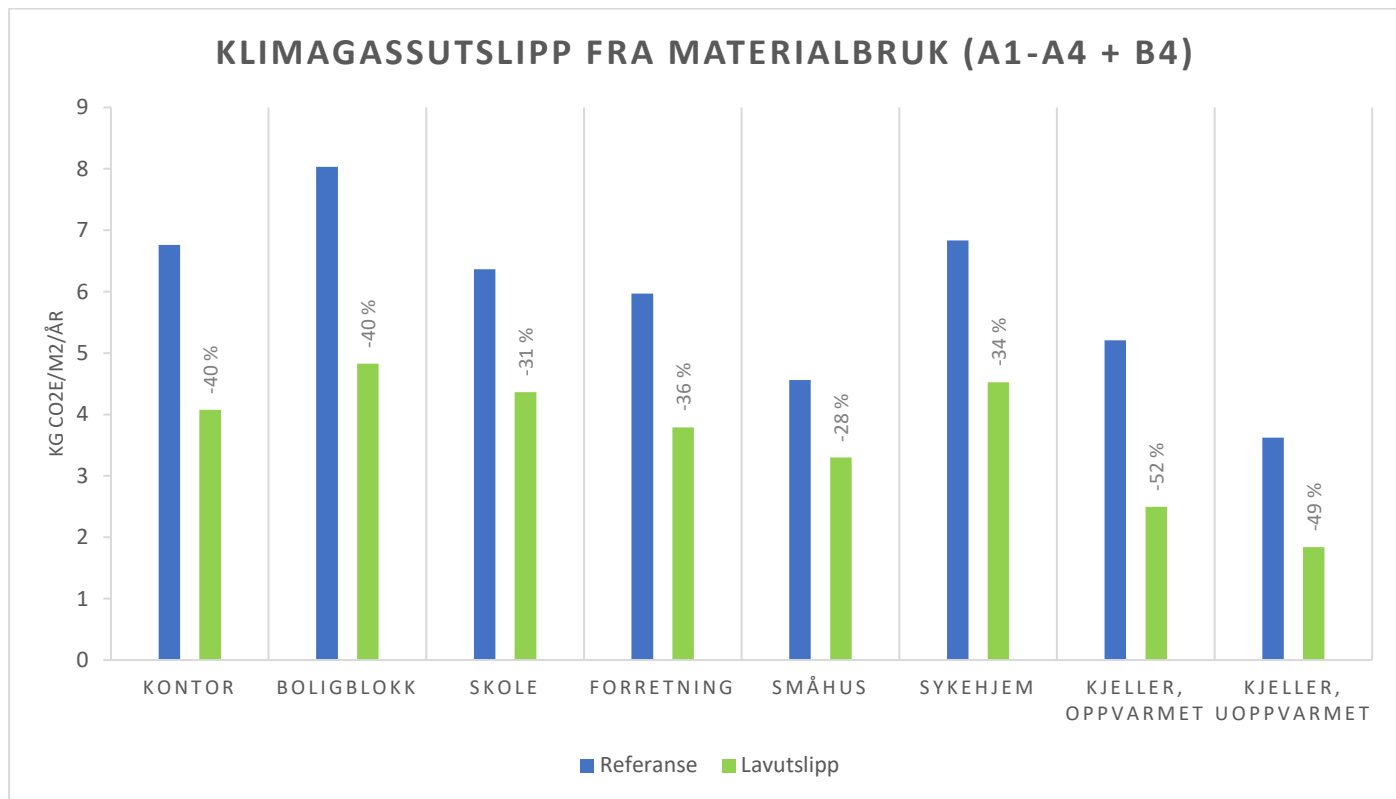
Tabell 18 Beregnede klimagassutslipp fra materialbruk for lavutslippsbygg, per areal (BTA) og år for 60 års beregningsperiode, fordelt på livsløpsfaser

Livsløpsfase	Klimagassutslipp per areal og år, for 60 års beregningsperiode (kg CO ₂ e/m ² BTA/år)							
	KONTOR	BOLIG-BLOKK	SKOLE	FORRETNING	SMÅHUS	SYKEHJEM	KJELLER, oppvarmet	KJELLER, uoppvarmet
Materialproduksjon (A1-A3)	2.32	2.61	2.37	2.10	1.47	2.49	1.68	1.37
Transport (A4)	0.67	1.04	0.69	0.69	0.50	0.80	0.46	0.39
Utskifting (B4)	1.09	1.18	1.29	1.01	1.33	1.24	0.36	0.08
SUM	4.08	4.83	4.36	3.79	3.30	4.52	2.49	1.84

Tabell 19 Beregnede klimagassutslipp fra materialbruk for lavutslippsbygg, per areal (BTA) totalt for 60 års beregningsperiode, fordelt på livsløpsfaser

Livsløpsfase	Klimagassutslipp per areal (kg CO ₂ e/m ² BTA)							
	KONTOR	BOLIG-BLOKK	SKOLE	FORRETNING	SMÅHUS	SYKEHJEM	KJELLER, oppvarmet	KJELLER, uoppvarmet
Materialproduksjon (A1-A3)	139	156	142	126	88	149	101	82
Transport (A4)	40	62	42	41	30	48	27	23
Utskifting (B4)	65	71	78	60	80	74	22	5
SUM	245	290	262	227	198	271	150	110

Beregnet utslippsreduksjon for lavutslippsbygg, sammenliknet med referansenivåene presentert i kapittel 3.3, er presentert i Figur 29:

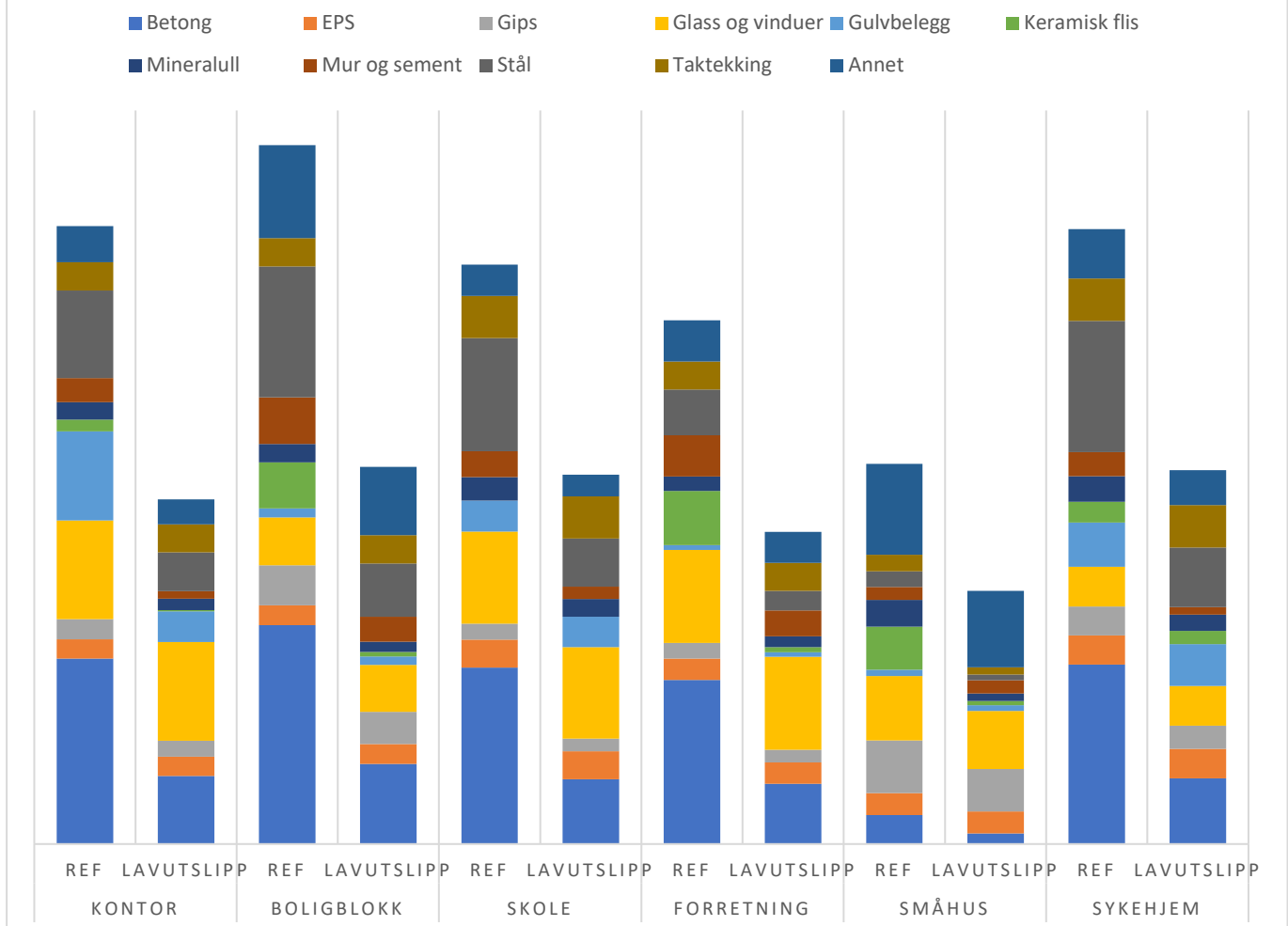


Figur 29 Sammenlikning av klimagassutslipp fra materialbruk (A1-A4 + B4) for referansenivå og lavutslippsbygg

Beregnet reduksjon varierer fra 28 % for småhus, til 52 % for oppvarmet kjeller. Dersom vi ser bort fra kjellerne, finner vi den høyeste beregnede reduksjonen for kontor og boligblokk (40 %). I gjennomsnitt for bygningskategoriene (ekskudert kjeller), er beregnet utslippsreduksjon for lavutslippsnivå, 35 %, sammenliknet med referansenivåene.

Modellbyggene for kjeller består i hovedsak av betong, og derfor ser vi en stor beregnet reduksjon for disse. Figur 30 viser sammenlikning av referansenivå og lavutslippsnivå, inndelt per materialtype. Kategorien «Annet» omfatter materialtyper som har bidrag til utslipp som er for små til å vises på figuren, dette omfatter dører, fasadeplater, maling, plast, tegl, tre og vinduer:

KLIMAGASSUTSLIPP FRA MATERIALBRUK, PER MATERIALGRUPPE

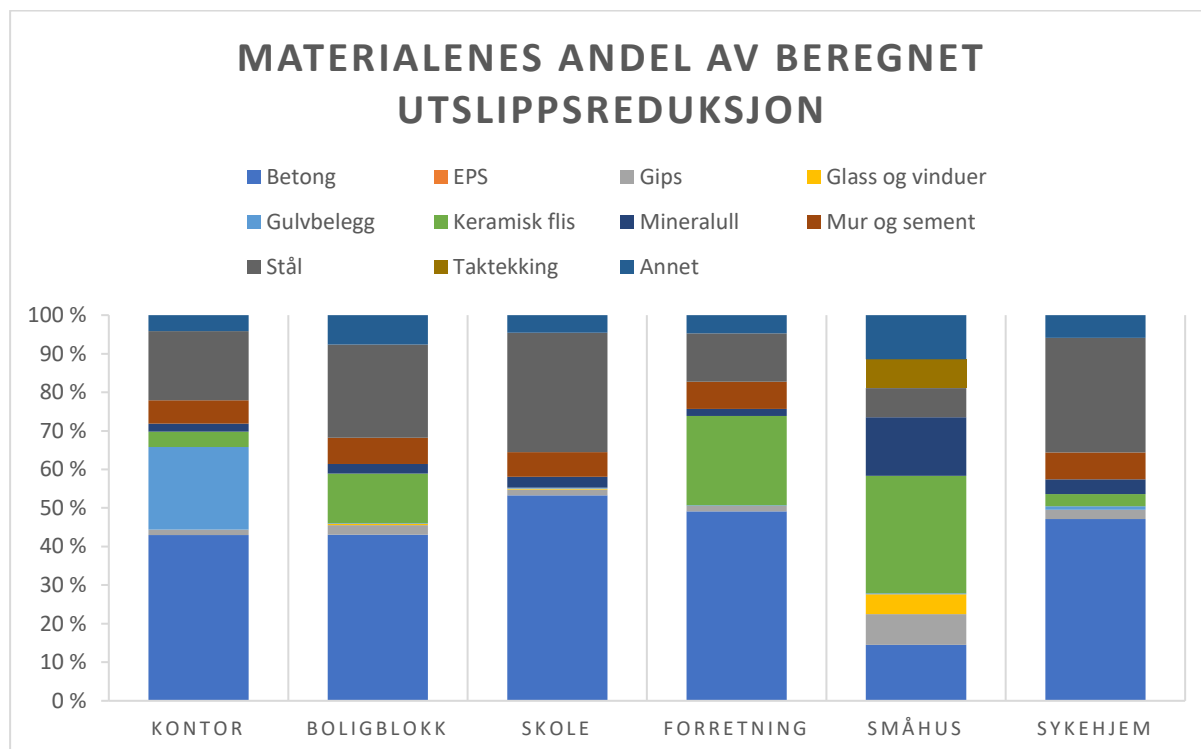


Figur 30 Sammenlikning av klimagassutslipp fra materialbruk, per materialgruppe, for referansenivå og lavutslippsbygg. Kjellere er utelatt ev hensyn til lesbarhet. Kategorien «Annet» omfatter materialtyper som har bidrag til utslipp som er for små til å vises på figuren.

Småhus er bygget opp med relativt klimavennlige materialer, i stor grad konstruksjonsvirke, slik at reduksjonspotensialet i utgangspunktet er lavere. Dette gjenspeiles i at småhuset har de laveste utslippene per m² BTA av alle bygningskategoriene (med unntak av uoppvarmet kjeller).

Mengden betong og stål i byggene (se blå og mørkegrå felt i søylene) har stor betydning for beregnet reduksjonspotensiale, men er ikke de eneste faktorene som påvirker. Byggene har ulike løsninger og materialsammensetning (se Vedlegg 1). Kombinasjonen av ulike mengdesammensetning og ulike reduksjoner per materialgruppe (dokumentert i kapittel 3.5) gir forskjellig utslag for hver bygningskategori. Den relative betydningen reduksjonen innen hver materialkategori har for total beregnet reduksjon per bygningskategori er vist i Figur 31. Figuren viser altså hvor stor betydning hver materialgruppe har for beregnet reduksjon. Her fremgår det tydelig at å redusere betongutslipp har stor betydning (43-47 % av beregnet reduksjon, med unntak av for småhus, der betong bare står for 15 % av reduksjonen). Stål (armering og konstruksjonsstål) står for 8-30 % av beregnede reduksjoner. Utover dette er det verdt å merke seg betydningen av reduserte utslipp fra gulvbelegg

for kontor (21 % av beregnet reduksjon), og keramisk flis for boligblokk, forretning og småhus (hvh. 13 %, 23 % og 30 % av beregnet reduksjon).



Figur 31 De ulike materialgruppene's andel av total beregnet utslippsreduksjon for hver bygningskategori (kjellere er utelatt ev hensyn til lesbarhet). Kategorien «Annet» omfatter materialtyper som har bidrag til utslipp som er for små til å vises på figuren.

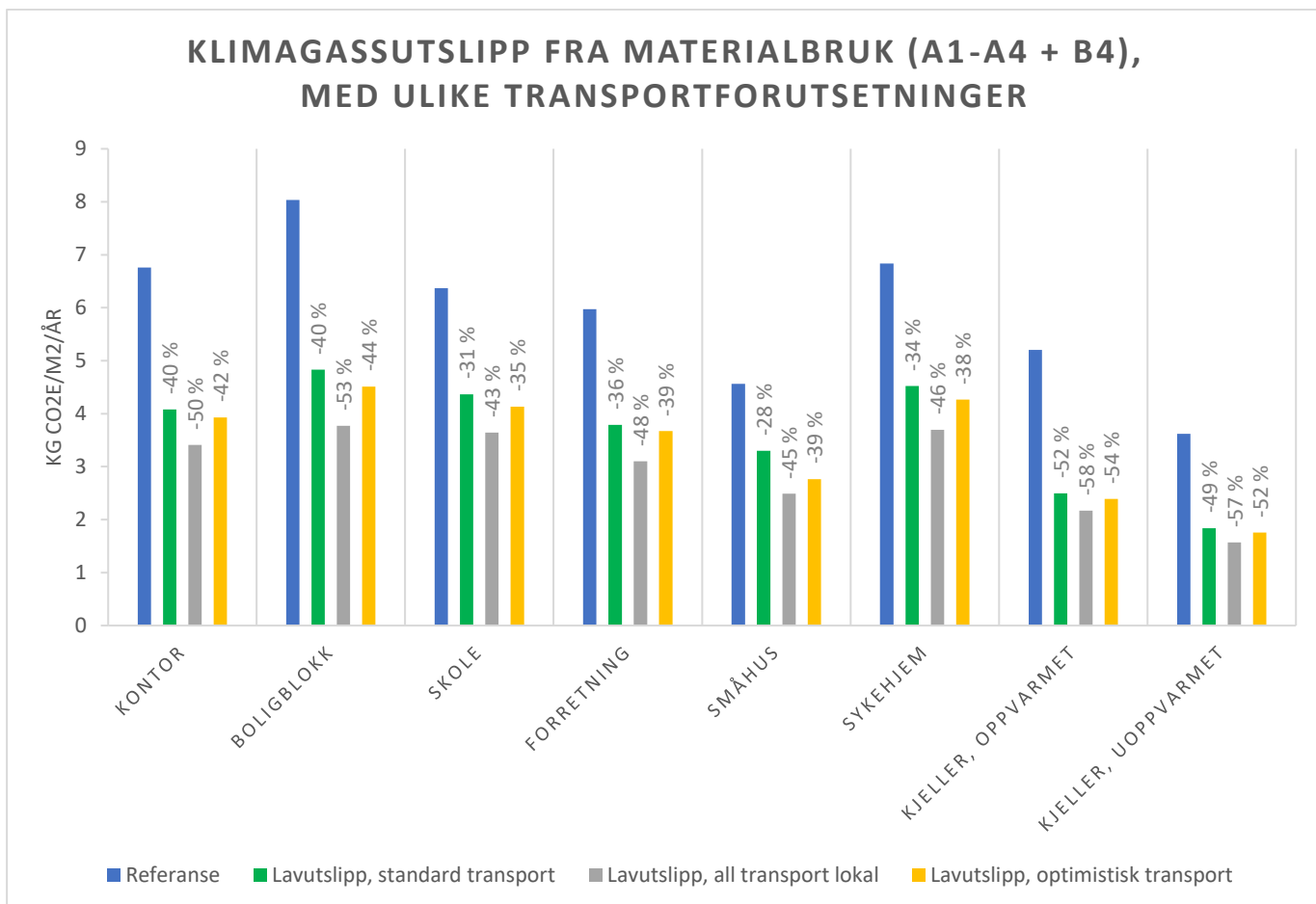
3.9.2. Potensiale for utslippsreduksjon ved å etterspørre lokale materialer

I beregningene for lavutslippsbyggene har vi holdt transportdistanse for materialene lik som for referansenivåene. For å vurdere hvilken ekstra utslippsreduksjon som vil kunne oppnås dersom man i tillegg etterspør mest mulig kortreiste materialer, har vi gjort beregninger for lavutslippsbyggene med kortere transportdistanser enn det som er gitt i Tabell 7 (kapittel 3.2.4.2). I scenario «all transport lokal» har vi lagt til grunn at samtlige varer anskaffes fra lokale produsenter, dvs. innenfor en distanse på 50 km. Dette vil ikke være praktisk gjennomførbart, ettersom mange av materialene som inngår i byggene ikke produseres i Norge. Scenarioet er imidlertid inkludert for å vise betydningen av forutsetningene for transport av materialer, som en følsomhetsvurdering. I scenario «optimistisk transport» har vi lagt til grunn at alle varer som produseres i Norge kan anskaffes innenfor en distanse på 500 km.

Dette omfatter alle materialgrupper, med følgende unntak:

- Konstruksjonsstål
- Glass
- Keramisk flis
- Tegl

Resultater for referansenivå, lavutslippsnivå, lavutslippsnivå med lokal transport og lavutslippsnivå med optimistisk transport er vist i Figur 32:

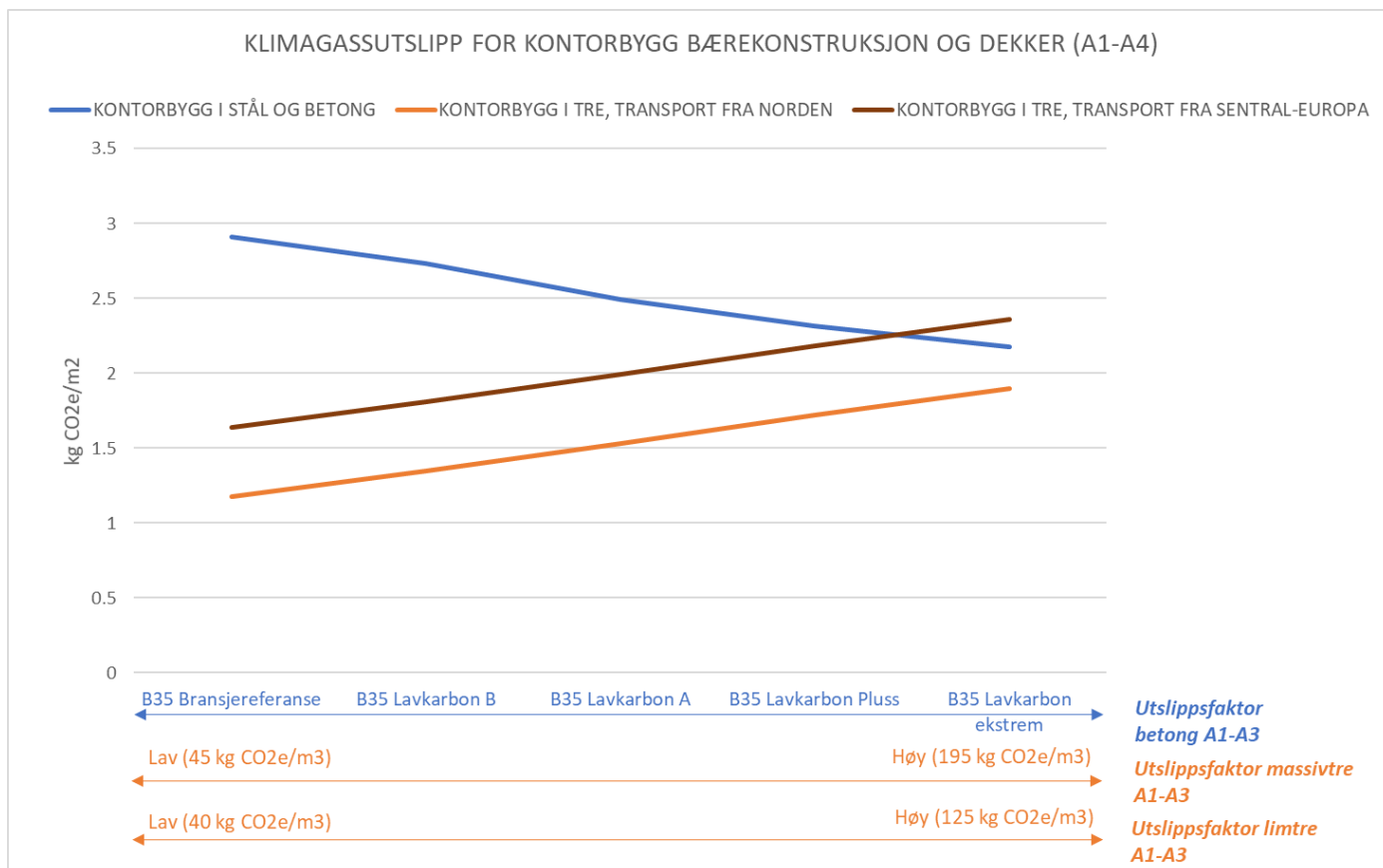


Figur 32 Sammenlikning av klimagassutslipp fra materialbruk (A1-A4 + B4) for referansenivå med lavutslippsbygg, for ulike forutsetninger om transport av byggematerialer

Figur 32 viser at forutsetningene om transportdistanser for materialer har stor betydning for beregningsresultatene. Dersom en betydelig større andel av materialene kan anskaffes fra Norge, sammenliknet med det vi har lagt til grunn i hovedberegningene, øker beregnet reduksjonspotensiale fra 35 % til 39 % i snitt for bygningskategoriene (ekskudert kjeller).

3.9.3. Sammenlikning av bærekonsept for kontorbygg

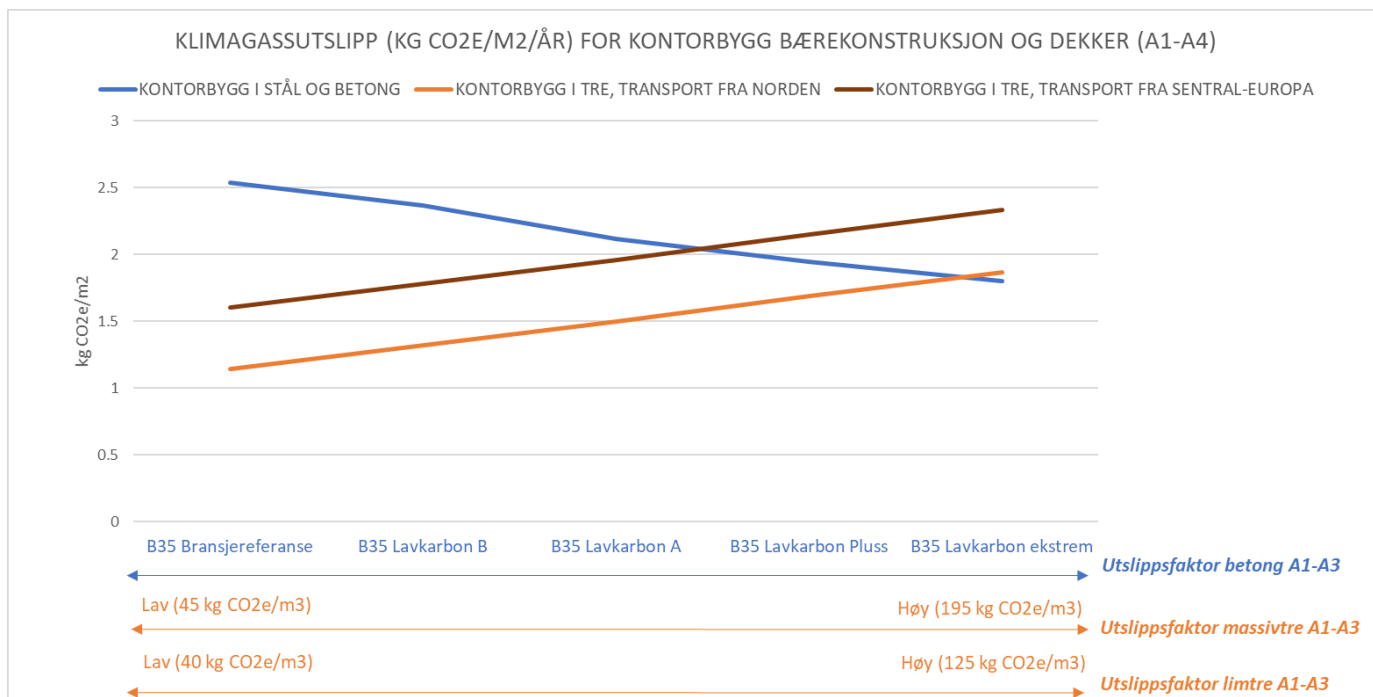
Som beskrevet i kapittel 3.2.3, har vi gjort beregninger av bærekonstruksjon for et enkelt kontorbygg (med samme bygningsgeometri som i modellbyggene), for å vise potensialet som ligger i endrede løsningsvalg. Beregningene er gjort for bæresystem i stål/betong og i tre, for et spenn i utslippsfaktorer både for betong og massivtre/limtre, og to ulike transportdistanser for tre. Beregningsresultater er vist i Figur 33:



Figur 33 Sammenlikning av klimagassutslipp fra materialbruk i bæresystem og dekker for kontorbygg i betong/stål og i tre, med for et spenn i utslippsfaktorer for betong og tre og ulike transportdistanser for tre

Utslippsforskjellen mellom alternativene varierer fra 60 % lavere utslipp for løsningen i tre (laveste utslippsfaktorer, betong bransjereferanse, tre transportert fra leverandør i Norden), til 9 % høyere utslipp (høyeste utslippsfaktor for tre, betong lavkarbon ekstrem, tre transportert fra leverandør i Sentral-Europa), sammenliknet med løsningen i stål og betong. Dersom det benyttes treprodukter fra Norden vil bærekonsept i tre ha lavest utslipp, uavhengig av hvilke utslippsfaktorer som velges.

Skjæringspunktene mellom kurvene viser at betong må ha lavere enn lavkarbon pluss, og at det må benyttes massivtre/limtre som fraktes langt (og har høye enhetsutslipp) for at bærekonstruksjon i betong skal ha lavest utslipp. I beregningen vist i Figur 33 har vi lagt til grunn referansenivåer for utslipp fra armering og konstruksjonsstål. Derfor har vi også gjort beregninger med utslippsfaktorer for konstruksjonsstål og armering tilsvarende de mest klimavennlige produktene på markedet (dvs. tilsvarende det som er lagt til grunn for lavutslippsbyggene).



Figur 34 Sammenlikning av klimagassutslipp fra materialbruk i bæresystem og dekker for kontorbygg i betong/stål og i tre, med for et spenn i utslippsfaktorer for betong og tre, ulike transportdistanser for tre, og mest klimavennlige armeringsstål og konstruksjonsstål

Figur 34 viser at betingelsen for at bærekonstruksjon i betong og stål skal gi lavere utslipp enn tre når man benytter de mest klimavennlige stålproduktene på markedet, er at betongen har utslipp lavere enn lavkarbonklasse A, og at det benyttes massivtre med høyere enhetsutslipp enn 120 kg CO₂e/m³ og med lang transport i A4. Dersom treproduktene stammer fra produsent i Norden, og det benyttes lavkarbonklasse Ekstrem, vil betongløsningen være så vidt bedre enn løsningen i tre.

Det understrekes likevel at beregningene ikke er ment som kun en sammenlikning av tre og betong, men for å vise betydningen av å endre løsningsvalg for utslippsreduksjon. For å vurdere effekten i kontekst av et komplett bygg har vi lagt til utslipp for de øvrige bygningsdelene fra beregnet referansenivå for kontor. Når vi legger til utslipp for flere bygningsdeler blir den relative betydningen av bærekonstruksjonen mindre, som også gjør at differansen mellom løsningene minsker. For et komplett bygg anslår vi at potensialet for utslippsreduksjon som følge av å endre bærekonsept vil ligge i størrelsesorden 10-30 %.

Bruk av betong og tre i bærekonstruksjoner og dekker har stor betydning for behov for tilleggsmaterialer for å tilfredsstille brann- og akustikkkrav. Typisk vil man ha behov for å kle inn deler av bygget innvendig med gipsplater for å oppnå samme tekniske krav for trebygg, som for en konstruksjon i betong. For å vurdere hvilket utslag dette vil gjøre for løsningen vi har vurdert, har vi regnet om differansen i utslipp mellom de to løsningene til en ekvivalent mengde gips, og sammenliknet dette med tilgjengelig innvendig areal (inkludert areal av bjelker og søyler). Dersom vi forutsetter at det benyttes lavkarbonklasse B med stål med høy resirkuleringsgrad i betongbygget, og at trebygget benytter massivtre med produksjonsutslipp 120 kg CO₂-ekv./m³ som fraktes fra Sentral-Europa, vil utslippsdifferansen mellom de to løsningene tilsvare at alle innvendige flater i trebygget (inkludert areal av bjelker og søyler) kan kles inn med 4 lag branngips (medregnet én utskifting av gips i løpet av byggets levetid).

3.9.4. Potensiale for utslippsreduksjon i rehabiliterte lavutslippsbygg

Potensialet for bevaring av bygningsdeler i bygg som totalrehabiliteres er anslått i kapittel 3.6. Vi har tatt utgangspunkt i lavutslippsbyggene for å vurdere hvor mye lavere man kommer i utslipp fra materialbruk med rehabilitering i kombinasjon med de mest klimavennlige nyproduserte materialene.

Beregningsresultater for klimagassutslipp fra materialbruk for rehabiliterte lavutslippsbygg er gitt i Tabell 20 og Tabell 21:

Tabell 20 Beregnede klimagassutslipp fra materialbruk for rehabiliterte lavutslippsbygg, per areal (BTA) og år for 60 års beregningsperiode, fordelt på livsløpsfaser

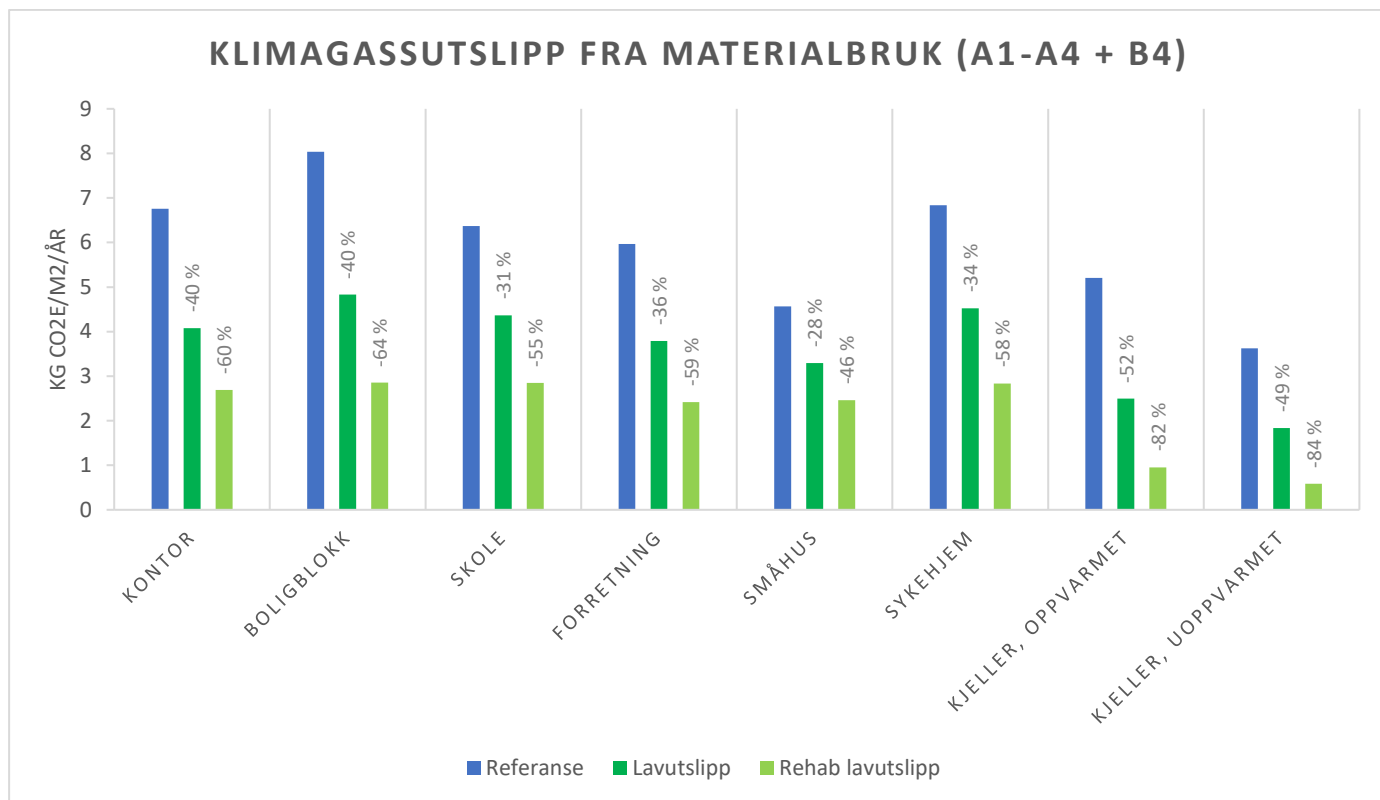
Livsløpsfase	Klimagassutslipp per areal og år, for 60 års beregningsperiode (kg CO ₂ e/m ² BTA/år)							
	KONTOR	BOLIG-BLOKK	SKOLE	FORRETNING	SMÅHUS	SYKEHJEM	KJELLER, oppvarmet	KJELLER, uoppvarmet
Material-produksjon (A1-A3)	1.29	1.25	1.24	1.10	0.82	1.25	0.50	0.42
Transport (A4)	0.31	0.42	0.31	0.31	0.31	0.35	0.10	0.09
Utskifting (B4)	1.09	1.18	1.29	1.01	1.33	1.24	0.36	0.08
SUM	2.69	2.85	2.85	2.42	2.46	2.84	0.95	0.59

Tabell 21 Beregnede klimagassutslipp fra materialbruk for rehabiliterte lavutslippsbygg, per areal (BTA) totalt for 60 års beregningsperiode, fordelt på livsløpsfaser

Livsløpsfase	Klimagassutslipp per areal (kg CO ₂ e/m ² BTA)							
	KONTOR	BOLIG-BLOKK	SKOLE	FORRETNING	SMÅHUS	SYKEHJEM	KJELLER, oppvarmet	KJELLER, uoppvarmet
Material-produksjon (A1-A3)	77	75	75	66	49	75	30	25
Transport (A4)	19	25	19	18	19	21	6	5
Utskifting (B4)	65	71	78	60	80	74	22	5
SUM	161	171	171	145	147	170	57	35

En sammenlikning av referansenivåer for klimagassutslipp fra materialbruk med lavutslippsbygg og rehabiliterte lavutslippsbygg er vist i Figur 35. Resultatene viser et gjennomsnittlig beregnet potensiale for utslippsreduksjon i rehabiliterte lavutslippsbygg på 57 %, i snitt for bygningskategoriene (ekskludert kjeller). For boligblokk er potensialet for utslippskutt ved rehabilitering beregnet til hele 64 %. Det er altså et betydelig økt potensiale for utslippsreduksjon fra materialbruk dersom man kombinerer rehabilitering med å benytte de mest klimavennlige materialene på markedet, sammenliknet med å oppføre nye lavutslippsbygg.

Et argument for å bygge nytt i kontekst av klimagassutslipp er at nye bygg kan ha en vesentlig høyere energistandard, og dermed tilbakebetale økte utslipp fra byggefasen med reduserte energiutslipp i drift. Fra utførte rehabiliteringsprosjekter som Powerhouse Kjørbo har vi sett at det er også mulig å oppnå en svært stor forbedring av energibruk i drift gjennom rehabilitering. Fordi rehabilitering også kan gi svært lave materialutslipp, peker dette seg ut som en effektiv strategi for å minimere klimagassutslipp fra byggeprosjekter. Det bør påpekes at dette forutsetter at man bygger ut samme areal, og ikke tar hensyn til eventuelle effekter av økt arealutnyttelse.



Figur 35 Sammenlikning av klimagassutslipp fra materialbruk (A1-A4 + B4) for referansenivå, lavutslippsbygg og rehabiliterte lavutslippsbygg

3.9.5. Potensiale for utslippsreduksjon i nye bygg med ombruk

Potensialet for ombruk i ulike bygningsdeler er angitt i kapittel 3.7. Vi har tatt utgangspunkt i lavutslippsbyggene, for å vurdere hvor mye lavere man kommer i utslipp fra materialbruk med ombruk i tillegg til de mest klimavennlige nyproduserte materialene.

Beregningsresultater for klimagassutslipp fra materialbruk for lavutslippsbygg med ombruk er gitt i Tabell 22 og Tabell 23:

Tabell 22 Beregnede klimagassutslipp fra materialbruk for lavutslippsbygg med ombruk, per areal (BTA) og år for 60 års beregningsperiode, fordelt på livsløpsfaser

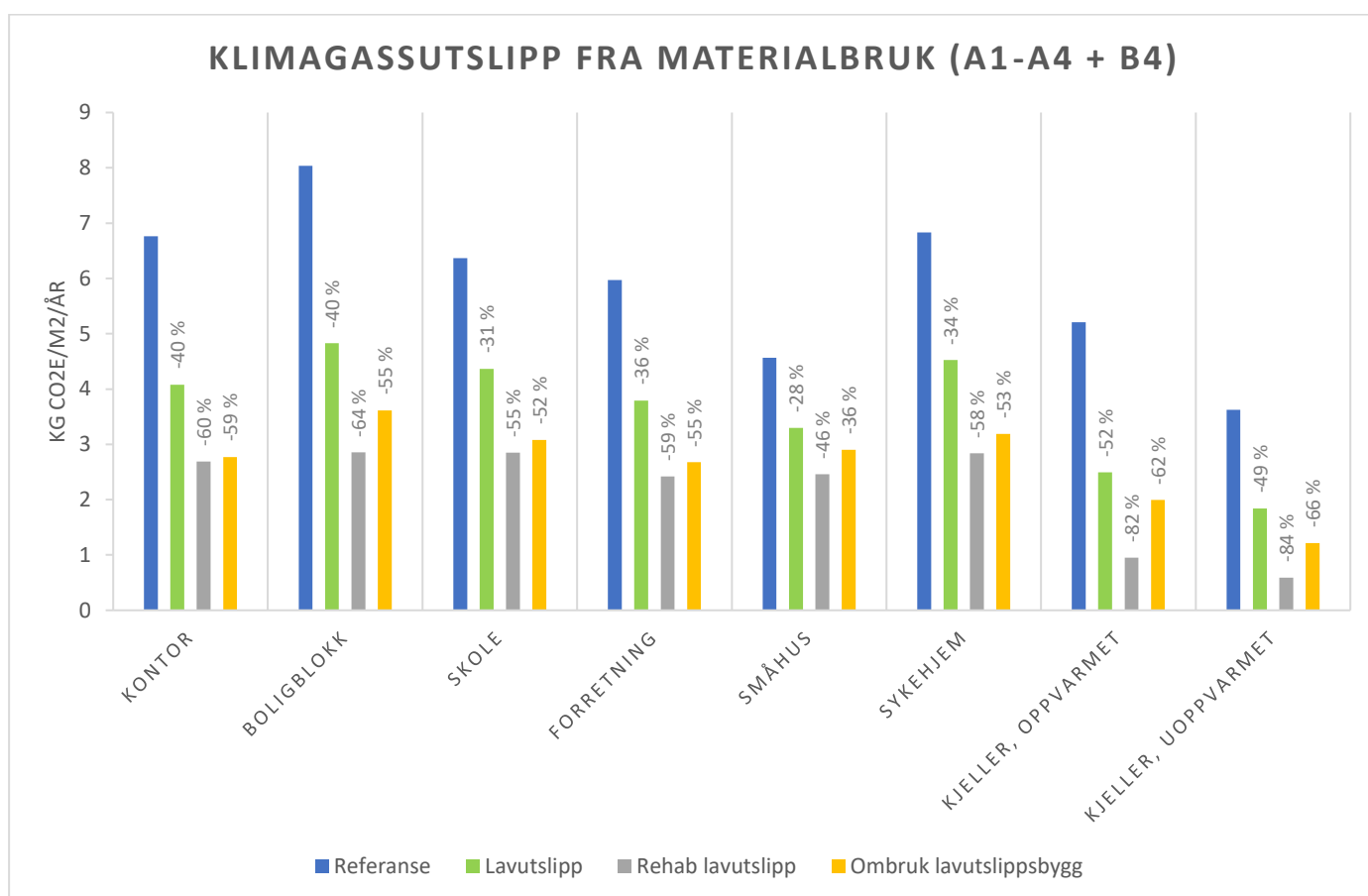
Livsløpsfase	Klimagassutslipp per areal og år, for 60 års beregningsperiode (kg CO2e/m ² BTA/år)							
	KONTOR	BOLIG-BLOKK	SKOLE	FORRETNING	SMÅHUS	SYKEHJEM	KJELLER, oppvarmet	KJELLER, uoppvarmet
Materialproduksjon (A1-A3)	1.35	1.82	1.43	1.31	1.14	1.53	1.37	0.94
Transport (A4)	0.33	0.61	0.36	0.36	0.43	0.42	0.26	0.19
Utskifting (B4)	1.09	1.18	1.29	1.01	1.33	1.24	0.36	0.08
SUM	2.77	3.61	3.08	2.68	2.90	3.19	1.99	1.21

Tabell 23 Beregnede klimagassutslipp fra materialbruk for lavutslippsbygg med ombruk, per areal (BTA) totalt for 60 års beregningsperiode, fordelt på livsløpsfaser

Livsløpsfase	Klimagassutslipp per areal (kg CO2e/m ² BTA)							
	KONTOR	BOLIG-BLOKK	SKOLE	FORRETNING	SMÅHUS	SYKEHJEM	KJELLER, oppvarmet	KJELLER, uoppvarmet
Materialproduksjon (A1-A3)	1.35	1.82	1.43	1.31	1.14	1.53	1.37	0.94
Transport (A4)	0.33	0.61	0.36	0.36	0.43	0.42	0.26	0.19
Utskifting (B4)	1.09	1.18	1.29	1.01	1.33	1.24	0.36	0.08
SUM	2.77	3.61	3.08	2.68	2.90	3.19	1.99	1.21

Material- produksjon (A1-A3)	81	109	86	78	68	92	82	56
Transport (A4)	20	36	21	22	26	25	16	11
Utskifting (B4)	65	71	78	60	80	74	22	5
SUM	166	217	185	161	174	191	120	73

En sammenlikning av referansenivåer for klimagassutslipp fra materialbruk med lavutslippsbygg, rehabiliterte lavutslippsbygg og lavutslippsbygg med maksimal ombruk er vist i Figur 36. Resultatene viser et gjennomsnittlig beregnet maksimalpotensiale for utslippsreduksjon dersom man kombinerer klimavennlig materialbruk og ombruk på 52 %, i snitt for bygningskategoriene (ekskudert kjeller). Det understrekes at potensialet for ombruk her er regnet ut fra maksimalt potensiale for å benytte ombrukte komponenter i bygget, dersom tilgangen er ubegrenset. I dagens marked ser vi imidlertid at tilgangen på ombruksmaterialer og logistikk er en betydelig utfordring (se kapittel 4.4 for drøfting av barrierer mot økt ombruk).



Figur 36 Sammenlikning av klimagassutslipp fra materialbruk (A1-A4 + B4) for referansenivå, lavutslippsbygg, rehabiliterte lavutslippsbygg og lavutslippsbygg med maksimalt utnyttet ombrukspotensiale

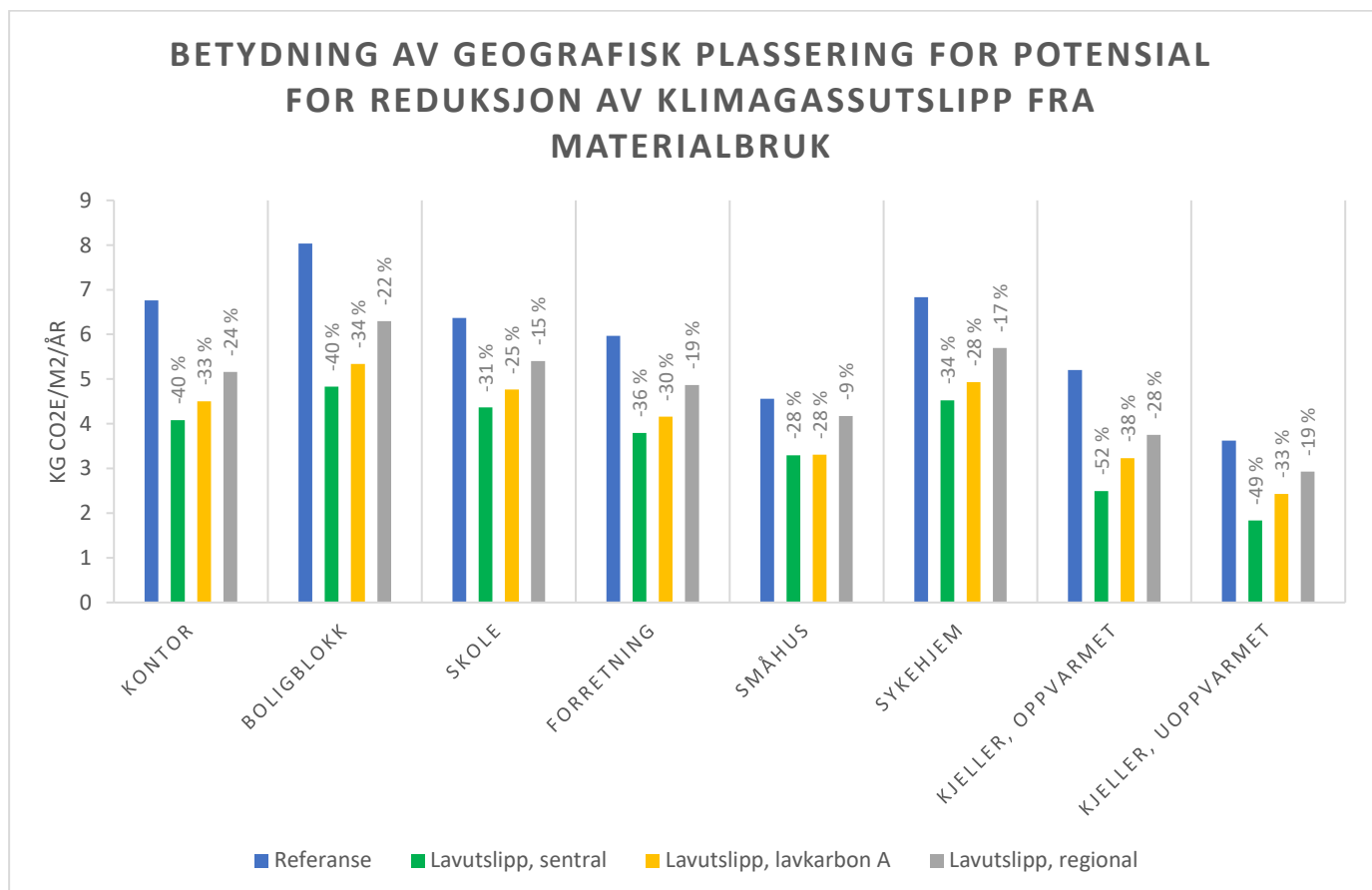
3.9.6. Faktorer som påvirker hvorvidt beregnet potensiale kan realiseres

Norge er et langstrakt land med relativt lite egen produksjonsindustri. Potensialet for reduksjon av klimagassutslipp fra bruk av nyproduserte klimavennlige byggematerialer for et gitt prosjekt vil derfor til en viss grad være avhengig av prosjektets geografiske plassering i landet. Både ulikheter i transportdistanser og tilgang på de mest innovative klimavennlige materialalternativene vil spille inn.

Den mest omtalte faktoren som påvirker byggeprosjekters muligheter til å minimere utslipp er tilgangen på lavkarbonbetong (se kapittel 4.3.1.2). Derfor har vi gjort beregninger av hvordan potensialet for utslippsreduksjon endrer seg dersom vi legger til grunn lavkarbon A i lavutslippsbyggene, i stedet for lavkarbon Ekstrem. Det understrekes imidlertid at markedet utvikler seg svært raskt på dette feltet.

I beregningene av referansenivåer og lavutslippsnivåer har vi forutsatt samme transportdistanser. Potensialet for å redusere utslipp ved å etterspørre større grad av lokalproduserte materialer er vurdert i 3.9.2. Samtidig er tilgang på lokalt produserte materialer også sterkt geografisk betinget, og vi har derfor også beregnet hvordan potensialet endrer seg dersom vi forutsetter at materialene må transporteres lenger enn det som er forutsatt. I hovedberegningene har vi lagt til grunn en gjennomsnittlig transportdistanse for varer fra Norge/Norden på 500 km. Basert på en vurdering av sannsynlig snittdistanse for et byggeprosjekt i Nord-Norge har vi økt distansen for Norge/Norden til 1500 km. Transportdistanse for hulldekker er økt fra 200 km til 500 km, mens øvrige distanser (lokalt og fra Europa) er holdt konstant.

Figur 37 viser en sammenlikning av utslipp for referansenivå, lavutslippsnivå med forutsetning om god tilgang på klimavennlige materialer (kalt Lavutslipp, sentral), og lavutslippsnivå med lavkarbonbetong klasse A, og lavutslippsnivå med lavkarbonklasse A i tillegg til økt transportdistanse for varer fra Norge/Norden:



Figur 37 Sammenlikning av klimagassutslipp fra materialbruk (A1-A4 + B4) for referansenivå, lavutslipp BAT, lavutslippsbygg med lavkarbonbetong, klasse A, og kombinasjon av lavkarbon A og økt transport

Figuren viser at å gå fra lavkarbonklasse Ekstrem til lavkarbonklasse A reduserer det beregnede reduksjonspotensialet med 7 prosentpoeng, og at økte transportdistanser gir en nedgang i potensialet på ytterligere 9 prosentpoeng. Sammenliknet med referansen, er reduksjonspotensialet

for et lavutslippsbygg med lavkarbon A og behov for lang materialtransport kun 17 % i snitt. Som vist tidligere i rapporten, har utslipp fra betong svært stor betydning for samlede materialutslipp. Hvis vi går dypere inn i beregningene, ser vi imidlertid at transportdistanse for hulldekker også har stor påvirkning.

Hvis vi regner utslipp per m² hulldekke, finner vi at terskeldistansen for klimagevinst, dvs. hvor langt hulldekker kan fraktes før det er mer klimavennlig å velge hulldekker bransjereferanse-betong fremfor lavkarbonklasse Ekstrem, er 850 km. Tilsvarende er terskeldistansen for lavkarbon Ekstrem vs. lavkarbon A 450 km. Dette er spesielt interessant når man diskuterer byggeprosjekter som ikke har tilgang på lavkarbonbetong i de mest innovative klassene, fordi det viser at det ikke vil være mer klimavennlig å velge en produsent som kan levere elementer med lavere utslipp, dersom de må fraktes langt.

En tilsvarende diskusjon vil ikke være meningsfull for plasstøpt betong, ettersom denne ikke kan fraktes over lengre distanser uten å begynne å herde.

Tabell 24 Beregnede utslipp fra hulldekker som viser skjæringspunkt for når utslipp fra transport veier opp for reduserte utslipp fra betong

Betongtype i hulldekke	Utslipp A1-A3 (kg CO ₂ -ekv./m ²)	Transportdistanse (km)		Utslipp A1-A3 + A4 (kg CO ₂ -ekv./m ²)
		200 km	850 km	
Bransjereferanse	63.7	12		76
Lavkarbon ekstrem	23.5		52	76

Tilgang på ombruksmaterialer vil være sterkt geografisk betinget, spesielt fordi markedet er relativt lite utviklet (se kapittel 4.4 for drøfting av barrierer mot ombruk). Det er imidlertid utfordrende å si noe generelt om hvordan potensialet for ombruk vil variere rundt om i landet.

3.10. Vurdering av nasjonalt potensiale for utslippsreduksjon for nye og rehabiliterte bygg ved bruk av klimavennlige materialer

For å vurdere det nasjonale potensialet for å redusere klimagassutslipp fra materialbruk i nye bygg, sammenliknet med dagens praksis, benytter vi tall fra SSB for igangsatte byggeprosjekter per areal for de 6 bygningskategoriene.

Tabell 25 Igangsatt bruksareal, per bygningsformål, snitt av verdier 2015-19. Kjelde: SSB (tabeller 05939: Bruksareal til annet enn bolig (m²), etter bygningstype, statistikkvariabel og år, og 05940: Boligbygg, etter bygningstype, statistikkvariabel og år)

Igangsatt bruksareal (m ² BRA), snitt siste 5 år					
Kontor	Boligblokk	Skole	Forretningsbygg	Småhus	Sykehjem
401 063	1 633 104	383 068	489 664	2 511 758	123 026

Potensialet for reduserte utslipp knyttet til materialbruk i forbindelse med rehabilitering er mer utfordrende å anslå, ettersom det ikke finnes nasjonal statistikk på omfanget av bygningsrehabilitering per år.

Enova-rapporten «Rehabilitering og energioppgradering av boliger» fra 2015⁶⁵ definerer begrepet "rehabiliteringsrate" som den årlige andelen av bygningsmassen⁶⁶ som gjennomgår en totalrehabilitering. I henhold til EUs bygningsenergidirektiv (EPBD) defineres "totalrehabilitering" som en rehabilitering som omfatter mer enn 25 % av bygningens klimaskall (eller har kostnad på mer enn 25 % av bygningens verdi).

De fleste norske rapporter om boligoppgradering har tidligere lagt til grunn en rehabiliteringsrate på 1,5 % i året⁶⁷. I den ovennevnte Enova-rapporten kom man frem til en revidert rehabiliteringsrate for norske boliger på 1.89 %. Ettersom det ikke finnes noen tilsvarende tall for rehabilitering av andre typer bygninger i Norge, velger vi å basere oss på dette tallet for samtlige bygningskategorier.

For å anslå årlig rehabilitert bygningsareal, må vi vite noe om størrelsen på den eksisterende norske bygningsmassen i areal. Dette fordi SSB kun publiserer tall på antall bygninger til ulike bruksformål, og ikke indikerer noen gjennomsnittlig størrelse per bygningstype. Den eneste oversikten over bebygd areal i Norge er fra Enovas potensial- og barrierestudie fra 2011/12, som gir bebygd areal per bygningskategori for 2010⁶⁸. Vi har derfor tatt utgangspunkt i denne, og skalert den lineært iht. veksten i antall bygninger fra 2010 til 2020, basert på tall fra SSB⁶⁹. Dette gir årlig rehabilitert bygningsareal som gitt under:

Tabell 26 Beregnet årlig rehabilitert bygningsareal (BTA), per bygningskategori

Årlig rehabilitert bygningsmasse (m ² BTA)					
Kontor	Boligblokk	Skole	Forretningsbygg	Småhus	Sykehjem
507 010	983 440	276 147	575 364	4 342 836	98 641

Beregnet differanse i utslipp mellom referansenivåer, lavutslippsbygg og rehabiliterte lavutslippsbygg (presentert i hhv. kapittel 3.3, 3.9.1 og 3.9.4), gir beregnet årlig nasjonalt potensiale for besparelse i utslipp fra materialbruk i nye og rehabiliterte bygg som gitt i Tabell 27:

Tabell 27 Beregnet årlig nasjonalt potensiale for utslippsreduksjon fra materialbruk i nye og rehabiliterte bygg med klimavennlig materialbruk

Årlig nasjonalt reduksjonspotensiale (tonn CO ₂ e/år)							
	Kontor	Boligblokk	Skole	Forretningsbygg	Småhus	Sykehjem	SUM
Lavutslipp	67 241	327 146	47 956	66 684	198 633	17 756	725 414
Rehab lavutslipp	123 813	305 581	58 285	122 621	548 380	23 647	1 182 326

Basert på våre anslag, kan det samlede årlige potensialet for nye og rehabiliterte bygg være i størrelsesorden 1.9 millioner tonn CO₂, som tilsvarer ca. 4.7 ganger den forventede utslippsbesparelsen fra det planlagte karbonfangstanlegget i Brevik⁷⁰. Det understrekes at disse verdiene kun er grove anslag på årlig potensiale for utslippsreduksjon, sammenliknet med dagens praksis.

⁶⁵ <https://www.mynewsdesk.com/no/enova-sf/documents/rehabilitering-og-energioppgradering-av-boliger-58726>

⁶⁶ Rapporten så kun på boligbygg, men vi velger å legge samme definisjon til grunn for den øvrige bygningsmassen.

⁶⁷ <https://www.sintefbok.no/book/download/1120>

⁶⁸

https://www.enova.no/download?objectPath=upload_images/4202FD4EEE7B4C988A71733FF3AFC5B9.pdf&filename=Enovas%20byggstatistikk%202012.pdf

⁶⁹ Tabell 03175 Eksisterende bygningsmasse. Boligbygg, etter bygningstype, samt Tabell 03173 Eksisterende bygningsmasse. Andre bygg enn boligbygg, etter bygningstype

⁷⁰ Anslått av Norcem til 400 000 tonn CO₂ årlig. https://www.norcem.no/no/ccs_beslutning2020

3.11. Fremtidsutsikter for utslipp fra byggematerialer

I dette kapitlet gir vi en hovedsakelig kvalitativ drøfting av fremtidsscenarioer for utslipp fra materialgrupper som har vesentlig betydning i byggene, og der vi kjenner til forhold som vil påvirke utslipp i umiddelbar fremtid.

3.11.1. Betong og sement

Fremtidig potensiale for å redusere klimagassutslipp fra betong ved tilsetning av flyveaske er usikkert, ettersom flyveaske er et biprodukt fra kullkraftproduksjon, og det globalt sett blir stadig mindre kullkraft. Andre tilsetninger vil derfor bli mer etterspurt for å fortsette å redusere klinkerinnholdet i betong. Hvis flyveasken etter hvert må transporteres lengre som en konsekvens av redusert tilgang, vil betydningen av flyveasken for klimagassutslipp fra betong stige, men Multiconsult anslår at stigningen sannsynligvis ikke vil være mer enn 7 %⁷¹.

Det største potensialet for å redusere klimagassutslipp fra betong i fremtiden vil være gjennom karbonfangst- og lagring (Carbon Capture and Storage, CCS) i sementproduksjonen. Sement produseres kun på to steder i Norge (Brevik og Kjøpsvik), og begge anlegg eies av Norcem. Det er i skrivende stund (September 2020) besluttet at Norcem får bevilget finansiering til et fullskala karbonfangstanlegg i Brevik, det såkalte «Langskip»-prosjektet, som blir verdens første i sitt slag.

Konseptet slik det nå foreligger utnytter overskuddsvarmen fra den eksisterende prosessen, og gir CCS-rensning av 50 prosent av røykgassen. Det er foreløpig ikke aktuelt å bygge en egen energienhet for å rense all røykgass fra anlegget. I dag slippes det ut 600 kg CO₂ per tonn sement produsert i Brevik. Med rensing av 50 prosent av røykgassen vil utslippet reduseres til 300 kg CO₂ per tonn sement. Norcem anslår at de vil kunne redusere CO₂-utslipp fra sementproduksjonen med 400 000 tonn per år⁷². Dette vil ifølge Multiconsults beregninger resultere i at utslipp fra betong reduseres med 46,5 %. Tabell 28 angir beregnede utslipp for betong med Lavkarbonklasse B produsert med og uten CCS-sement.

Tabell 28 Beregnede klimagassutslipp fra betong (B35 M45) med sement fra Norcems produksjonsanlegg i Brevik med og uten karbonfangst (CCS). Kilde: Multiconsult 2019

		Med CCS rensset sement	Forbedring i %
Betongkvalitet	B35 M45	B35 M45	
	Maksimalt tillatt klimagassutslipp (g CO₂-ekv./m³ betong)		
Lavkarbon B (NBF37)	270	144,45	46,5 %

Merk at utslippsverdi for Lavkarbonklasse B uten CCS tilsvarer maksimal utslippsverdi for Lavkarbonklasse B fra en eldre versjon (2015) av Norsk betongforenings Publikasjon 37, som utkom i en revidert versjon i 2019. Grenseverdier for lavkarbonklasser i 2019-versjonen er gitt i Tabell 14 i kapittel 3.5.1.1. Som Multiconsult nevner i sin rapport, må grenseverdiene for de ulike lavkarbonklassene sannsynligvis revideres på nytt ved innføring av CCS-anlegg i Brevik.

Det er også interessant å merke seg, som nevnt innledningsvis i dette delkapitlet, at en global nedskalering av kullkraft kan føre til at tilgangen på flyveaske reduseres på lengre sikt. For å opprettholde reduksjonen anslått i Tabell 28, må man derfor enten finne alternativer til flyveaske, eller skalere opp karbonfangst til å omfatte en større andel av røykgassen.

⁷¹ <https://www.nho.no/contentassets/931076d7f29042eba38a0b8e4d72a85b/rapport-multiconsult---hvordan-gjore-co2-fangst-og-lagring-lonnsomt.pdf>

⁷² https://www.norcem.no/no/ccs_beslutning2020

3.11.2. Trematerialer

I tillegg til støtte til karbonfangst for sementproduksjon i Brevik annonserte regjeringen høsten 2020 en begrenset støtte til Fortums fangstanlegg på avfallsanlegget på Klemetsrud i Oslo⁷³. Dersom man får på plass finansiering for CCS i avfallshåndteringen vil dette på sikt kunne føre til betydelig lavere utslipp fra avhendingsfasen for bygg. I denne rapporten har vi sett bort fra utslipp i avhendingsfasen (se kapittel 2.3.2.2), men eventuell fremtidig CCS i avfallsforbrenning vil føre til en endring i beregningspraksis for trebaserte produkter, sammenliknet med den vi har lagt til grunn.

Som beskrevet i kapittel 2.3.4.1, regner vi i denne rapporten utslipp fra trebaserte materialer lik de fossile utslippene fra tilvirkning og transport. Dersom forbrenning med karbonfangst blir den mest anvendte avfallshåndteringen for byggematerialer, kan vi ikke lenger legge til grunn at karbonopptaket i vekstfasen nulles ut av et tilsvarende opptak i avhendingsfasen. I stedet vil treprodukter i praksis fungere som et permanent karbonsluk, slik at vi må regne netto negative utslipp i produksjonsfasen (A1-A3). Dette er delvis tatt høyde for i de nye regnereglene for FutureBuilt ZERO (se kapittel 2.3.3 og kapittel 2.3.4).

3.11.3. Stål

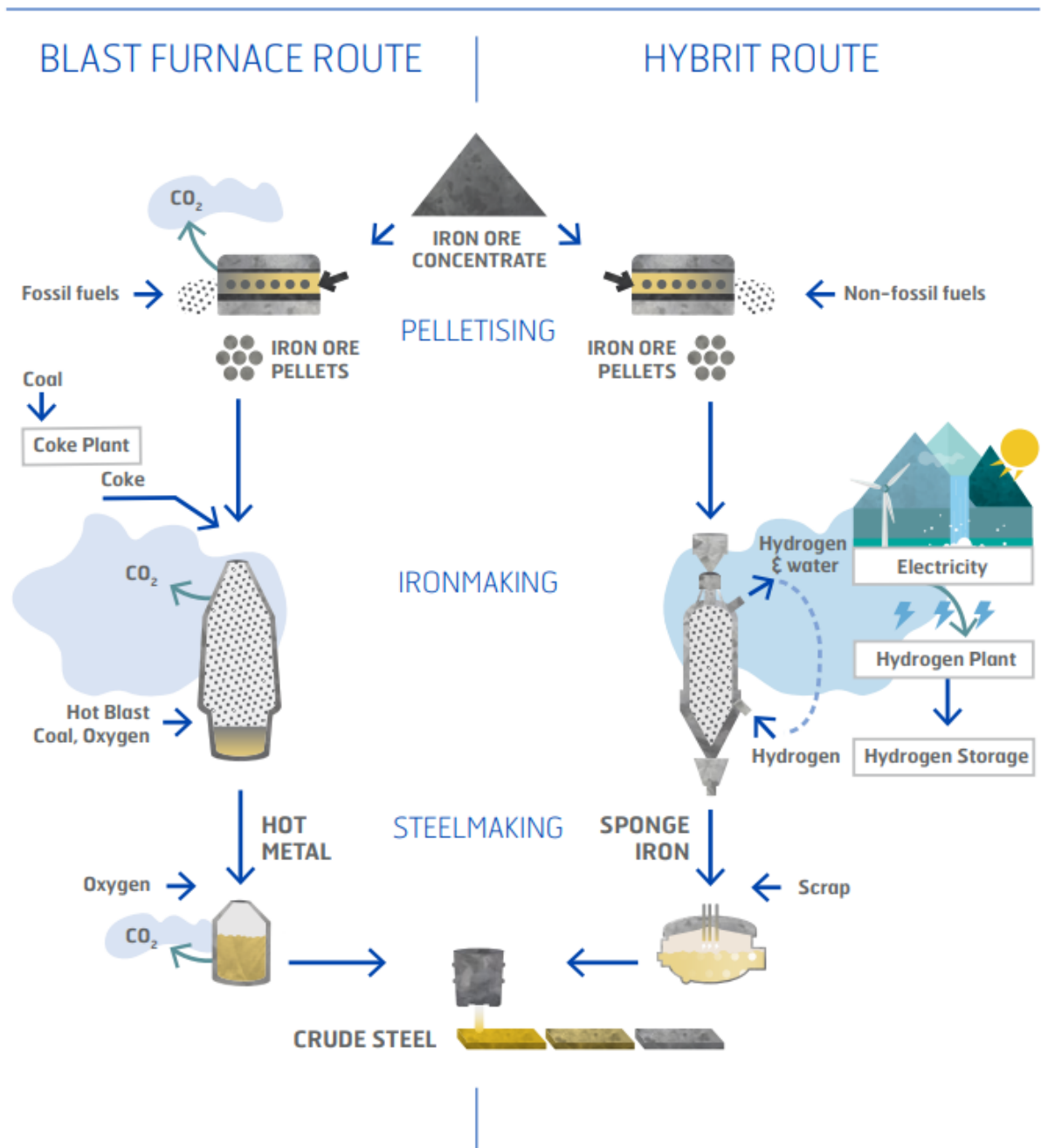
For å produsere stål benytter man tradisjonelt store mengder kull eller koks i masovner, der det tilføres trykkluft for å få oksygenet i jernmalmen til å binde seg til karbonet i koksen. Denne prosessen forårsaker store CO₂-utslipp. 10 prosent av verdens kullproduksjon benyttes i dag av jern- og stålindustrien, som står for 7 prosent av de globale CO₂-utslippene⁷⁴.

HYBRIT (Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology), et industrisamarbeid mellom stålkonsernet SSAB, gruveselskapet LKAB og energiselskapet Vattenfall, har annonsert at de skal produsere fossilfritt stål innen 2035⁷⁵, gjennom en ny produksjonsmetode for stål som benytter hydrogen fra elektrolyse.

⁷³ <https://e24.no/olje-og-energi/i/rgLv1m/erna-med-budsjettnyhet-to-mrd-til-karbonfangst-i-2021>

⁷⁴ <https://energiogklima.no/nyhet/hydrogen-skal-gjore-svensk-stal-klimavennlig/>

⁷⁵ <https://www.hybritdevelopment.com/>



Figur 38 Illustrasjon av tradisjonelt produksjonsløp for stålverk (til venstre), og ny produksjonsrute med hydrogen (til høyre)

Per i dag har HYBRIT et operativt pilotanlegg i Luleå. Etter planen skal HYBRIT i 2025 over i en storskala demonstrasjonfase med direkte reduksjon fra hydrogen, trolig i Oxelösund. Frem til 2040 skal hydrogen, DIR og lysbueteknikk fase ut SSABs fem masovner i de tre stålverkene i Oxelösund, Luleå og finske Brahestad på den andre siden av Østersjøen.

Satsningen er et ledd i Sveriges mål om netto karbonnøytralitet innen 2045, og dersom HYBRIT-teknologien blir implementert på all stålproduksjon i Sverige, vil de nasjonale utslippene reduseres med 10 %. Teknologien er imidlertid svært energikrevende. Ifølge Vattenfalls beregninger vil HYBRIT-prosjektets totale årsforbruk havne rundt 15 TWh, som er nesten like mye som Statkraft leverer til norsk industri på ett år (20 TWh). Det totale klimafotavtrykket fra stålet vil derfor være sterkt avhengig av at prosjektet lykkes også i sin satsning på fornybar kraft.

3.11.4. Tegl

Utslipp fra tegl er i hovedsak knyttet til prosessen med brenning, og det har hittil vært få tegn på teknologiske fremskritt som vil redusere utslipp fra teglproduksjon. Som nevnt i kapittel 3.5.2.1, er tegl godt egnet for ombruk, og ombrukstegl har i stedet vært det mest attraktive klimavennlige alternativet. Den internasjonale teglsteinprodusenten Wienerberger lanserer nå et teglsteinsprodukt som skal gi 20 % lavere utslipp⁷⁶. Nyvinningen er helt enkelt at hver stein har tre hull i midten, som reduserer råvareforbruk, energibruk til brenning og transportutslipp.

⁷⁶ <http://www.bygg.no/article/1445406>

4. DEL 3: BARRIERER MOT KLIMAVENNLIG MATERIALBRUK

Del 3 omfatter å kartlegge og oppsummere de viktigste barrierene mot bruk av nyproduserte klimavennlige materialalternativer, og mot økt utbredelse av ombruk av byggematerialer i dagens marked. En studie utført for Enova i 2012 undersøkte potensial for energieffektivisering i norske bygg.⁷⁷ I denne studien ble barrierer definert som faktorer som hindrer iverksetting av samfunnsøkonomisk lønnsomme tiltak. Når vi skal se på barrierer mot bruk av klimavennlige materialer kan vi imidlertid ikke legge en tilsvarende definisjon til grunn.

Til forskjell fra energieffektiviseringstiltak resulterer ikke kostnaden ved å velge klimavennlige materialer en reduksjon i driftskostnader for byggeier. Det er heller ikke mulig å knytte bruk av klimavennlige materialer i konkrete prosjekter til en målbar klimaeffekt (reduksjon i atmosfærisk konsentrasjon av klimagasser). Siden man hverken kan observere en målbar reduksjon av klimagasser i atmosfæren eller reduserte driftskostnader som en direkte konsekvens av tiltaket, er det utfordrende å vurdere hvorvidt klimatiltak er samfunnsøkonomisk lønnsomme eller ikke. Det er derfor ikke mulig å omtale barrierer mot klimavennlige materialer på samme måte som barrierer mot energieffektiviseringstiltak.

I stedet velger vi i denne rapporten å omtale *alle faktorer som hindrer at klimavennlige materialer eller ombrukskomponenter velges framfor mer konvensjonelle byggematerialer* som barrierer.

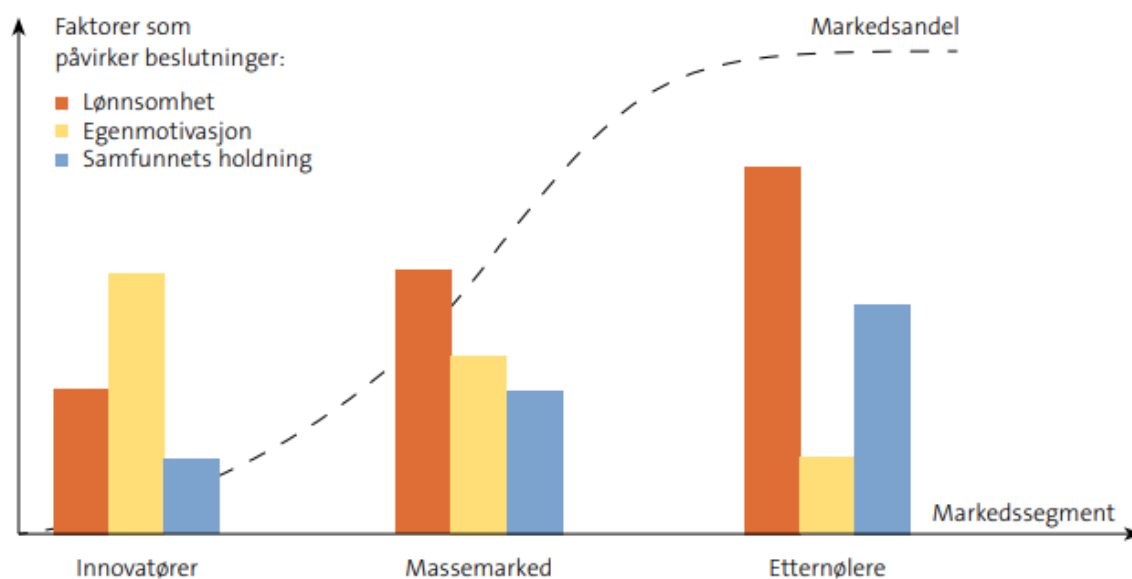
4.1. Barrierenes relevans endrer seg over tid

Med sterke politiske føringer både nasjonalt og internasjonalt for å bevege seg mot et lavutslippssamfunn, er det viktig å forstå hvorfor ikke flere tar i bruk de mest klimavennlige løsningene som finnes på markedet til enhver tid. Før vi går nærmere inn på barrierene som hindrer bruk av klimavennlige materialer og ombrukskomponenter, er det nødvendig å si noe om hvordan barrierenes relevans utvikler seg over tid.

Her kan det være nyttig å skjelne mot Rogers diffusjonskurve for nyskaping⁷⁸. Kurven viser hvordan hovedmotivasjonen for å ta i bruk nyskapende løsninger, og dermed hvilke segmenter i markedet man hovedsakelig henvender seg til, endrer seg ettersom de nye løsningene blir stadig vanligere.

⁷⁷ Potensial- og barrierestudie. Energieffektivisering i norske bygg, Enova 2012

⁷⁸ Diffusion of Innovations, Everett M. Rogers 1962



Figur 39: Rogers diffusjonskurve for teknologi, som viser hvordan begrunnelsen for å ta i bruk nye løsninger, som for eksempel klimavennlige materialer og ombrukskomponenter, endrer seg ettersom markedsandelen øker. Kurven sier noe om hvilke barrierer som er viktigst på ulike tidspunkt.

Ettersom de fleste ombrukskomponenter og enkelte klimavennlige materialer i dag utgjør en liten andel av markedet for byggematerialer vil det for eksempel ikke først og fremst være prisen som avgjør om de velges framfor konvensjonelle byggematerialer. For å få flere «innovatører» er det ifølge kurven viktigst å arbeide med «egenmotivasjonen», som for utbyggere og andre relevante beslutningstakere i bygge- og anleggsbransjen gjerne vil handle om muligheten for å kapre markedsandeler i et fremtidig marked ved å gå foran i utviklingen, eller skape et positivt omdømme ved å markere seg som en aktør med et sterkt miljø- og klimaengasjement.

En utfordring med å spille på egenmotivasjon for å ta i bruk klimavennlige materialer og ombrukskomponenter er at effekten av slike klimatiltak ikke nødvendigvis er så synlig. Dersom egenmotivasjonen skal fungere må tiltakene skape et positivt omdømme og differensiere aktøren fra resten av markedet som en klimainnovatør. Her vil arbeid med synlighet, for eksempel i form av sertifiseringsordninger, bidra til at flere får en egenmotivasjon for å velge klimavennlige materialer og ombrukskomponenter. Miljøsertifiseringsordninger der klimatiltak belønnes, som for eksempel BREEAM-NOR og FutureBuilt kan gi insentiv til klimatiltak i form av reklame- og positive omdømmeeffekter, slik rapporten *Merverdien av grønne bygg* fra Grønn byggallianse viser.⁷⁹

Når flere og flere innovative aktører tar i bruk klimavennlige materialer og ombrukskomponenter blir økonomiske konkurransedyktighet stadig viktigere ifølge Rogers kurve. Man vil ikke appellere til massemarkedet uten å redusere de økonomiske barrierene. For å bevege seg inn i massemarkedet må man sørge for at det blir mer lønnsomt å bruke klimavennlige materialer og ombrukskomponenter, og over tid må man også som samfunn endre holdninger til materialbruk i bygg slik at de som ennå ikke har en egen motivasjon til å velge klimavennlige materialer (etternølerne) gjør det likevel.

Når det skal vurderes hvilke barrierer som er viktigst å sette inn tiltak mot for å frigjøre uforløst potensial, kan det altså være nyttig å vurdere om man appellerer til innovatører, massemarkedet eller etternølere.

⁷⁹ *Merverdien av grønne bygg*, Grønn byggallianse og Høgskolen i Østfold 2019

4.2. Kategorisering av barrierer og kobling til verdikjeden

Barrierene vi har valgt å se nærmere på, som kan hindre valg av klimavennlige materialer og ombrukskomponenter framfor mer konvensjonelle materialer er:

- **Tekniske og praktiske barrierer**
Barrierer knyttet til materialenes og komponentenes tekniske egnethet til aktuelle formål, utfordringer med tanke på kvalitetssikring, samt barrierer knyttet til den praktiske gjennomføringen av byggeprosjekter med klimavennlige materialer og ombrukskomponenter.
- **Regulatoriske barrierer**
Barrierer knyttet til lovverk og andre krav og føringer fra relevante myndigheter, eller mangel på dette.
- **Markedsmessige barrierer**
Barrierer knyttet til hvor fungerende markedet for klimavennlige materialer og ombrukskomponenter er.
- **Økonomiske barrierer**
Barrierer knyttet til økonomisk konkurransedyktighet og kostnader sammenliknet med konvensjonelle byggematerialer.
- **Kunnskapsmessige barrierer**
Barrierer knyttet til kunnskap hos aktuelle beslutningstakere.
- **Holdningsmessige barrierer**
Barrierer knyttet til holdninger hos aktuelle beslutningstakere.

Vi har allerede definert barrierer som faktorer som hindrer bruk av klimavennlige materialer og ombrukskomponenter. Men for hvem utgjør barrieren et hinder? For å kunne svare på det benytter vi her en verdikjedetilnærming, hvor barrierene kobles til ledd i verdikjeden til klimavennlige materialer og ombrukskomponenter.

En verdikjede er en modell som beskriver ulike ledd i en verdiskapningsprosess. Opprinnelig ble verdikjedemodellen brukt som et analyseverktøy for å gi strategiske konkurransefortrinn for forretninger som produserer varer eller tjenester for markedet. Ved å se verdiskapningen som en prosess fra anskaffelse via bearbeiding til levering, markedsføring og service, er det lettere å identifisere sterke eller svake sider ved forretningsdriften som helhet.

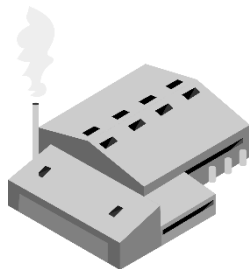
Vi har delt inn verdikjeden i 8 ledd. Det er viktig å presisere at verdikjeden vi skisserer her ikke må sees på som en lineær prosess, men er et verktøy for å avdekke barrierer mot å prioritere lavutslippsmaterialer og ombrukskomponenter. Leddene vil ofte være gjensidig avhengige av hverandre, overlappende i tid eller være organisert på en annen måte enn hvordan de fremkommer her:



1. Utvinning av råmaterialer

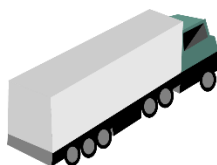
Denne delen av verdikjeden handler om ressursuttak, enten ved at råmaterialer tas direkte ut fra naturen eller ved hjelp av materialgjenvinning. I et ombruksscenario kan utvinning av råmaterialer skje gjennom det som ofte kalles «urban mining», der man henter ut brukte bygningskomponenter direkte fra bygg som rives/demonteres. Selv om det er klimafotavtrykket vi ser på her, er det viktig å være klar over at klimabelastningen ved utvinning av råmaterialer ikke viser hele bildet, og at inngrep i naturen kan ha andre negative miljøkonsekvenser enn klimagassutslipp. Hvilke råmaterialer som utvinnes er avhengig av etterspørsel fra produksjonsleddet.

2. Produksjon av bygningskomponenter



I den delen av verdikjeden vi har kalt produksjon av bygningskomponenter blir råmaterialer bearbeidet til bygningskomponenter. I dag er det gjerne byggevarerindustrien som står for denne delen av verdikjeden, og produksjon av bygningskomponenter kan for eksempel skje på en treforedlingsfabrikk, der man produserer komponenter som planker, spon eller massivtre-elementer. I et ombruksscenario kan produksjon av bygningskomponenter også handle om oppsirkulering av brukte komponenter. Med oppsirkulering mener vi her all bearbeiding av brukte bygningskomponenter med hensikt om å bruke dem igjen, fra enkel maling og skraping til f.eks. å ta glass ut av gamle vinduer og bruke i nye, eller skjære ut elementer av murvegger der man har brukt sement slik at ikke enkeltstein kan tas fra hverandre. Produksjonen av klimavennlige materialer og ombrukskomponenter er avhengig av etterspørsel fra byggeprosjekter, og ombrukbarheten av tilgjengelige bygningskomponenter.

3. Omsetning og logistikk



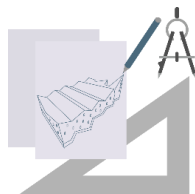
Omsetning og logistikk handler om transport, mellomagring, distribusjon og omsetning av materialer og komponenter. Selv om dette er punkt 3 i verdikjeden, vil det variere fra prosess til prosess når det er behov for logistikk og distribusjon. For enkelhets skyld har vi samlet all logistikk og omsetning av materialer og komponenter under ett ledd i verdikjeden. Betydningen av barrierer knyttet til logistikk og omsetning vil være avhengig av prosjektets plassering og tilgjengeligheten av de aktuelle bygningskomponentene.

4. Prosjektutvikling



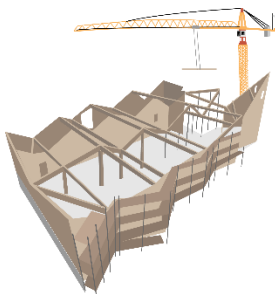
Med prosjektutvikling mener vi den delen av verdikjeden der en utbygger eller byggherre utvikler et byggeprosjekt. Initiativet til byggeprosjektet kan spenne bredt, fra stat og kommune til privatpersoner eller profesjonelle investorer, men selv om hensikten med å gjennomføre byggeprosjekter varierer, har alle et sett med overordnede rammer og regler å forholde seg til, og de fleste en målsetting om å gjennomføre prosjektet så kostnadseffektivt som mulig innenfor disse rammene. For at klimavennlige materialer eller ombrukskomponenter skal prioriteres i prosjektet må dette gjerne besluttes, eller i hvert fall forankres, i prosjektutviklingsleddet. Prosjektutvikling vil ofte foregå parallelt med de etterfølgende fasene.

5. Prosjektering



I prosjekteringsfasen får byggeprosjektet en konkret utforming. Her er gjerne arkitekter og rådgivere fra ulike faggrupper involvert, og forsøker å forme prosjektet etter oppdragsgivers ønsker, overordnede føringer og egne faglige overbevisning. Det er gjerne i prosjekteringsleddet at det argumenteres for hvilke bygningskomponenter og materialer som skal brukes i prosjektet.

6. Montering/bygging

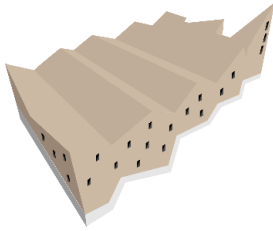


Montering/bygging er den delen av verdikjeden hvor byggeprosjektet blir utført i tråd med utformingen det fikk i design- og prosjekteringsleddet. Avhengig av entreprisform kan det være mange eller én aktør som har ansvaret for selve utførelsen av bygget. Bygge-leddet vil også kunne legge føringer for de foregående leddene, da prosjekterende og prosjektutviklere er avhengig av at noen faktisk kan bygge det man har tegnet.

7. Salg/utleie



I salg/utleieleddet, som ofte vil overlappe i tid med både foregående og senere ledd, blir verdien av det ferdige bygget forhandlet fram mellom utbygger og fremtidige brukere, gjerne ved hjelp av markedsføring og eiendomsmeglere. Etterspørselen i dette leddet vil gjerne være det som eiendomsinvestorer ser til når nye byggeprosjekter skal utvikles, men dersom markedet ikke er utviklet nok til at kjøpere eller leietakere kan velge det de foretrekker (såkalt *market failure*) kan det like gjerne være tilbudet som bestemmer hva som omsettes og ikke etterspørselen.



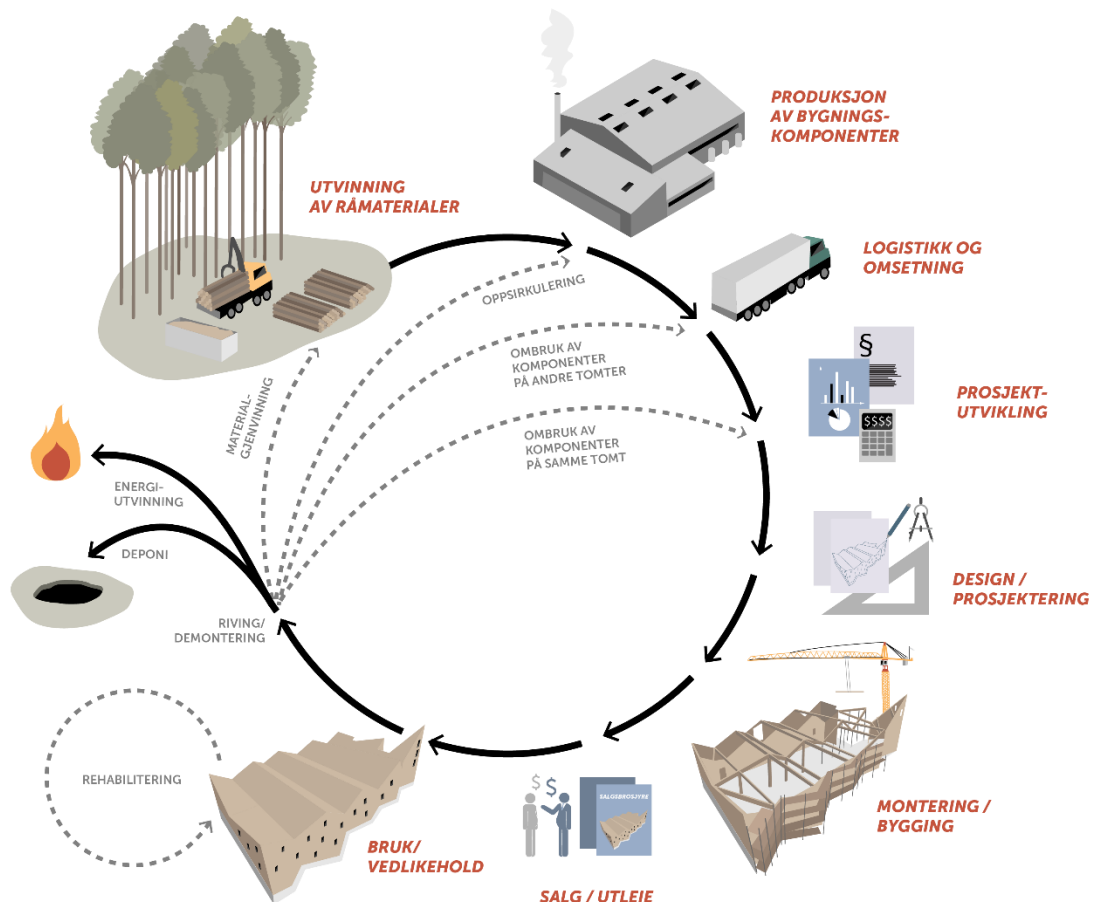
8. Bruk/vedlikehold

I bruk- og vedlikeholdsleddet er bygget ferdig og i bruk. Avhengig av hvordan bygget er utformet og hvilke materialer og komponenter det er bygget opp av kan det ha en lang eller kort levetid, og større eller mindre potensial for rehabilitering ved behov for endret bruk.

Bygningsmaterialer og komponenter kan ta del i mange verdikjeder før de er ved enden av sin levetid. Når bygget de er en del av ikke lenger vedlikeholdes eller rehabiliteres, vil bygget kunne demonteres og bygningskomponenter ombrukes eller materialer gjenvinnes. Avhengig av hvordan bygget er utformet og om bygningskomponentene er designet for ombruk eller materialgjenvinning

beveger vi oss tilbake til et av de foregående leddene for en ny syklus. Til slutt vil materialer og komponenter som ikke egnes til gjenbruk brennes for energiutvinning eller deponeres.

Under er verdikjeden fremstilt i et diagram som viser hvordan materialer og komponenter kan inngå i nye sykluser før de er ved slutten av sin levetid. Demontering og avhending går her over i utvinning av råmaterialer/urban mining, og omtales under dette leddet av verdikjeden.



Figur 40: Verdikjede for nyproduserte bygningskomponenter

4.3. Barrierer mot bruk av nye klimavennlige materialer


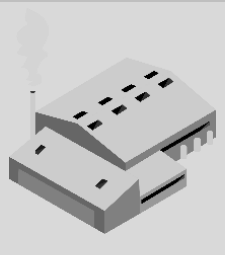
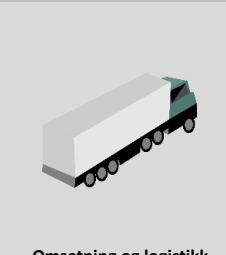

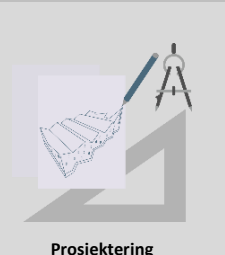
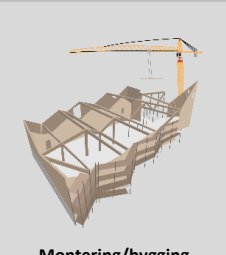

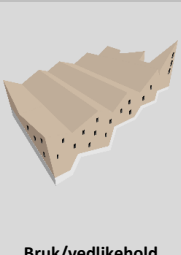
Det er et stort potensial for å redusere klimagassutslipp ved å bruke klimavennlige materialer, og selv om det er gjort mye de siste årene for å redusere utslipp i byggebransjen, er det fortsatt en lang vei å gå og mange faktorer som gjør at konvensjonelle materialer velges framfor mer klimavennlige alternativer. Det er skrevet mye om barrierer mot bruk av klimavennlige materialer, senest i NIBIOs rapport *Lavutslippsmaterialer i bygg. Barrierer og muligheter* utgitt i juni 2020.⁸⁰ Her beskrives barrierer mot bruk av klimavennlige materialer med utgangspunkt av gjennomgang av eksisterende litteratur og intervjuer med bransjeaktører. Mangel på *kunnskap og fakta, tekniske forhold og mangel på produkter, mangel på enkle nok beregningsverktøy, kostnader* i form av risikoprising og

⁸⁰ Lavutslippsmaterialer i bygg. Barrierer og muligheter. Nibio Rapport Vol. 6 Nr. 20. 2020

manglende tilrettelegging i *regelverk* trekkes fram som de største barrierene mot bruk av klimavennlige materialer. I dette kapittelet vil vi gå litt nærmere inn på disse og andre barrierer som kan hindre bruk av klimavennlige materialer, ordnet etter type og plassering i verdikjeden.

I tabellen under gis en oversikt over barrierer mot bruk av nyproduserte klimavennlige materialer. Etter tabellen gis en mer utførlig beskrivelse av hver barriere, samt forslag til tiltak for å fjerne eller redusere barrierens virkning.

Tabell 29: Barrierer mot bruk av nyproduserte lavutslippsmaterialer

LEDD I VERDIKJEDEN								
BARRIERER	 Utvinning av råmaterialer	 Produksjon av bygningskomponenter	 Omsetning og logistikk	 Prosjektutvikling	 Prosjektering	 Montering/bygging	 Salg/utleie	 Bruk/vedlikehold
Tekniske og praktiske barrierer	Selv om utviklingen går i riktig retning, kan det fortsatt være vanskelig å finne klimavennlige bygningskomponenter til alle formål med tilsvarende tekniske egenskaper som konvensjonelle, og det trengs videre forskning og utvikling, både på nye og «gamle» klimavennlige materialer	Logistikken rundt det å få tak i klimavennlige materialer som ikke produseres lokalt i Norge kan være omfattende og upraktisk Store regionale forskjeller i tilgang på de strengere klassene av lavkarbonbetong Manglende dokumentasjon på tekniske egenskaper for enkelte klimavennlige materialer	Manglende forankring av mål knyttet til klimagassutslipp, målstyring og oppfølging i hele prosessen	Mangel på målrettet og integrert samhandling mellom miljørådgivere, arkitekter og andre prosjekterende kan gjøre det utfordrende å bruke klimavennlige materialer. Eks. massivtre og brann- og akustikk-krav. Trykkfasthet for isolasjon	Krav til raske byggeprosesser innskrenker potensialet for å velge klimavennlige alternativer		Nyskapende metoder kan gi bygningstekniske utfordringer i bruksfasen	
Regulatoriske barrierer	Mangel på myndighetskrav til miljødokumentasjon (EPD) for byggematerialer	Mangel på krav til klimagassutslipp som omfatter transport av materialer til byggeplass.	Mangel på krav til klimavennlig materialbruk ved nybygg eller rehabilitering i Byggteknisk forskrift (TEK) Mangel på krav om å utføre klimagassvurderinger i et livsløpsperspektiv som vil kunne synliggjøre klimagassutslipp ved materialbruk Uklarhet rundt hva kommuner kan kreve ifm. arealplanlegging og hva som er de beste virkemidlene		Mangel på krav om klimagassvurderinger som kan synliggjøre klimagassutslipp ifm. materialbruk for de som vurderer å kjøpe eller leie bygg			
Markedsmessige barrierer	Tilgangen på klimavennlige bygningskomponenter kan være begrenset. Markedskonflikt mellom produsenter hindrer en	Et mindre utviklet marked for klimavennlige materialer, med store lokale forskjeller En stadig mer globalisert og sentralisert produksjon av	Etterspørselen etter klimavennlige materialer er for lav, særlig blant boligutbyggere. Det er først og fremst framstidsrettede utbyggere av næringsbygg	Det er færre prosjekterende som kan og vil bruke klimavennlige materialer enn	Det er færre utførende som kan og vil bruke klimavennlige materialer, noe som reduserer etterspørselen etter	Opplevd og reell etterspørsel etter klimavennlig materialbruk er fortsatt lav, særlig i boligmarkedet. Etterspørselen er på vei	Tilgangen på klimavennlige bygningskomponenter kan være begrenset. Markedskonflikt mellom produsenter	

	samkjørt innsats for å øke etterspørselen	bygningkomponenter øker transportbehovet ifm. materialbruk, særlig i mindre sentrale deler av landet	og offentlige bygg som har ledet an utviklingen.	konvensjonelle materialer	klimavennlige materialer i byggeleddet.	opp i visse segmenter av næringsmarkedet.		hindrer en samkjørt innsats for å øke etterspørselen
Økonomiske barrierer	<p>Enkelte klimavennlige råmaterialer og bygningkomponenter kan være dyrere fordi de er nye på markedet, produseres i mindre kvanta og har utviklingskostnader som må betales ned.</p> <p>Andre klimavennlige materialer er dyrere fordi de krever mer manuell bearbeiding.</p> <p>Karbonfangst i sementproduksjonen gir lavere klimagassutslipp for betongprodukter, men investeringskostnadene er høye.</p>	<p>Produksjonen av bygningkomponenter blir stadig mer automatisert og sentralisert for å spare kostnader. Rimeligere produksjonsvilkår gjør at langreiste materialer blir konkurransedyktige på pris og kan velges framfor de kortreiste, også når klimavennlige materialer prioriteres.</p>	<p>Høyere kostnader som følge av risikopåslag hos involverte aktører som ikke har erfaring med klimavennlige materialer</p> <p>Lite empiri på kostnader ved klimavennlig materialbruk i Norge.</p>	<p>Prosjektering med klimavennlige materialer kan bli mer kostbart dersom det innebærer uvanlige løsninger som krever mer tilrettelegging, målrettet samhandling og innebærer en større risiko for uforutsette hendelser.</p> <p>I tillegg vil det ofte være mer behov for mer tidligfase-planlegging/prosjektering enn i konvensjonelle prosjekter, særlig dersom det i tillegg skal utvikles et helhetlig konsept for å redusere klimagassutslipp.</p>	<p>Det varierer i hvilken grad bygging med klimavennlige materialer er rimeligere eller dyrere enn konvensjonelle materialer, det er mer avhengig av graden av prefabrikering og hurtigheten av byggeprosessen.</p>	<p>Vanskelig å få avkastning for investeringer i klimavennlige materialer, særlig i boligmarkedet. I næringsmarkedet ser man noe høyere betalingsvillighet, men i boligmarkedet, i hvert fall i og i nærheten av de store byene, er det lite å gå på i utgangspunktet.</p>	<p>Ingen direkte økonomisk gevinst ved å eie eller leie et klimavennlig bygg</p>	
Kunnskapsmessige barrierer	<p>Begrenset tilgang på god og pålitelig dokumentasjon av klimafotavtrykket til bygningkomponenter, som miljødeklarasjoner (EPDer). Bruk av EPDer krever ofte spesialkompetanse for å bli riktig.</p> <p>Manglende teknisk dokumentasjon for enkelte klimavennlige materialer.</p>	<p>Begrenset kunnskap om betydningen av transport for klimagassutslipp i forbindelse med materialbruk</p> <p>Vurderinger av klimagassutslipp i forbindelse med transport må tilpasses det aktuelle prosjektets beliggenhet, noe som kreves spesialkompetanse</p>	<p>Manglende erfaring med og kunnskap om bruk av klimavennlige materialer blant prosjektutviklere</p> <p>Mange bestillere mangler kunnskap om EPDer og hvordan man skal stille krav til klimavennlig materialbruk i byggeprosjekter.</p> <p>Rammeavtaler kan binde prosjektutviklere til å bruke produkter med dårligere klimafotavtrykk enn det som finnes på markedet.</p>	<p>Manglende kunnskap blant mange prosjekterende om hvilke materialer som er mest klimavennlige, og ikke minst om behovet for helhetlige vurderinger av klimapåvirkningen av forskjellige materialkonsepter i ulike prosjekter, inkludert utslippene i forbindelse med transport</p>	<p>Manglende kunnskap og erfaring med bygging med klimavennlige materialer</p>	<p>Manglende kunnskap om klimavennlig materialbruk generelt, og klimautslipp i forbindelse med materialbruk i konkrete prosjekter</p> <p>Manglende merkeordninger og informasjon om klimafotavtrykket til bygg som selges/leies ut tilsvarende energimerking</p>	<p>Manglende kunnskap om vedlikehold, drift og levetid for enkelte klimavennlige materialer.</p> <p>Manglende kunnskap om levetidsforlengende tiltak og materialtilpasset renhold.</p>	

<p>Holdningsmessige barrierer</p>	<p>Mangel på endringsvilje og tro på at det vil lønne seg å satse og investere i reduksjon av klimautslipp i utvinning og produksjon av bygningskomponenter</p>		<p>Skepsis mot nye og uprøvde løsninger fordi det medfører risiko for høyere prosjektkostnader, og innebærer at man må endre etablerte vaner og rutiner.</p> <p>Holdninger om at klimavennlig materialbruk er unødvendig, dyrt og kompliserende.</p>	<p>Mange prosjekterende, og kanskje særlig arkitekter, frykter et for ensidig fokus på klimafotavtrykk i vurderinger av materialbruk, og er negative til tiltak som innskrenker friheten til å ta selvstendige beslutninger.</p> <p>Frykt for å måtte endre vaner og rutiner, og at kunnskap og ferdigheter blir utdatert.</p> <p>Manglende kunnskap om hva klimavennlige materialer er, hvordan det måles, og manglende tillit til i hvilken grad helhetlige vurderinger blir gjort</p>	<p>Skepsis mot nye løsninger, frykt for å måtte endre vaner og rutiner, og at kunnskap og ferdigheter blir utdatert.</p> <p>Manglende kunnskap om og tillit til vurderinger om hvor klimavennlige materialer er.</p>	<p>Mange har positive holdninger til viktigheten av å redusere klimagassutslipp men har ikke nok kunnskap om eller tillit til vurderinger av hvor klimavennlige materialer er.</p>	
--	---	--	--	--	--	--	--

4.3.1. Tekniske og praktiske barrierer

Tekniske og funksjonelle krav kan ofte oppleves som de tydeligste barrierene mot å ta i bruk alternative løsninger. Tekniske og funksjonelle krav kan ikke endres, men man kan planlegge med hensikt om minimale utslipp, og dermed planlegge for de løsningene som gir lavest utslipp i sum.

Alle materialer har forskjellige egenskaper og kan brukes på ulike måter. Det er ingen automatikk i at klimavennlige materialer skal ha dårligere tekniske egenskaper enn konvensjonelle materialer eller medføre større praktiske utfordringer. En årsak til at dette likevel kan være tilfelle i dag, er at utviklingen av nye bygningskomponenter og byggeteknikker de siste 100-150 årene har vært basert på tilgang på stadig billigere fossil energi, og at disse teknikkene har erstattet det meste av det som fantes fra før. Når det først relativt nylig har blitt satt søkelys på klimautslippene knyttet til materialbruk i bygg, er man derfor enten nødt til å gå tilbake til førmoderne byggeteknikker med tradisjonelle materialer, eller utvikle nye og mer klimavennlige teknikker og materialer som kan erstatte det som har blitt de konvensjonelle bygningskomponentene.

Sistnevnte kan ta tid, og man finner ikke nødvendigvis alternativer som kan brukes på akkurat samme måte som konvensjonelle byggematerialer på alle områder i dag. Selv om klimavennlige materialer ikke alltid har de samme tekniske egenskapene til konvensjonelle materialer, er det som regel mulig å finne noe tilsvarende. En større utfordring enn å finne klimavennlige materialer som er teknisk brukbare er ofte å organisere og rigge prosessen fra visjon til ferdig bygg slik at de klimavennlige materialene blir beholdt i det endelige resultatet. De tekniske og praktiske barrierene mot bruk av klimavennlige materialer vil trolig bli stadig færre, men i mellomtiden vil det være tekniske og praktiske barrierer som hindrer bruk av klimavennlige materialer i de fleste ledd av verdikjeden.

4.3.1.1. Utvinning av råmaterialer og produksjon av bygningkomponenter.

Det produseres i dag klimavennlige bygningskomponenter som egner seg til de fleste formål, og utviklingen skjer fort. Da Strandveien 37 ble bygget på Svartlamon i Trondheim i 2005 var det, med sine 5 etasjer, Norges høyeste massivtrehus.⁸¹ Mjøstårnet, som stod ferdig i 2019 og er bygget i limtre og massivtre, er 18 etasjer høyt.⁸² I Japan har selskapet Sumimoto Forestry Co. begynt å legge planer for et høyhus i tre med 70 etasjer.⁸³

Som vist i beregningene av kontorbygg med ulike bærekonsepter (se kapittel 3.9.3), har materialvalg i bæresystem svært stor betydning for hvor stor utslippsreduksjon som kan realiseres i nye bygg som oppføres. Kombinasjonen av en rivende utvikling innen både lavkarbonbetong og trebyggeri har ført til at tekniske spørsmål knyttet til bruk av disse byggematerialene kanskje er de hyppigst diskuterte i bransjen per i dag. Vi vil derfor konsentrere oss om betong og tre i dette delkapitlet. Det er imidlertid viktig å ikke skape et motsetningsforhold mellom å bygge i tre vs. betong. ettersom det finnes mange gode eksempler på at betong og tre kan benyttes i kombinasjon med gode resultater for beregnede utslipp.

Per i dag finnes det ikke massivtredekker som kan oppnå samme spenn som armerte betongdekker. I prosjekter som krever store spenn og åpne arealer kan derfor betong være mest hensiktsmessig. I tillegg kan det være utfordringer med brannprosjektering og akustisk prosjektering i massivtrebygg. Det finnes foreløpig ikke preaksepterte ytelser for brannsikkerhet for bygninger på over fire etasjer med bærende konstruksjoner i massivtre.

Konstruksjoner med stor masse reduserer lyden vesentlig mer enn lette konstruksjoner. Lettere bygg er en utslippsmessig fordel med hensyn til fundamentering, men er ikke gunstig for akustiske forhold.

⁸¹ <https://www.arkitektur.no/svartlamoen-barekraftige-ungdomsboliger?tid=158202>

⁸² <https://www.moelven.com/mjostarnet/>

⁸³ www.telegraph.co.uk/news/2018/02/14/japanese-company-plans-worlds-tallest-wooden-building/

En av hovedutfordringene med massivtrebygg når det kommer til akustikk er tapt masse i skillevegger og etasjeskiller, som gir dårligere lydisolering både for trinnlyd og luftlyd sammenliknet med betongvegger og betongdekker. Dette medfører at skillekonstruksjoner av massivtre må utføres med en tilleggskonstruksjon på minst en av sidene av elementet. Et vanlig tiltak for etasjeskiller er å øke flatevekten ved å tilføre sand/grus eller påstøp av betong over massivtredekket. For skillevegger kan det tilføres en utforing med platekledning. Koblingen mellom etasjeskiller, skillevegger og øvrige bæresystemer er dessuten avgjørende for tilfredsstillende lydisolasjon og å redusere flanketransmisjon. God knutepunktsdemping gir mindre lydoverføring i form av flanketransmisjon.

Bruk av lavkarbonbetong, det vil si betong med redusert innhold av sementklinker til fordel for tilslagsstoffer som flyveaske eller slagg, kan være praktisk utfordrende på byggeplass eller i produksjon av betongelementer på grunn av en mer langsom fasthetsutvikling (herdetid). Flyveaske brukes både som tilsetningsmateriale ved produksjon av sement, og som tilsetningsmateriale ved betongproduksjon. Slagg brukes i hovedsak som tilsetningsmateriale ved produksjon av sementer av typen CEM II og CEM III, og gir et lavt sementforbruk for å oppnå en gitt støpelighet.

Ifølge Norsk Betongforening⁸⁴, kan dette kan være ugunstig der det er lagt opp til korte produksjonssykluser, f. eks. i elementindustrien. Når tilsetningsmaterialene males inn som en del av sementen er det vanlig å øke finmalingsgraden på det ferdige sementproduktet for delvis å kompensere for den langsomme fasthetsutviklingen. Ved tilsetning av flyveaske eller slagg direkte i betongproduksjonen er det ikke mulig å kompensere for langsom fasthetsutvikling uten å senke masseforholdet, og dermed øke bindemiddelinholdet. Det er som regel uaktuelt å øke bindemiddelinholdet når hensikten er å oppnå lavkarbonbetong. I praksis er det likevel bare i lavkarbon A, lavkarbon Pluss og Lavkarbon Ekstrem at effekten på fasthetsutviklingen er så stor at den vil kunne påvirke rivingstiden og produksjonssyklusene.

Selv om betong med flyveaske alltid har en mer langsom fasthetsutvikling, er den mindre temperaturfølsom ved lave temperaturer enn vanlig konstruksjonsbetong. Det vil si at forskjellen i fasthetsutvikling mellom betonger med og uten flyveaske er mindre ved lave temperaturer enn ved høye. Herdetiden på byggeplass er derfor sterkt avhengig av utetemperaturen. Betong med høy andel flyveaske kan bruke lenger tid på å herde enn normalt ved kalde temperaturer. Det er stort sett fra lavkarbonklasse A til Ekstrem at effekten på fasthetsutvikling kan være så stor at den vil kunne påvirke herdetiden vesentlig. Det må derfor planlegges for i byggeprosessen. Lavkarbon B kan brukes som vinterbetong med helt ordinære tiltak. Betong i klasse Lavkarbon A vil kunne gi behov for ekstra tiltak som økt bruk av isolasjonsmaterialer. Ved bruk av betong i klassene Lavkarbon Pluss og Lavkarbon Ekstrem må det påberegnes spesielle tiltak ved vinterproduksjon, for eksempel kombinasjon av tildekking med isolasjonsmaterialer og fyring.

Et spørsmål som også kan være betimelig, er om den eneste måten å møte klimautfordringene i byggevarerindustrien er ved å utvikle mer klimavennlige produkter med samme funksjonalitet som de bygningskomponentene som brukes i byggebransjen dag? Er det for eksempel noen materialer vi har forlatt til fordel for en fossilkrevende industriell byggeprosess, som kunne vært tatt inn i varmen igjen, eller vært forsket mer på? I Norden har for eksempel bygging ved hjelp av stampet jord og leire nesten forsvunnet, på tross av at det var vanlig i førmoderne tid. Plantebaserte materialer, som halm, lin og hamp, som i likhet med trevirke binder karbondioksid fra atmosfæren, er lite brukt i bygninger i dag. I hvert fall innenfor småhussegmentet er det stort potensial for å eksperimentere mer med materialer som er klimavennlige fordi de ble utviklet i en tid da billig fossil energi ikke fantes. Det er også mulig å utvikle nye produkter som baserer seg på «lavteknologiske» løsninger, som f.eks. «hempcrete», et komposittmateriale som består av hampfiber, kalk og vann.⁸⁵ En avveining av hvordan klimapåvirkningen av slike materialer vil være i et livsløp vil være på sin plass, i tillegg til

⁸⁴ Norsk Betongforening, Publikasjon 37 Lavkarbonbetong, 2019

⁸⁵ www.researchgate.net/publication/266467019_Bioclimate_envelopes_made_of_lime_and_hemp_concrete

at sammenlikninger av løsningsvalg alltid må gjøres på grunnlag av oppnådd funksjon i bygget mht. tekniske krav.

Tiltak for å redusere de tekniske og praktiske barrierene mot bruk av klimavennlige materialer i råvareutvinnings- og produksjonsfasen

- *Flere av løsningene som har fungert i pilotprosjekter kan dokumenteres og bli preaksepterte løsninger med hensyn til krav til styrke, stabilitet, levetid, brann, lyd, akustikk, energi, spennretning, spennlengder, geometri osv.⁸⁶*
- *Forskningsprogrammer for utvikling, uttesting, teknisk godkjenning og dokumentasjon på nye og bedre klimavennlige materialer og bygningskomponenter som kan konkurrere med konvensjonelle materialer⁸⁷*
- *Forskningsprogrammer som utforsker hvordan man kan reintrodusere klimavennlige «førmoderne» byggematerialer og -metoder på markedet, både med hensyn til utvinning av råmaterialer, produksjon av bygningskomponenter, uttesting, teknisk godkjenning og dokumentasjon*

4.3.1.2. Omsetning og logistikk

Manglende tilgang på klimavennlige materialer kan utgjøre en barriere i Norge i dag. Variasjoner i tilgjengelig bindemiddel, tilslagssegenskaper og transportforhold medfører at det kan variere fra region til region hva som er mulig å oppnå i klimagassutslipp for ulike betongtyper. Ifølge Norsk Betongforening er tilgjengelighet på bindemidler med lavt klimagassutslipp ofte utslagsgivende faktor for betongens klimagassutslipp. Bindemidler med særlig lavt klimagassutslipp er i dag tilgjengelig langs kysten i Sør-Norge. På forespørsel kan det også leveres langs resten av kysten nordover, men dette vil ofte bare være aktuelt for større prosjekt ettersom det er begrenset lagerkapasitet.

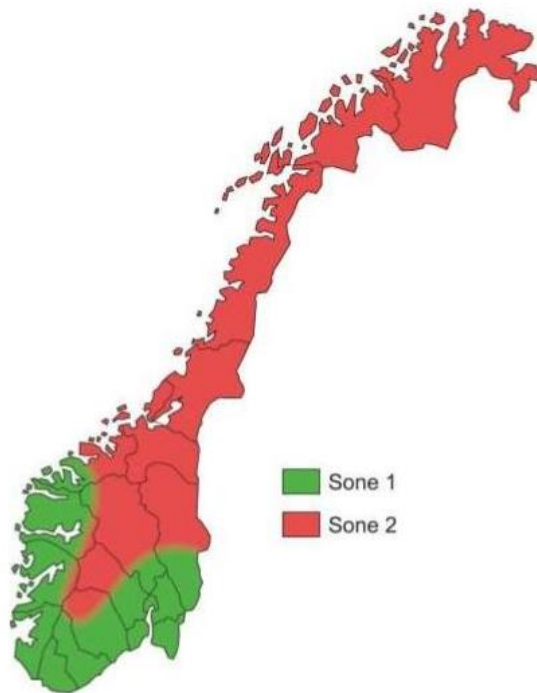
I Norsk Betongforenings Publikasjon 37 har man inndelt Norge i 2 soner mht. tilgjengeligheten på lavkarbonbetong. Sonene illustrer hvordan summen av tilgjengelighet av bindemidler, tilslagskvalitet og transport typisk påvirker betongens klimagassutslipp i et område. De understreker også at det er regionale forskjeller utover dette, og at sonene kun må betraktes som en indikasjon. Sone 1 er områder hvor det ligger godt til rette for å oppnå lave klimagassutslipp, det er imidlertid bare området rundt byene Oslo, Bergen og Stavanger som per dato har ordinær tilgang til bindemiddel for å kunne produsere Lavkarbon Ekstrem. I sone 2 vil betongen ofte produseres med tilslag som gir større bindemiddelvolum enn gjennomsnittet, samt at transportavstander for sementen i store deler av sonen fører til at betong produsert her typisk vil oppnå høyere klimagassutslipp enn i sone 1.

At lavkarbonbetong er enklere oppnåelig i sone 1 betyr i praksis at slike betonger da kan brukes med større fleksibilitet, ettersom flere betongfabrikker vil kunne klare å levere betong innenfor grenseverdiene for de aktuelle lavkarbonklassene. I sone 2 vil det typisk være nødvendig med større tiltak som igjen ofte påvirker betongens ferske og herdede egenskaper for å komme innenfor grenseverdien, eller det vil være nødvendig med enda sterkere tiltak. Situasjonen kan endres dersom

⁸⁶ Ibid.

⁸⁷ Lavutslippsmaterialer i bygg. Barrierer og muligheter. Nibio Rapport Vol. 6 Nr. 20. 2020

miljøvennlige bindemidler gjøres tilgjengelig i nye områder, så det vil alltid være viktig å undersøke med aktuelle betongleverandører.



Figur 41 Regional tilgjengelighet av lavkarbonbetong i Norge, inndelt i Sone 1, der det er bedre tilgang på lavkarbonbetong, og sone 2, der tilgangen er mer begrenset

Bruk av lavkarbonvariantene med lavest utslipp fordrer per i dag spesialbestilling eller plasstøping. I tillegg kan manglende dokumentasjon på tekniske egenskaper for enkelte klimavennlige materialer utgjøre en barriere mot bruk. Her er imidlertid markedet i rask endring, og økt etterspørsel etter lavutslippsløsninger må forventes å føre til endret praksis (se mer om markedsmessige barrierer mot omsetning og logistikk av klimavennlige materialer i kap. 4.3.3.2).

4.3.1.3. Prosjektutvikling

En viktig barriere mot bruk av klimavennlige materialer er utydelige målsettinger for klimagassutslipp og manglende forankring av mål hos alle aktører i prosjektorganisasjonen. Dette kan gjøre at de klimavennlige løsningene går tapt underveis i prosessen. For å utvikle et integrert design- og materialkonsept som svarer ut mål om klimagassutslipp kreves det god kommunikasjon og forståelse av hvilke materialer og bygningsdeler som spiller en spesielt viktig rolle for klimagassutslippene i det aktuelle bygget. Derfor er det avgjørende å etablere et godt samspill mellom ulike fag på et tidlig tidspunkt. For å oppnå dette vil det kunne være nødvendig å tilpasse rutiner i prosjektutviklingsleddet, og forskyve arbeidsmengden mellom fasene av prosjektutvikling og prosjektgjennomføring noe.⁸⁸

Et tiltak for å sikre forståelse og engasjement fra de ulike fagene kan være å konkretisere hvordan det overordnede klimagassmålet får betydning for hvert fag. Dette kan for eksempel gjøres ved at det utarbeides et overordnet klimagassbudsjett i tidligfase som vurderer konsept, geometri og ulike materialløsninger for å få et bilde på hvilket spillerom som finnes for ulike bygningsdeler. En mulighet kan være å tilegne et slags klimagassbudsjett for ulike bygningsdeler, men for å unngå

⁸⁸ Ibid.

suboptimalisering og «flytting» av klimagassutslipp til andre steder i bygget bør det være slingringsmonn i budsjettet.

Dersom det er mål om store reduksjoner i klimagassutslipp er grunnarbeid, fundamenter og bæresystemet spesielt viktig å ta i betraktning tidlig, fordi disse kan stå for store bidrag til klimagassutslipp. Konsept for fasader bør også vurderes tidlig i prosjektet, før den totale løsningen låses. Dersom slike vurderinger gjøres for sent, kan det føre til at det blir krevende, hvis ikke umulig, å nå et mål om reduksjon av klimagassutslipp. I beste fall vil det sette ekstra stort press på løsnings- og materialvalg for resterende bygningsdeler. Ved å kartlegge handlingsrommet for ulike materialvalg tidlig, vil man ha større mulighet til å velge hvilke bygningsdeler som vil kreve ekstra tiltak for å redusere klimagassutslippene, og hvilke bygningsdeler som kan ha litt slingringsmonn i klimagassregnskapet. Tidlig i prosjektet vil dessuten terskelen for å vurdere alternative løsninger være lavere enn når prosjekteringen er godt i gang.

Valg av entrepriseløsning har betydning for oppfølging av målene for. Hvilken entrepriseløsning som er best vil avhenge av partenes kompetanse og erfaring. Dersom byggherre har høy bestillerkompetanse (se mer om kunnskapsmessige barrierer i kap. 4.3.5.3), og er i stand til å beskrive funksjoner og ytelser entydig og detaljert nok til at prosjektet når sine klimamål, vil en utførelsesentreprise kunne være et bra virkemiddel. Dersom entreprenøren har mye kunnskap og erfaring med å bygge klimavennlig og byggherre mindre erfaring, vil en totalentreprise kunne være et bra alternativ. Ellers kan man velge en mellomting, en samspillsentreprise, som vil kunne bidra til å fordele ansvar og risiko på byggherre og entreprenør, og dermed gir et bedre grunnlag for å satse på utvikling av nyskapende løsninger

I tillegg til forankring av mål, er oppfølging og målstyring viktig gjennom hele prosjektet. Dersom det ikke finnes definerte prioriteringer ved eventuelle målkonflikter kan fort krav til klimagassutslipp måtte vike, spesielt hvis kostnadene øker.

Tiltak for å redusere de tekniske og praktiske barrierene mot bruk av klimavennlige materialer i prosjektutviklingsfasen

- *Mål for klimagassutslipp bør settes så tidlig som mulig for å sikre god forankring og prioritering ved målkonflikter, noe som vil redusere risiko for omprojektering og merkostnader.*
- *Bruk av klimagassberegninger som styringverktøy i alle faser kan bidra til å optimalisere løsningsvalg mht. klima*
- *Integrerte designprosesser og samspillskontrakter mellom de involverte aktørene kan gi et bedre grunnlag for å ta beslutninger om klimavennlig materialbruk som det er mer realistisk at blir fulgt opp.⁸⁹*
- *Mål for klimagassutslipp og eventuelle krav til bygningsdeler eller materialer må kommuniseres godt og entydig i tilbudsgrunnlag, for å unngå misforståelser eller feilprising. Innkjøp av materialer må dessuten følges opp gjennom dokumentasjon på at materialene som kjøpes inn og leveres til byggeplass faktisk overholder de kravene det er prosjektert med.*
- *Å knytte sanksjoner og/eller bonus-/malusordninger til klimakrav gir større insentiv til at kravene oppfylles*

4.3.1.4. Prosjektering

I prosjekteringsleddet har man samme praktiske utfordringer som i prosjektutviklingsleddet knyttet til målrettet samhandling mellom alle involverte aktører. I prosjektering av komplekse bygg vil det gjerne være ulike rådgivere og arkitekter involvert, som har ulik kompetanse og forskjellige ansvarsområder. Dersom mål om bruk av klimavennlige materialer ikke blir prioritert høyt nok kan

⁸⁹ Lavutslippsmaterialer i bygg. Barrierer og muligheter. Nibio Rapport Vol. 6 Nr. 20. 2020

det gå tapt i møte med alle andre hensyn som skal tas. Helhetlig prosjektering med mål om lavest mulig utslipp vil føre til at man møter færre barrierer enn dersom man forsøker å innføre enkelttiltak i en i stor grad ferdigprosjektert løsning.

Miljørådgivere, eller andre med kompetanse på klimavennlig materialbruk, vil f.eks. ikke alltid klare å overbevise arkitekt om at klimavennlige materialvalg er gode nok alternativer til konvensjonelle materialer. Det vil også kunne være utfordringer med å få byggingeniør (RIB) med på klimavennlige alternativer som løser det som kreves av bæresystemet, akustiker på klimavennlige materialvalg som samtidig sikrer at innervegger og himlinger overholder lydkrav, bygningsfysiker på løsninger for isolasjonstykkelser og -typer, og energirådgiver på optimale løsninger for glassarealer i fasader. Den viktigste barrieren i prosjekteringsleddet kan dermed sies å være at miljørådgivere ofte ikke er godt nok integrert i tverrfaglig prosjektering til å kunne løpende vurdere løsninger for å finne det som er optimalt. Dette kan særlig være en utfordringer når beslutninger skal tas raskt, ettersom det å vurdere som er mest klimavennlige løsning i det spesifikke prosjektet kan kreve at det gjennomføres beregninger, for eksempel knyttet til spesifikk transportdistanse fra aktuelle leverandører.

Et eksempel kan være prosjektering med massivtre. I prosjekter med ønske om bruk av massivtre kan det være en stor fordel å bruke rådgivere som har jobbet med massivtreprosjekter tidligere. Erfaring med brann- og akustikkprosjektering for massivtrebygg minimerer risiko for overdimensjonering og overdreven materialbruk for å overholde tekniske krav. Overdimensjonering kan i verste fall øke klimagassutslippene fra materialbruk så mye at fordelene med bruk av massivtre utliknes. Da kan det i noen tilfeller være bedre å bruke betong lavkarbonbetong klasse A eller bedre klasser.

Massivtre kan benyttes i eneboliger, rekkehus, bygninger på inntil 4 etasjer og som svalgangsdekke i bygg inntil 2 etasjer uten store utfordringer. Massivtrebygninger på over 4 etasjer krever imidlertid høy kompetanse på brannsikring. Fordi det foreløpig ikke finnes preaksepterte ytelser for brannsikring for bygninger på over fire etasjer med bærende konstruksjoner i massivtre, må dette dokumenteres gjennom analytisk prosjektering at den aktuelle løsningen overholder funksjonskravene. Dette kan være kompliserende for prosjektet, og bidrar til økt prosjekteringstid og kostnader for brannteknisk prosjektering. Manglende erfaring med prosjektering for massivtrekonstruksjoner kan generelt sett tilføre prosjektet usikkerhet og være en barriere for å velge tre som konstruktivt element. Økt risiko forbundet med brannteknisk prosjektering kan også gi utslag i prising i anbudsprosessen, og dermed gjøre at massivtreprosjekteringer ikke blir konkurransedyktige på pris.

Et annet eksempel gjelder trykkfast isolasjon. God kommunikasjon mellom miljørådgiver, bygningsfysiker og RIB er viktig for å sikre at det ikke brukes isolasjon med høyere trykkfasthet enn nødvendig. Bygningsfysiske hensyn kan stille krav til trykkfast isolasjon i deler av et bygg. For eksempel i grunn under bunnplate, eller i takterrasser. Der det kreves trykkfast isolasjon utelukkes de isolasjonstypene som har lavest klimafotavtrykk, fordi isolasjonens trykkfasthet og dermed tetthet henger tett sammen med klimafotavtrykket. Det er imidlertid forskjell på trykkfast isolasjon, og klimafotavtrykket kan reduseres ved å velge mineralull (steinull/glassull) eller EPS med lavest mulig trykkfasthet fremfor XPS der det er mulig.

Tiltak for å redusere de tekniske og praktiske barrierene mot prosjektering med klimavennlige materialer:

- *Bruk av klimagassberegninger som styringverktøy gjennom hele prosjekteringen.*
- *For å finne optimale løsninger for materialvalg i et prosjekt er det fordelaktig med et tett samarbeid mellom miljørådgiver, arkitekt og de andre prosjekterende. En integrert klimadesignprosess kan være en måte å tilnærme seg dette på.*

- Sikre god forankring og forståelse for mål om klimagassreduksjon i prosjektet. Miljørådgiver/ansvarlig for klimagassregnskapet bør inkluderes og synliggjøres i prosjektgruppen fra et tidlig tidspunkt. Det kan være nyttig å holde et møte der miljørådgiver orienterer om hvordan et klimagassregnskap settes opp, hvilke bygningsdeler som typisk forårsaker størst klimagassutslipp, og hvilke alternativvurderinger som kan være aktuelle å gjøre i prosjektet. Sammen bør prosjektgruppen og prosjektledelsen bli enige om en strategi for hvordan målet skal tilnærmes: Hvilke alternativer som skal vurderes, skal det lages et innledende tidligfaseregnskap, hvilket underlag trengs for beregninger. Et slikt møte vil ikke bare øke bevisstheten i hele prosjektgruppa, men danne grunnlag for tettere kommunikasjon videre i prosjektet.

4.3.1.5. Montering/bygging

Det er ingen åpenbare tekniske og praktiske barrierer mot å bygge med klimavennlige materialer, utfordringen er å sikre samsvar mellom det som bygges og klimamål satt i tidlig fase. For eksempel kan krav til raske byggeprosesser hindre klimavennlig materialbruk ved at det velges prefabrikkerte løsninger med færre valgmuligheter. På samme måte som prosjektutviklings- og prosjekteringsleddet er tydelig målstyring, godt samspill og en integrert prosess viktige virkemidler for å sikre klimavennlig materialbruk i det ferdige bygget.

Tiltak for å redusere de tekniske og praktiske barrierene mot bygging med klimavennlige materialer:

- Valg av entrepriseløsning som i størst mulig grad sikrer at målene for klimagassutslipp følges opp i byggefase. I kapittel 4.3.1.3 om tekniske og praktiske barrierer mot prosjektutvikling med klimavennlige materialer står det mer om dette.

4.3.1.6. Bruk/vedlikehold

Nyskapende materialer og byggemetoder kan gi bygningstekniske utfordringer i bruksfasen som er vanskelig å oppdage før de er testet over lengre tid. F.eks. har man hatt utfordringer med massivtre som sprekker⁹⁰, samt de nå velkjente akustiske utfordringene i massivtrebygg som ikke alltid var tatt høyde for i pionerbyggene. Slike startvansker vil man imidlertid trolig finne løsninger på etter hvert, og er en midlertidig barriere.

Tiltak for å redusere de tekniske og praktiske barrierene mot bruk av klimavennlige materialer i bruks/vedlikeholdsfasen:

- Fortsatt forskning og utvikling av stadig bedre klimavennlige materialer og byggeteknikker som minimerer tekniske utfordringer basert på erfaringer i bruksfasen

4.3.2. Regulatoriske barrierer

Regulatoriske barrierer mot bruk av klimavennlige materialer handler i dag først og fremst om mangelen på krav som regulerer klimavennlig materialbruk i nye bygg, både i arealplanlegging i kommunene og Teknisk forskrift (TEK).

4.3.2.1. Utvinning av råmaterialer og produksjon av bygningkomponenter

I dag er det krav om at bygningkomponenter skal ha utførlig dokumentasjon av egenskaper som gjør det mulig å beregne hvilke klimagassutslipp man kan forvente å få når komponentene er i bruk. Det stilles imidlertid ennå ikke krav om EPD eller tilsvarende miljødeklarasjon som sier noe om klimagassutslipp som skjer i forbindelse med resten livsløpet til bygningkomponentene, inkludert utvinning og produksjon. Dersom prosjekter bruker BREEAM-NOR som styringsverktøy får man

⁹⁰ <https://www.tu.no/artikler/byggskadefond-advarer-massivtre-sprekker-i-flere-danske-bygg/474685>

poeng for å velge materialer med EPD. Et myndighetskrav om EPD eller tilsvarende for nye bygningskomponenter som omsettes vil kunne bidra til at det blir enklere å stille krav om maksimale utslippstall når materialer kjøpes inn, og dermed øke etterspørselen etter klimavennlige bygningskomponenter og redusere etterspørselen etter lite klimavennlige bygningskomponenter.

Tiltak for å redusere de regulatoriske barrierene mot produksjon av klimavennlige bygningskomponenter:

- *For å øke etterspørselen etter klimavennlige bygningskomponenter, og øke tilfanget av miljødokumentasjon, kan det stilles krav om dokumentasjon med EPD for nyproduserte materialer som omsettes på markedet. Med flere EPDer på markedet, vil det være lettere å gjennomføre representative beregninger og stille krav om maksimale utslippstall.*

4.3.2.2. Omsetning og logistikk

Klimagassutslipp i forbindelse med transport er en betydelig del av de totale klimagassutslippene forbundet med materialbruk. Krav om klimagassvurderinger i et livsløpsperspektiv vil kunne synliggjøre dette, men det er viktig at utslipp i forbindelse med transport blir tilpasset beliggenheten til hvert enkelt prosjekt. Rammekrav i TEK knyttet til klimagassutslipp fra materialbruk som inkluderer transport vil kunne gjøre at flere velger materialer med kortere reisevei, f.eks. norskprodusert stein og treverk framfor naturstein fra Kina og treverk fra Sentral-Europa og Baltikum. Det er fortsatt noe juridisk usikkerhet knyttet til å stille krav til klimagassutslipp fra transport, som også i seg selv er en barriere.

Dersom det stilles krav til klimagassutslipp som omfatter transportfasen, er det viktig å være klar over at verdier i EPDer som ikke er prosjektspesifikke kun representerer en gjennomsnittlig transportdistanse. Prosjektspesifikke EPDer vil derimot være tilpasset det faktiske prosjektets beliggenhet.

Tiltak for å redusere de regulatoriske barrierene mot omsetning av klimavennlige bygningskomponenter:

- *Krav om klimagassvurderinger må inkludere transport tilpasset hvert enkelt prosjekt*

4.3.2.3. Prosjektutvikling og prosjektering

Dersom prosjektutviklere frivillig velger å miljøklassifisere prosjekter gjennom f.eks. BREEAM-NOR, blir det gitt poeng for å dokumentere at man har brukt klimavennlige materialer og gjennomført livsløpsvurderinger av klimagassutslipp for utvalgte bygningskomponenter der det har konsekvenser for prosjektet. Man får også poeng for å velge bygningskomponenter med EPD.

En barriere mot mer utstrakt bruk av klimavennlige materialer er at det ikke stilles tilsvarende krav i det nasjonale regelverket. Det stilles ikke rammekrav (f.eks. målt i CO₂-ekvivalenter per kvadratmeter) eller tiltakskrav til materialbruk i nybygg eller rehabiliteringsprosjekter i Teknisk forskrift (TEK). Det er heller ikke krav om å gjøre klimagassvurderinger, som LCA, noe som blant annet har vært begrunnet med manglende enighet om hvordan man vurderer klimagassutslipp forbundet med materialbruk. Med *Norsk standard for klimagassberegninger (NS 3720:2018)* er dette en mulighet. Det er mange andre krav å ta hensyn til, og når det ikke stilles krav om noe vil det fort komme langt nede på lista over hva prosjektutviklere velger å prioritere å bruke tid og penger på.

I forbindelse med revisjon av teknisk forskrift til plan- og bygningsloven, kommende TEK20, undersøkes mulighetene for å stille klimagasskrav til materialer. Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) har gjennomført dialogmøter og fått utredet ulike innretninger. Forslag er oversendt Kommunal- og moderniseringsdepartementet (KMD) og skal på offentlig høring. Det er per i dag ikke opplysninger om hvordan slike krav kan bli, men på dialogmøtene er det kommunisert muligheter for at det

innføres et krav om livsløpsvurderinger (LCA-vurderinger) for materialer i bygg over en viss størrelse, mulige rammekrav eller alternativt tiltakskrav. Det vil si innretninger som ligner på energikrav i TEK⁹¹.

Våre naboland arbeider for tiden med de samme problemstillingene rundt hvordan et lovverk som regulerer klimavennlig materialbruk skal se ut. Siden 2019 har Nordisk ministerråd arbeidet for å samordne metoder for klimagassvurderinger og innfasing av regulatoriske krav i de nordiske landene. Sveriges svar på Direktoratet for byggkvalitet, Boverket holder på å utvikle et lovverk for klimadeklarasjon av bygg som de planlegger å iverksette i 2022, som skal inkludere grenseverdier for klimapåvirkning og livssyklusvurderinger.⁹²

Et annet spørsmål man kan stille seg, er om det kan og bør inkluderes unntaksbestemmelser fra krav i TEK som omhandler energibruk i drift for konstruksjoner som består av spesielt klimavennlige materialer, og ikke har samme tekniske egenskaper som konvensjonelle materialer. For eksempel kunne man formulert egne bestemmelser om tradisjonelle byggematerialer, som leire, jord, hamp og halm etter modell fra unntaksbestemmelsene om lafteverk. Uansett vil en samlet vurdering av klimagassutslipp for bygg gjennom hele levetiden, inkludert klimagassutslippene knyttet til materialbruk og transport, kunne gi bedre grunnlag for å vurdere hvor klimavennlig ulike bygg egentlig er.

Få kommuner stiller spesifikke krav om at prosjektutviklere prioriterer klimavennlig materialbruk gjennom arealplanleggingen. Det er også uklart hva kommunene kan kreve i forbindelse med arealplanlegging og hvordan man bør gå frem.

Plan- og bygningsloven kan brukes til å stille krav til at man gjør klimagassvurderinger og beregninger for bygg og materialer, men dette er ikke gjort mange steder. Bergen kommune har i kommuneplanen fra 2018 stilt krav om at det skal redegjøres for tiltak for å minimere klimagassutslipp, og krever klimagassregnskap for vesentlige naturinngrep, nybygg større enn 1000 kvadratmeter BRA og valg mellom riving eller bevaring av eksisterende bygg. I retningslinjene heter det at «byggematerialer bør være fornybare og ha lavest mulig CO₂-fotavtrykk», samt at «det bør tilrettelegges for bruk av tre».⁹³ Kommuneplanen setter klimagassutslipp fra materialbruk på dagsorden, men stiller ikke konkrete krav til klimavennlig materialbruk. Lørenskog kommune stiller krav til at det skal gjennomføres klimagassberegninger for alle nye kommunale bygg, og jobber med å implementere reduksjonsmål⁹⁴.

I noen kommuner har man forsøkt å stille krav spesifikt om materialbruk. Kristiansand kommune har stilt krav om bruk av massivtre i bærekonstruksjoner i reguleringsplaner, og fått støtte fra KMD i at det er hjemmel for å stille krav til spesifikk materialbruk i Plan- og bygningsloven for å ivareta hensyn til «miljø, kulturmiljø og helhetlig uforming».⁹⁵ Dette har skapt mye negativitet fra konkurrerende aktører i bransjen, og er dessuten ikke nødvendigvis den beste strategien for å redusere utslipp (se kapittel 3.1). Det er mer hensiktsmessig å sette materialnøytrale krav som regulerer klimagassutslipp enn å spesifisere hvilke materialer som skal brukes.

Forvaltningen av lovverket knyttet til offentlige anskaffelser (anskaffelsesloven/LOA) kan endres ved å gi offentlige prosjektutviklere føringer om å vekte klimahensyn tyngre. I veilederen til forskriften

⁹¹ https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2651382/NIBIO_RAPPORT_2020_6_20.pdf?sequence=4

⁹² Lavutslippsmaterialer i bygg. Barrierer og muligheter. Nibio Rapport Vol. 6 Nr. 20. 2020

⁹³ Ibid.

⁹⁴ <https://www.lorenskog.kommune.no/siste-nytt/ny-veileder-skal-hjelpe-lorenskog-kommune-a-bygge-mer-klimavennlig.115066.aspx>

⁹⁵ «Departementet besvarer spørsmål om pbl. § 12-7 gir hjemmel til å gi reguleringsbestemmelse om bruk av tre i bygningskonstruksjon», datert 31. mai 2019 (Saknr. 18/5168-2, Kristiansand kommune)

står det at «Oppdragsgiveren skal legge vekt på å minimere miljøbelastningen og fremme klimavennlige løsninger ved sine anskaffelser og kan stille miljøkrav og kriterier i alle trinn av anskaffelsesprosessen der det er relevant og knyttet til leveransen. Der miljø brukes som tildelingskriterium, bør det som hovedregel vektet minimum 30 prosent.» 30 % vektning av miljø brukes ofte i dag, men da ligger alt som ikke handler om økonomi i denne potten, ikke bare klimahensyn. Det er for lite for å gi klimavennlige materialer et konkurransefortrinn i offentlige anskaffelser.

Referansenivåene presentert i denne rapporten kan benyttes til å stille krav til klimaprestasjon på to ulike måter. Nivåene kan benyttes på samme måte som man er kjent med fra bruk av referansebygg, dvs. å stille krav til at prosjekter dokumentere en viss reduksjon relativt til referansenivået. Det er også mulig å benytte en tilnærming der man ikke eksplisitt angir referansenivået, men i stedet setter en øvre ramme for utslipp, basert på ønsket reduksjon.

Under følger et regneeksempel som illustrerer forskjellen på reduksjonsmål relativt til en referanseverdi, og en øvre ramme for utslipp, der vi har lagt til grunn at man ønsker at utslipp skal ligge 30 % lavere enn referansenivået (dette er ment kun som en illustrasjon på hvordan man kan utforme krav, og ikke som en anbefaling til ambisjonsnivå):

Referanse: *Klimagassutslipp fra materialbruk skal reduseres med minst 30%, sammenliknet med referansenivået på 360 kg CO₂e/m²*

Utslippsramme: *Klimagassutslipp fra materialbruk skal ikke overstige 250 kg CO₂e/m²*

I praksis vil måltallet som skal dokumenteres være det samme (i eksempelet over, 250 kg CO₂e/m²), men ved reduksjonsmål oppgir man referansenivået eksplisitt, mens referanserammen er implisitt i rammekravet. Fordi man kun angir det ønskede måltallet ved krav til utslippsramme vil rammekrav fremstå som enklere og mer entydig enn reduksjonsmål. Ved å sette en fast øvre ramme eller budsjett for utslipp flyttes oppmerksomheten vekk fra referansen, og over på det konkrete prosjektet, og hvilke tiltak som må gjøres for å nå utslippsbudsjettet. Rammekrav vil derfor bidra til at man fjerner seg fra diskusjoner rundt hvor representativt referansenivået er, som har vært en kjent problematikk knyttet til bruken av referansebygg.

Selv om reduksjon relativt til referansebygg har vært den mest vanlige måten å stille krav til klimaprestasjon for bygg i Norge, har rammekrav for utslipp også blitt benyttet for bygg, blant annet av Undervisningsbygg. Bransjen er også godt kjent med rammekrav fra energirammene i TEK, der det stilles krav til maksimalt beregnet energibehov iht. bygningstype. Øvre ramme for utslipp har også en klar parallell til kostnadsrammer, og har derfor en fordel i at de er enkle å forstå og kommunisere. Vi mener derfor at den mest hensiktsmessige måten å benytte de beregnede nivåene presentert i denne rapporten er som utgangspunkt for rammekrav.

Eventuelle rammekrav krav til klimagassberegninger følge retningslinjene gitt av NS 3720 for omfang og systemgrenser. Omfang «Basis, uten lokalisering» anbefales på nåværende tidspunkt, ettersom tilgangen på data for tekniske systemer er begrenset. Det bør i fremtidige klimaregnskap likevel etterstribes beregninger som omfatter tekniske systemer, VVS og utendørs materialbruk, selv om utslippskrav kun er relatert til «Basis, uten lokalisering».

Som drøftet i kapittel 3.2.4.2, vurderes det som hensiktsmessig å utelate avhendingsfasen for rammekrav/reduksjonsmål til komplette klimagassberegninger for bygg, og denne fasen er ikke inkludert i beregnede referansenivåer. Imidlertid bør det stilles krav til at beregninger likevel skal omfatte avhendingsfasen i tråd med NS 3720, for å få frem bedre datagrunnlag og utvikle beregningspraksis.

Det anbefales at referansenivåer revideres med jevne mellomrom, for å sikre at de gjenspeiler utvikling i byggebransjen mht. hva som betraktes som standard løsnings- og materialvalg. Hvilket intervall for revisjon som er hensiktsmessig vil måtte vurderes dersom krav innføres, men det bør minimum gjennomføres revisjon av nivåer hvert 5. år. Man bør også vurdere å revidere referansenivåene ved nye versjoner av TEK, NS 3720, eller tilsvarende premissgivende dokumenter, som for eksempel Norsk Betongforenings Publikasjon 37.

Ved fremtidige revisjoner av referansenivåer, når man har opparbeidet erfaring med klimagassberegninger for materialbruk og tilfanget av EPDer for disse bygningselementene har økt, bør systemgrensene utvides f.eks. til «Avansert uten lokalisering». Dette vil dermed på sikt også omfatte aktiviteter på byggeplass, inkludert tomtebearbeiding. Det sistnevnte er spesielt aktuelt dersom klimagassberegninger gjøres før det er funnet en aktuell tomt for bygget (før fastsatt reguleringsplan).

Tiltak for å redusere de regulatoriske barrierene mot bruk av klimavennlige bygningskomponenter i prosjektutviklingsledder:

- *Regulere klimavennlig materialbruk i Teknisk forskrift (TEK), f.eks. ved å kreve at det skal gjennomføres klimagassberegninger for alle bygg over en viss størrelse eller ved å innføre rammekrav knyttet til grenseverdier for CO₂-ekvivalenter pr. kvadratmeter eller andre relevante mål knyttet til bruk, eller tilsvarende tiltakskrav*
- *Kommuner kan stille krav om klimagassvurderinger og klimavennlig materialbruk i arealplaner*
- *Stille materialnøytrale krav som regulerer klimagassutslipp, fremfor å spesifisere hvilke materialer som skal brukes*
- *Lov om offentlige anskaffelser kan foreslå en tyngre vektning av klimahensyn i forbindelse med offentlige anskaffelser*

4.3.2.4. Salg/utleie

Siden det ikke stilles krav om at klimagassutslipp fra materialbruk i nye bygg blir regnskapsført og synliggjort tilsvarende et byggs energieffektivitet, er det vanskelig å bygge opp en etterspørsel etter bygg med klimavennlige materialer (se mer om markedsmessige barrierer mot bruk av klimavennlige materialer i salg/utleieleddet i kap. 4.3.3.6).

Tiltak for å redusere de regulatoriske barrierene mot bruk av klimavennlige bygningskomponenter i salg/utleieleddet:

- *Krav om klimagassberegninger og -regnskap vil kunne skape en større etterspørsel etter klimavennlig materialbruk blant de som skal kjøpe eller leie byggene*

4.3.3. Markedsmessige barrierer

Det ville ikke vært hensiktsmessig å skille mellom klimavennlige materialer og konvensjonelle materialer hvis klimavennlige materialer var like utbredt på markedet som de ikke fullt så klimavennlige alternativene. Målet er at man ikke skal kunne skille mellom klimavennlige og konvensjonelle materialer, men slik er dessverre ikke situasjonen i dag. Både tilbud og etterspørsel etter klimavennlige materialer er lavere enn konvensjonelle materialer.⁹⁶

⁹⁶ Lavutslippsmaterialer i bygg. Barrierer og muligheter. Nibio Rapport Vol. 6 Nr. 20. 2020

4.3.3.1. **Utvinning av råmaterialer og produksjon av bygningskomponenter**

Det produseres ikke nok klimavennlige bygningskomponenter til å ta opp kampen mot konvensjonelle materialer på markedet i dag. Dette gjelder for eksempel metaller med høy andel resirkulert materiale, massivtre og lavkarbonbetong klasse A og bedre.

Fordi metodikken som benyttes i konvensjonelle klimagassregnskap iht. NS3700 gir uttelling for å benytte materialer med resirkulert innhold, er det ofte ønskelig å bruke stål, aluminium og andre metaller med høyest mulig resirkulert andel i miljøambisiøse bygg. Tilgangen på produkter med høyt innhold av skrapmetall er imidlertid varierende. For konstruksjonsstål er det for eksempel kun visse typer profiler som lages med høyt innhold av skrap, og det er ikke alltid disse profilene kan brukes i det aktuelle prosjektet. Det er også usikkerhet knyttet til nettoeffekten på globale klimagassutslipp som følge av økt etterspørsel etter skrapmetall. Per i dag er den globale etterspørselen etter skrapstål høyere enn tilgangen. Sett i et globalt perspektiv kan man argumentere for at økt bruk av skrapstål ett sted måtte føre til tilsvarende økt bruk av jomfruelig stål et annet sted, men det er usikkert hvordan etterspørselseffekter i avgrensede deler av markedet (for eksempel Europa/USA vs. Kina/India) påvirker totalen. Usikkerhet om reell klimagevinst kan imidlertid fungere som en barriere til at det stilles krav til metallprodukter med høy resirkuleringsgrad.

Tilgangen på massivtre er også begrenset, og kostnadene høyere enn mindre klimavennlige alternativer (se mer om økonomiske barrierer mot utvinning og produksjon av klimavennlige materialer i kap. 4.3.4.1). Det samme gjelder lavkarbonbetong, særlig i visse deler av landet. Dersom det ikke er mulig å få tak i klimavennlige materialer i nærheten, kan utslipp i forbindelse med transport ha en betydelig innvirkning på klimagassregnskapet.

En annen markedsmessig utfordring knyttet til produksjon av klimavennlige materialer handler om markedskonfliktene som oppstår når noen materialer stemples som mer miljøvennlige enn andre. I stedet for å konkurrere om å lage de mest klimavennlige bygningskomponentene brukes det i dag mye ressurser på å stille spørsmål ved eller forsøke å tilbakevise argumenter om at visse materialer er mer «miljøvennlige» enn andre. Konflikten mellom tre- og betongindustrien utgjør for eksempel en barriere mot en samkjørt innsats for å øke tilgangen på og etterspørselen av klimavennlige bygningskomponenter på markedet.

Tiltak for å redusere de markedsmessige barrierene mot produksjon av klimavennlige bygningskomponenter laget av klimavennlige råmaterialer

- *Insentiver for å øke produksjonen av klimavennlige bygningskomponenter i Norge vil øke tilbudet, og gjøre det enklere å få tak i klimavennlige materialer til nye byggeprosjekter*

4.3.3.2. **Omsetning og logistikk**

Siden produksjonen av bygningskomponenter generelt, og klimavennlige materialer spesielt, blir stadig mer sentralisert og konsentrert til visse områder, vil det være stor forskjell på tilgangen på klimavennlige materialer. Dette gjelder spesielt lavkarbonbetong i de nyeste klassene (se kapittel 4.3.1.2).

Norge er et langstrakt land, og måten bygningskomponenter kan transporteres på mellom ulike målpunkter og hvor mye klimagassutslipp det forårsaker varierer fra prosjekt til prosjekt. Det er ikke sikkert alle klimavennlige materialer kommer like godt ut når man regner med utslipp i forbindelse med transport. Forskjellen i klimagassutslipp må selvfølgelig vurderes opp mot konvensjonelle alternativer, siden fly- eller langtransport av byggematerialer ikke alltid er til å unngå i visse deler av landet. Langs kysten av Finnmark, hvor det ikke er tilgang på konstruksjonsvirke, ble f.eks. trebygg fra før krigen gjerne bygget av tømmer som var «prefabrikert» i Russland og fraktet til stedet som byggesett allerede for flere hundre år siden.

Det er ikke bare et lite utviklet marked som er en utfordring, det er også en stadig mer globalisert og sentralisert produksjon av bygningskomponenter. Når stein som er hugget i samme bygd blir valgt bort til fordel for stein fra Asia er det åpenbart at ikke konsekvenser for klimagassutslipp er priset inn.⁹⁷ Samme utfordringen har trevareindustrien i Norge, som stadig vekker blir utkonkurrert av rimeligere alternativer fra Sentral-Europa og Baltikum, uten at det alltid ropes altfor høyt om det når byggeprosjektene blir presentert som klima- eller miljøvennlige forbilder (se mer om økonomiske barrierer mot omsetning og logistikk av klimavennlige materialer i kap. 4.3.4.2)

Tiltak for å redusere de markedsmessige barrierene mot omsetning/logistikk av klimavennlige materialer

- *Støtte lokal, desentralisert produksjon og av klimavennlige materialer i Norge, samt skape økonomiske insentiver for å velge kortreiste materialer i nye byggeprosjekter*
- *Dersom utslippskrav (både på material- og bygningsnivå) som stilles i forbindelse med anskaffelser omfatter produksjon og transport til byggeplass fremmer bygningskomponenter med kortere reisevei*

4.3.3.3. Prosjektutvikling

For at klimavennlige materialbruk skal bli mer utbredt må etterspørselen øke. Etterspørselen av klimavennlige materialer har de siste årene vært preget av at det først og fremst har vært offentlige utbyggere og private utbyggere av store næringsbygg som har vært opptatt av å kutte klimagassutslipp i sine byggeprosjekter, i tillegg til spesielt interesserte privatpersoner. Det er i næringssegmentet konsepter som Powerhouse og Zero Emission Buildings (ZEB) har fått et fotfeste, mens kommersielle boligutbyggere, som står for en langt større del av den totale bygningsproduksjonen, i større grad har fortsatt som før.⁹⁸ Slik utviklingen av boligmarkedet har vært de siste tiårene i Norge, der beliggenheten i større grad enn kvaliteten på bygget bestemmer hva som selger, er det kanskje ikke så rart at ikke flere utbyggere har tenkt at det er verdt å investere i klimavennlige bygg og dermed klimavennlige materialer. Sånn sett er det kanskje ikke heller overraskende at det første storskala ombruksprosjektet i Norge, Kristian Augusts gate 13, er et kontorbygg.

Tiltak for å redusere de markedsmessige barrierene mot prosjektutvikling med klimavennlige materialer

- *Tiltak burde iverksettes for å øke etterspørselen etter klimavennlige materialer i boligmarkedet, f.eks. ved å overføre konsepter som har fungert for næringsbygg eller ved å stille strengere krav til klimavennlig materialbruk i Teknisk forskrift (se regulatoriske barrierer)*
- *Tilrettelegging for flere pilotprosjekter på klimavennlig materialbruk i boligbygg*

4.3.3.4. Prosjektering

Siden tilbudet av klimavennlige materialer er mindre enn konvensjonelle materialer, og det ikke alltid finnes enkle, standardiserte bygningstekniske løsninger, krever prosjektering med klimavennlige materialer gjerne litt mer av de involverte partene, og ikke minst samhandlingen mellom ulike fag (se mer om barrierer i prosjektering med klimavennlige materialer i kap. 4.3.1.4). Dette kan både gjøre at mange prosjekterende ikke kan, men også at noen ikke vil prosjektere med mer klimavennlige alternativer til konvensjonelle materialer, noe som reduserer etterspørselen etter klimavennlige materialer i prosjekteringsleddet.

⁹⁷ <http://www.bygg.no/article/1197979>

⁹⁸ Lavutslippsmaterialer i bygg. Barrierer og muligheter. Nibio Rapport Vol. 6 Nr. 20. 2020

Tiltak for å redusere de markedsmessige barrierene mot at prosjekterende benytter klimavennlige materialer

- *Utvikling, testing og godkjenning av preaksepterte løsninger for bygging med klimavennlige materialer som gjør det enklere for prosjekterende å velge disse*
- *Støtte til pilotprosjekter der man utvikler og tester ut metoder for å bygge med klimavennlige materialer*

4.3.3.5. Montering/bygging

Det kan være en utfordring å finne byggefirmaer med kompetanse på bygging med klimavennlige materialer, eller som ønsker å ta på seg opplevd eller reell risiko ved å bygge med klimavennlige alternativer til konvensjonelle materialer. Særlig i småhussegmentet og andre mindre byggeprosjekter kan utførendes kompetanse, erfaring og holdninger ha mye å si for hvilke materialer som velges.

Tiltak for å redusere de markedsmessige barrierene mot at prosjekterende benytter klimavennlige materialer

- *Utvikling, testing og godkjenning av preaksepterte løsninger for bygging med klimavennlige materialer som gjør det enklere for utførende å velge disse*
- *Støtte til pilotprosjekter der man utvikler og tester ut metoder for å bygge med klimavennlige materialer*

4.3.3.6. Salg/utleie

Etterspørselen etter bygg med klimavennlige materialer er avhengig av i hvilken grad sluttbrukerne faktisk prioriterer klimavennlig materialbruk, men også hvordan aktørene i byggebransjen opplever etterspørselen. I andre bransjer konkurrerer store merkevarer i dag om å vise mest miljø- og klimaengasjement og markedsføre seg som de «bærekraftige» alternativene, mer eller mindre berettiget⁹⁹. Tilsvarende ser det ut til å være en økende etterspørsel etter miljøkriterier i markedet for næringsbygg, siden stadig flere leietakere og kjøpere ønsker å profilere seg som framoverlente og miljøbevisste for å vinne markedsandeler og skille seg ut.

I Grønn Byggallianse sin rapport *Merverdien av grønne bygg* fra 2019 refereres det til en samtale med utviklingsdirektøren i KLP Eiendom, Eskil Rostad, som sier at «det går sakte, men vi ser en utvikling i retning av økt etterspørsel etter bærekraftige kvaliteter blant våre leietakere».

Undersøkelsen «Tenants shade of green» fra 2016/17, referert til i den samme rapporten, indikerte at opp mot 50% av de spurte leietakerne stilte miljøkrav ved leie eller vurderte å innføre slike krav. Og selv om mange av de spurte ikke var villige til å betale noe særlig mer for et «grønnere bygg», var det et stort spenn i besvarelsene, og mellom 10% og 15% som ville betale over 6% mer for et bygg som hadde høyere poengsum på kriteriene «energi» og «helse og innemiljø» (klimavennlig materialbruk var ikke ett av kriteriene).¹⁰⁰

I boligmarkedet, som står for den største delen av bygningsproduksjonen, er imidlertid klimavennlig materialbruk sjeldent et stort tema annet enn for spesielt interesserte, slik det også kommer fram i kapittelet om markedsmessige barrierer mot prosjektutvikling med klimavennlige materialer (kap. 4.3.3.3). Det kan være mange grunner til dette. Synligheten av klimavennlige materialer er lav, og det er ingen pålagte merkeordninger for bygg som gir oversikt over hvor klimavennlig materialbruken er for potensielle kjøpere eller leietakere (se mer i kap. 4.3.5.6 om kunnskapsmessige barrierer mot

⁹⁹ https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/forbrukertilsynet-refser-h_m-for-ulovlig-miljomarkedsforing-1.14578730

¹⁰⁰ *Merverdien av grønne bygg*, Grønn byggallianse og Høgskolen i Østfold 2019

salg/utleie av bygg med klimavennlige materialer barrierer). Siden presset på boligmarkedet, i hvert fall i og i nærheten av de store byene i Norge, i tillegg er såpass høyt har det dessuten vært en situasjon hvor både utviklere og privatpersoner ofte ser boligen som et investeringsobjekt, der økonomisk markedsverdi er viktigere enn andre kvaliteter. Dette vil imidlertid kunne endre seg med økt synlighet og dersom man over tid ser en tilsvarende utvikling i boligmarkedet som på andre områder, som mat, klær og møbler, der klima, miljø og bærekraft blir stadig viktigere for forbrukere.

Tiltak for å redusere de markedsmessige barrierene mot klimavennlig materialbruk i salg/utleie-leddet

- *Tiltak burde iverksettes for å øke etterspørselen etter klimavennlige materialer i boligmarkedet, f.eks. ved å overføre konsepter som har fungert for næringsbygg eller ved å stille strengere krav til klimavennlig materialbruk i Teknisk Byggeforskrift (TEK)*

4.3.4. Økonomiske barrierer

Risiko for økte prosjektkostnader er en vesentlig barriere mot alle nyskapende løsninger, også bruk av klimavennlige materialer. Dette vil gjelde uavhengig av om risikoen viser seg å være reell eller ikke. Hvis man regner med samfunnsøkonomisk gevinster eller andre indirekte fordeler ved å ta i bruk klimavennlige materialer vil nok risikobildet endres, men dette vil trolig ikke være utslagsgivende for om klimavennlige materialer velges eller ikke i det enkelte prosjekt.

På tross av at økte kostnader ofte nevnes som en barriere mot bruk av klimavennlige materialer, finnes det lite empiri på hvordan bruk av klimavennlige materialer påvirker økonomien i det enkelte prosjekt. Dette har mange og sammensatte årsaker. Som nevnt innledningsvis er det ingen entydig definisjon av hva klimavennlige materialer er, og det er heller ikke mulig å definere hva et «klimavennlig prosjekt» skal omfatte, som utgangspunkt for å beregne kostnader. I tillegg vil man måtte gjennomføre to parallelle prosjekteringsløp for samme bygg – et konvensjonelt bygg med standard materialer og en løsning med klimavennlige materialer - for å få det komplette bildet av hvordan bruk av klimavennlige materialer påvirker kostnader. Et eksempel er bruk av massivtre, der krav til brann og akustikk, antall etasjer og ønsket spennvidde i bæresystemet har sto innvirkning på kostnader ved prosjekteringsdelen. På den annen side er det mulig å redusere byggetiden, noe som kan redusere de totale kostnadene. Det er med andre ord ikke gitt at massivtre er dyrere enn en stål- og betongkonstruksjon, det må vurderes i ethvert prosjekt.

Uansett om det handler mest om opplevd økonomisk risiko, eller om bruk av klimavennlige materialer faktisk fører til økte kostnader, er økonomi en problemstilling som gjør seg gjeldende i alle ledd av verdikjeden.

4.3.4.1. Utvinning av råmaterialer og produksjon av bygningskomponenter

Det er flere grunner til at klimavennlige materialer kan koste mer å utvinne og produsere enn konvensjonelle materialer.

For enkelte klimavennlige materialer er kostandene høyere av den enkle grunn at arbeidskraft koster mer enn tilført (og ofte fossil) energi. Dette gjelder for eksempel bruk av (lokal) stein sammenliknet med betong. Produksjon av betong krever mer tilført energi og har en mer kompleks fremstillingsprosess enn steinbryting og produksjon av bygningskomponenter av stein, men er likevel billigere fordi dette arbeidet i større grad kan gjøres av maskiner.

Nye, klimavennlige alternativer som er utviklet for å erstatte konvensjonelle bygningskomponenter, som lavkarbonbetong, vil være dyrere så lenge det produseres i mindre kvanta, med lavere omsetning, og utviklingskostnader må betales ned. Som med alle innovasjoner vil det derfor kunne ta

tid før nytviklede klimavennlige materialer blir helt økonomisk konkurransedyktige. I tillegg kan det koste mer å dokumentere materialers klimagassutslipp, f.eks. ved hjelp av EPD. Til gjengjeld kan det gi produsentene en fordel i anbudsprosesser, særlig dersom det stilles grensekraft til klimagassutslipp (som foreslått under tiltak for å redusere de regulatoriske barrierene mot produksjon av klimavennlige bygningskomponenter i kap. 4.3.2.1).

Ifølge Multiconsult¹⁰¹ var prisforskjellen mellom Lavkarbonklasse A og B per 2019 i størrelsesorden mellom 5 og 10 %. Lavkarbon Pluss og Ekstrem har begrenset tilgjengelighet, krever spesielle tiltak og må som regel spesialbestilles til et konkret prosjekt. Erfaringstall tilsier en merkostnad for slik spesialbetong på rundt 120-140 kr/m³, tilsvarende rundt 8-10 %.

På grunn av den høye etterspørselen etter skrapstål er prisen på skrapstål generelt høy. Prisene på skrapstål svinger mye, men har generelt de siste årene vært dyrere enn jernmalm. Det er likevel ikke grunnlag for å si at det vil medføre vesentlige merkostnader knyttet å etterspørre armeringsstål med høy andel skrap på nåværende tidspunkt.

Dersom det er behov for store gulvflater og dekkespenn kan det bli dyrere å bruke massivtre enn betong. I leilighetsbygg som ikke krever store spennvidder kan imidlertid massivtre være et minst like rimelig alternativ. Dette har vist seg gjennom flere offentlige prosjekter som for eksempel omsorgsboliger og sykehjem som har blitt bygget i massivtre. Mer erfaring og industrialisering av løsninger vil kunne få ned prisene på massivtreløsninger i fremtiden.

Det er heller ikke alle klimavennlige materialer som er dyrere. Som drøftet i kapittel 2 og 3 vil det ofte være mer klimavennlig å bygge med enkle, lette løsninger, som bindingsverk, fremfor betong og stål eller andre tyngre konstruksjoner. Slike enkle løsninger vil også kunne være rimeligere enn de mer kompliserte.

Karbonfangst må betraktes som relativt kjent og godt utprøvd teknologi, og CCS-løsningen som skal implementeres i Brevik er godt egnet for å skaleres og overføres til annen sementindustri. Investeringskostnadene er imidlertid fortsatt svært høye, og forventningen har vært at CCS ikke vil være lønnsomt før kostnaden ved å slippe ut CO₂ når samme nivå som kostnadene ved å investere i og å benytte CCS. En studie fra SINTEF i 2019¹⁰² antyder imidlertid at kostnadene for CCS allerede har blitt betydelig redusert, peker på et betydelig ytterligere potensiale for kostnadsreduksjon i alle stegene av CCS-verdikjeden. Studien understreker derfor betydningen av å få i stand et fullskala anlegg og bygge ut hele verdikjeden fra fangst til lagring for å få ned kostnadene for CCS.

Markedsaktører uttrykker at de regner med at flere sementproduksjonsanlegg med CCS vil komme på plass innen 4-5 år etter at Norcems anlegg står klar, ifølge Multiconsults rapport. Norge og Sverige er foregangsland for klimakrav til sement og betong, og Heidelbergs sementfabrikk på Gotland i Sverige pekes på som den neste CCS-kandidaten. Storbritannia, Belgia og Nederland viser også interesse for å stille miljøkrav til betong og vil være en del av et fremtidig marked for CCS-sement.

Ved byggingen av Norcems CCS-anlegg i Brevik vil tilgjengelig CCS-sement i markedet være 1,3 millioner tonn. Det nasjonale sementforbruket ligger rundt 2 millioner tonn sement i året. Det er stor etterspørsel etter sement, og Norcems anslår at sementen fra Brevik vil bli solgt uavhengig om det selges som CCS-renset eller ikke. Et voksende marked på grunn av store samferdselsprosjekter gir økt behov for import, da Norcem ikke vil klare å ta hele veksten.

Multiconsult peker på at det oppleves en viss usikkerhet i markedet knyttet til anslagene på økte sementpriser knyttet til innføring av CCS i produksjonen. En dobling av sementprisen som følge av at

¹⁰¹ <https://www.nho.no/contentassets/931076d7f29042eba38a0b8e4d72a85b/rapport-multiconsult---hvordan-gjore-co2-fangst-og-lagring-lonnsomt.pdf>

¹⁰² <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1750583618307801>

CCS innføres er anslått å øke prisen på betong med 40 - 50 %¹⁰³. Multiconsult anslår at dette vil øke de totale prosjektkostnadene i byggeprosjekter med anslagsvis 1 %. For samferdselsprosjekter vil merkostnaden antakelig være noe høyere, anslagsvis 3-6 %. Forutsetningen for dette er at prisen for annen sement ikke endres.

Multiconsult omtaler introduksjon av opprinnelsesgarantier for CCS-sement som et mulig virkemiddel for å hente ut betalingsvilligheten for mer klimavennlig sement. Opprinnelsesgarantier er velkjent fra strøm-markedet, der produsenter selger garantier for at strømmen er produsert fra fornybare kilder, selv om det ikke er mulig å etablere noen fysisk kobling mellom strømmen man benytter, og andelen som kommer fra fornybare kilder. I praksis medfører dette en betydelig risiko for at gevinsten fra klimavennlig produksjon dobbelttelles i klimagassberegninger. Multiconsult foreslår å løse denne problematikken ved at betong-EPDer som benytter sement som er produsert uten CCS må legge til grunn utslippsinformasjon som tilsvarer dette, og ikke for eksempel bransjesnitt-faktor, for å unngå at gevinsten fra CCS dobbelttelles. Det påpekes imidlertid i rapporten at opprinnelsesgarantier ikke vil være tilstrekkelig for å utligne kostnadsgapet for CCS. Hvis man i tillegg tar i betraktning utfordringene knyttet til beregning av klimagassutslipp fra strømproduksjon, fraråder Asplan Viak at en slik ordning introduseres for sement. Ettersom implementering av karbonfangst for sement nå i første rekke er en direkte konsekvens av en investering over statsbudsjettet, bør det ikke tas for gitt at utslippsgevinsten skal tilskrives kjøperne av sementen. Det bør diskuteres videre hvordan CCS skal behandles i klimagassberegninger, og hvilken betydning en forventet økende etterspørselseffekt skal ha i beregninger.

Multiconsult vurderer flere andre typer virkemidler som bedre egnet for å utjevne kostnadene for CCS mellom bransjeaktørene, samtidig som merkostnaden overføres direkte til kunden. Dette omfatter avgift knyttet til klimafotavtrykket til sement, avgift kombinert med CO₂-fond for sementbransjen, omsetningspåbud og en sertifikatordning for såkalt lavkarbonsement. For detaljer henvises det til rapporten¹⁰⁴.

Tiltak for å redusere de økonomiske barrierene mot at prosjektutviklere benytter klimavennlige materialer

- *Økonomiske støtteordninger til produktutvikling, og løsninger som reduserer klimagassutslipp i forbindelse med utvinning og produksjon av bygningskomponenter*
- *Økonomiske støtteordninger for produsenter som ønsker å utarbeide EPDer*

4.3.4.2. Omsetning og logistikk

For transport av materialer kan det ofte være et motsetningsforhold mellom pris og utslipp. Det finnes mange eksempler på at langreiste materialer velges fremfor produkter produsert i Norge eller Norden, på grunn av prishensyn. Et typisk eksempel er innkjøp av naturstein produsert i Kina fremfor i Norge. Dette kan føre til økte utslipp både fra produksjon av materialene og fra transport.

Siden klimavennlige alternativer kan være dyrere enn konvensjonelle materialer, og transport er rimelig, er det en risiko for at utbygger vil lete langt etter de rimeligste alternativene på markedet. Norge er et høyinntektsland hvor arbeidskraft er dyrt, og særlig arbeidskrevende næringer, som utvinning av og bearbeiding av stein, vil dermed bli langt dyrere enn i land der arbeidskraften er billig. Slik kan f.eks. naturstein fra Kina konkurrere økonomisk med stein produsert i samme bygd i Norge¹⁰⁵. Det samme gjelder massivtre, der mange norske utbyggere velger rimeligere massivtre fra

¹⁰³ Rootzén, J.; Johnsson, F. (2016) "Managing the costs of CO₂ abatement in the cement industry". Chalmers University

¹⁰⁴ <https://www.nho.no/contentassets/931076d7f29042eba38a0b8e4d72a85b/rapport-multiconsult---hvordan-gjore-co2-fangst-og-lagring-lonnsomt.pdf>

¹⁰⁵ <http://www.bygg.no/article/1197979>

Sentral- og Øst-Europa i stedet for mer lokale alternativer. Når utbygger velger det langreste alternativet, økes de relative kostnadene til transport for de klimavennlige alternativene, men ikke minst klimagassutslippene.

Behovet for å kutte kostnader for å gjøre valget av klimavennlige materialer konkurransedyktig gjør også at produksjonen av bygningskomponenter blir stadig mer automatisert, og dermed sentralisert. Det er kun de største aktørene som kan investere i maskinene som trengs for å produsere de rimeligste bygningskomponentene. Det er ikke bare import fra utlandet som kan innebære høye transportkostnader, distribusjon og logistikk fra sentrale anlegg til hele landet mer omfattende, kostbart og innebærer høyere utslipp knyttet til transport.

4.3.4.3. Prosjektutvikling

Økonomiske barrierer i prosjektutviklingsleddet er svært viktige fordi opplevde eller reelle kostnader ofte er utslagsgivende for hvilke løsninger som velges. Dersom det ikke er spesifikke krav til klimagassutslipp som gjør at dette må prioriteres, vil som regel laveste pris veie tyngre enn laveste klimagassutslipp.¹⁰⁶

Den største kostnaden forbundet med bruk av klimavennlige materialer for prosjektutvikler skyldes usikkerheten knyttet til å gjøre noe annerledes, og risiko koster penger. I kapittelet om tekniske og praktiske barrierer mot prosjektutvikling med klimavennlige materialer (kap. 4.3.1.3) blir en del praktiske utfordringer problematisert. Risikopåslag vil kunne bli større for alle involverte dersom man ikke har erfaring med løsningene som brukes.¹⁰⁷ Det vil også kunne påløpe større kostnader i forbindelse med beregninger, vurderinger og dokumentasjon av klimagassutslipp fra materialbruk, dersom dette skal gjøres.

Det er stor usikkerhet rundt hvordan bruk av klimavennlige materialer påvirker det totale kostnadsbildet i det enkelte prosjekt, og vi har ikke noe god empiri på dette i Norge. I forbindelse med en rapport om metode og regneregler for klimadeklarasjoner av bygninger gjorde det svenske Boverket i 2018 en kartlegging av marginalkostnader forbundet med bruk av lavkarbonbetong og tre for et konkret bygg. Beregnede utslipp er inkludert produksjon, transport og montering (A1-A5). Beregningen viser høyest utslippsreduksjon, men også høyest marginalkostnad ved bruk av tre. Det understrekes imidlertid i rapporten at kostnadene er basert på kun ett bygg, og at de derfor kun gir en grovindikasjon på kostnadsnivå i dagens svenske marked. Studien konkluderer også med at det er nærmest umulig å si noe generelt om kostnadsnivå for bygg med klimavennlige materialer og løsninger, sammenliknet med standard løsningsvalg. Ifølge Multiconsult¹⁰⁸ førte prisforskjellen mellom Lavkarbonklasse A og B per 2019 kun til en minimal økning av et projekts totale kostnad.

¹⁰⁶ Lavutslippsmaterialer i bygg. Barrierer og muligheter. Nibio Rapport Vol. 6 Nr. 20. 2020

¹⁰⁷ Ibid.

¹⁰⁸ <https://www.nho.no/contentassets/931076d7f29042eba38a0b8e4d72a85b/rapport-multiconsult---hvordan-gjore-co2-fangst-og-lagring-lonnsomt.pdf>

Hus	Marginalkostnad (kr/m ²)	Klimatutslipp (kg CO ₂ -ekv/m ²)	Utslæppsminskning (kg CO ₂ -ekv/m ²)	Utslæppsminskning per krona (kg CO ₂ -ekv/kr)
Referenshus	0	275	0	
Betong med lavere klimapåverkan	34	265	-9	0,27
50 prosent tr�, 50 prosent betong	453	250	-25	0,06
50 prosent tr�, 50 prosent betong med lavere klimap�verkan	470	245	-30	0,06
Tr�	905	225	-50	0,06

Tabell 30 Beregnede klimagassutslipp (A1-A5) og marginalkostnader (SEK) knyttet til bruk av betong og tre i et bygg i Sverige. Kilde: Mogue, Johansson, Joelsson, Nyqvist, Amundson, Nystr m & Risberg (2018)

Tiltak for å redusere de økonomiske barrierene mot at prosjektutviklere benytter klimavennlige materialer

- * konomiske støtteordninger for bruk av klimavennlige materialer kan bidra til å redusere de økonomiske barrierene for prosjektutviklere*
- *Støtte til innovasjonsprosjekter for å fremme nyskaping, erfaringsbygging og kunnskapsutveksling i prosjektutviklingsleddet. Støtten bør ikke bare gis til de første som prøver ut noe, men også til de som er villige til å prøve ut klimavennlige løsninger som ikke er vanlige, og bidra med erfaringsutveksling.*
- *Ordninger som utjevner prisforskjeller etter samme mal som støtteordninger til energieffektivisering vil redusere prispåslag som følg av økt risiko*
- *Avgifter som gjør det dyrere å bruke mindre klimavennlige materialer*

4.3.4.4. Prosjektering

Prosjektering med klimavennlige materialer kan bli mer kostbart fordi det gjerne innebærer nybrottsarbeid, eller i hvert fall mindre konvensjonelle løsninger som krever mer tilrettelegging, målrettet samhandling og innebærer en større risiko for uforutsette hendelser enn «business-as-usual». Manglende kunnskap og erfaring med klimavennlige materialalternativer, for eksempel massivtre vs. stål/betong kan føre til økt prosjekteringstid og økt risiko i prosjektet. Som nevnt over har denne risikoen en pris, der prising av risiko knyttet til brannteknisk og akustisk prosjektering kan innebære at massivtre velges bort i anbudsprosser. Det er også ikke nødvendigvis økte materialkostnader i seg selv som tipper vektskålen, men risikopåslag fra aktører som ikke har erfaring med klimavennlig materialbruk.

I tillegg vil det kunne være behov for mer tidligfase-planlegging/prosjektering enn i konvensjonelle prosjekter, særlig dersom det i tillegg skal utvikles et helhetlig konsept for å redusere

klimagassutslipp, materialbruk skal vurderes og besparelser dokumenteres. En fordel med dette kan være at planleggingen blir bedre, og feil og svinn reduseres.

I kapittelet om tekniske og praktiske barrierer mot prosjektering med klimavennlige materialer (kap. 4.3.1.4) beskrives noen av de praktiske utfordringene som kan gjøre at man får en merkostnad ved å bruke klimavennlige materialer nærmere.

Økonomiske rammer og prioritet ved målkonflikter med klimagassregnskap må være tydelig definert. Ved kontrahering av entreprenører må klimagasskrav komme tydelig frem i tilbudsunderlaget slik at prosjektet prises riktig. Hvilken vektning som velges mellom klima og andre kvaliteter er avgjørende. Dersom man ønsker at klimahensyn skal prioriteres i prosjektet, for eksempel på bekostning av økte kostnader, må klima være tillagt tilstrekkelig vekt, klimamål må være forankret i prosjektorganisasjonen, inkludert tydelige retningslinjer for hvordan ulike hensyn skal prioriteres ved eventuelle målkonflikter.

Tiltak for å redusere de økonomiske barrierene mot prosjektering med klimavennlige materialer

- *Støtte til innovasjonsprosjekter for å fremme nyskaping, erfaringsbygging og kunnskapsutveksling blant prosjekterende.*
- *Ordninger som utjevner prisforskjeller etter samme mal som støtteordninger til energieffektivisering vil redusere prispåslag som følg av økt risiko*
- *Tydelig vektning av klima i anbud*
- *Tydeliggjøring av hvilken prioritet klima skal ha i målkonflikter*

4.3.4.5. **Montering/bygging**

Det varierer i hvilken grad bygging med klimavennlige materialer er dyrere eller rimeligere å bygge med. Norge her et høyinntektsland, så desto mer som kan gjøres på fabrikk jo billigere blir det ofte. Byggeprosesser som er raske og med minst mulig usikkerhet er gjerne rimeligst. For de klimavennlige materialene som er prefabrikerte, som massivtreelementer, kan byggingen være svært tidseffektiv, og dermed billig. Mange entreprenører har imidlertid allerede etablert svært kostnadseffektive måter å bygge på, som det er motstand mot å endre på (se kap. 4.3.6.4 holdningsmessige barrierer mot montering/bygging med klimavennlige materialer)

Tiltak for å redusere de økonomiske barrierene mot bygging med klimavennlige materialer

- *Støtte til å utvikle systemer for å bygge med klimavennlige materialer som er kostnadseffektive rettet mot entreprenørbransjen*

4.3.4.6. **Salg/utleie**

Dersom ikke eventuelle økte kostnader for utbygger ved å bruke klimavennlige materialer gir avkastning i form av høyere salgs- og leiepriser vil det utgjøre en økonomisk barriere for utbyggere. Tilsvarende vil det også utgjøre en barriere dersom kjøpere/leietakere må betale mer for klimavennlige bygg.

I markedet for næringsbygg ser man en viss effekt på leiepriser, siden enkelte næringsaktører ønsker å profilere seg som framoverlente og miljøbevisste for å vinne markedsandeler og skille seg ut. I 2014 undersøkte Boston Consulting Group (BCG) på vegne av Entra eiendomsverdien for miljøsertifiserte bygg. Her kom det fram at disse hadde mellom 5% og 20% høyere leieinntekter og 10% til 25% høyere salgspris enn konvensjonelle bygg.¹⁰⁹

Slik det kommer fram i kap. 4.3.3.6 om markedsmessige barrierer mot salg/utleie av bygg med klimavennlige materialer er det mer utfordrende å få avkastning på investeringer i klimavennlig

¹⁰⁹ <https://www.estatenyheter.no/2014/03/19/hoyere-verdi-med-miljobygg/>

materialbruk i boligmarkedet enn i næringsmarkedet. Det er sammensatte grunner til dette, men noe av grunnen er et allerede presset boligmarkedet, i hvert fall i og i nærheten av de store byene, der mange kjøpere har lite å gå på når det kommer til økte kostnader til materialbruk.

Tiltak for å redusere de økonomiske barrierene mot salg/utleie av bygg med klimavennlige materialer:

- *Økonomiske incentivordninger som belønner kjøpere og leietakere av mer klimavennlige bygg vil kunne gjøre det mer lønnsomt å velge bygg med klimavennlig materialbruk selv om det koster mer*

4.3.4.7. Bruk/vedlikehold

I bruks- og vedlikeholds-leddet er det ingen automatikk i at klimavennlige materialer vil gi økonomiske besparelser, slik som f.eks. energieffektiviseringstiltak gjør. Til gjengjeld vil usikkerhet omkring levetid og vedlikehold av de klimavennlige materialene som er relativt nye eller uvanlige på markedet kunne gjøre at det blir mindre attraktivt å bruke klimavennlige materialer. Det siste er imidlertid først og fremst en kunnskapsbarriere og ikke en reell økonomisk barriere. Den økonomiske barrieren handler først og fremst om at manglende økonomiske incitamenter for å eie eller leie et klimavennlig bygg gjør at langt færre vil prioritere det.

Tiltak for å redusere de økonomiske barrierene mot bruk av klimavennlige materialer i bruks-/vedlikeholdsleddet:

- *Mer informasjon om bruk og vedlikehold av klimavennlige bygg*
- *Økonomiske incentivordninger, f.eks. skattefradrag som belønner eiere og leietakere av mer klimavennlige bygg*

4.3.5. Kunnskapsmessige barrierer

Manglende kunnskap om klimavennlige materialer er en betydelig barriere mot mer utstrakt bruk. Det mangler kunnskap om hvilke materialer som finnes på markedet og hvordan man skal vurdere de ulike materialene mot hverandre, særlig i et livsløpsperspektiv. Materialer kan heller ikke ses isolert fra den sammenhengen de brukes i. Å danne seg et helhetsbilde av klimagassutslipp i et livsløpsperspektiv er svært komplekst, og innebærer mange faktorer som ikke lar seg forutsi nøyaktig, som framtidig levetid. Det er umulig å si noe entydig om hvor lenge for eksempel trespon av ubehandlet malmfuru vil vare som taktekking uten å ta hensyn til en rekke faktorer, som hvordan taket er konstruert, hvor det befinner seg i verden (står det for eksempel i et fuktig og salt klima ved kysten eller i et tørt klima på fjellet), hvilken orientering det har i forhold til sol, fremherskende vindretning osv. og ikke minst hvordan bygget faktisk brukes.

Den innebygde kompleksiteten i vurderinger av materialers klimafotavtrykk, og mangel på kunnskap om hvilke metoder som ligger til grunn for beregning av klimagassutslipp kan gi grobunn for usikkerhet om resultatene er til å stole på, eller om det bare er en «lek med tall». Noe av årsaken til dette er en reell tvetydighet og manglende konsensus rundt hva som er klimavennlig, en ambivalens som ikke blir svakere av markedskonflikten mellom ulike aktører, som tre- og betongbransjen (se mer i kap. 4.3.3.1).

4.3.5.1. Utvinning av råmaterialer og produksjon av bygningskomponenter

Begrenset tilgang på god og pålitelig dokumentasjon av klimafotavtrykket til bygningskomponenter som produseres i dag er en barriere mot bruk av klimavennlige materialer.

I mylderet av informasjon og mangfoldet av merkeordninger knyttet til materialers klimafotavtrykk er det krevende å navigere uten spesialkompetanse. Et viktig virkemiddel her er miljødeklarasjoner.

EPD (Environmental Product Declaration) er den mest utbredte formen for dokumentasjon av klimagassutslipp og andre miljøindikatorer for nyproduserte byggematerialer på det norske og europeiske markedet per i dag. EPD-systemet er beskrevet i kapittel 2.2.1.1. Selv om tilgangen på miljødokumentasjon har blitt bedre, men er enda ikke god nok til å dekke hele markedet og alle typer materialer og produkter. Det mangler fortsatt EPDer for en rekke produkter.

I tillegg til manglende miljødokumentasjon, er det også manglende dokumentasjon på tekniske egenskaper for enkelte klimavennlige materialer, som kan utgjøre en barriere mot bruk.

Tiltak for å redusere de kunnskapsmessige barrierene mot utvinning av klimavennlige råmaterialer og produksjon av klimavennlige bygningskomponenter:

- *Mer utstrakt bruk av EPDer eller tilsvarende miljødokumentasjon for nyproduserte materialer og bygningskomponenter*
- *Utarbeide kunnskapsgrunnlag, veiledere og retningslinjer rettet mot produsenter av bygningskomponenter*

4.3.5.2. Omsetning og logistikk

Mange har ikke tilstrekkelig kunnskap om hvor stor betydning transport har for klimagassutslippene i forbindelse med materialbruk. Særlig tunge materialer, som naturstein, vil ha helt andre klimafotavtrykk om de må reise langt. Det er også stor forskjell på hvordan materialene fraktes, om de for eksempel kan reise med elektrisk lokomotiv, skip eller må fakes med fly. Det kreves derfor selvstendige, helhetlige vurderinger i hvert prosjekt for å avgjøre hvilke materialer som er mest klimavennlige med hensyn til transport og logistikk. Når man skal bruke EPDer må for eksempel oppgitte utslippstall knyttet til transport tilpasses til det aktuelle prosjektets beliggenhet.

Tiltak for å redusere de kunnskapsmessige barrierene knyttet til omsetning og logistikk av klimavennlige bygningskomponenter:

- *Det kan utarbeides kunnskapsgrunnlag, veiledere og retningslinjer knyttet til transport av bygningskomponenter*
- *Når klimagassutslipp i forbindelse med materialbruk skal vurderes må det omfatte tall knyttet til produksjon og transport tilpasset det aktuelle prosjektets beliggenhet*

4.3.5.3. Prosjektutvikling

Manglende erfaring med og kunnskap om bruk av klimavennlige materialer er en vanlig barriere mot at mer klimavennlige løsninger velges. Uten inngående kjennskap til aspekter ved praktisk anvendbarhet, kostnadsnivå og tilgang kan det være utfordrende å argumentere for at mer eller mindre ukjente løsninger tas i bruk. Å kunne vise til gode eksempler på prosjekter som har erfaring med tilsvarende løsninger kan være et svært nyttig verktøy i tverrfaglige diskusjoner.

Mange bestillere mangler kunnskap om EPDer og hvordan man skal stille krav til klimavennlig materialbruk i byggeprosjekter. Krav om at det må være minst tre tilbydere «av gode materialer før det kan stilles krav til utslipp» kan for eksempel medføre at de som er først ute med å utvikle EPD ikke kan innkassere noen markedsmessig fordel før flere følger etter.

Rammeavtaler med leverandører, ofte med utgangspunkt i pris, kan binde prosjektutviklere til å bruke produkter med dårligere klimafotavtrykk enn det som finnes på markedet.

Tiltak for å redusere de kunnskapsmessige barrierene mot at prosjektutviklere benytter klimavennlige materialer

- *Tiltak for å bedre bestillerkompetansen hos byggherrer, f.eks. gjennom utarbeidelse av kunnskapsgrunnlag, veiledere og retningslinjer, kan gjøre prosjektutviklerleddet bedre i stand til å formulere og følge opp mål om klimavennlig materialbruk*
- *Involvering av klimakompetanse i tverrfaglig samhandling fra tidlig planfase og gjennom prosjekteringen*
- *Formidle erfaringer fra prosjekter der klimavennlige løsninger har blitt benyttet*

4.3.5.4. Prosjektering

En betydelig kunnskapsmessig barriere mot bruk av klimavennlige materialer ligger i prosjekteringsleddet. Dersom ikke de involverte rådgiverne og arkitektene har kunnskap om hva som er det mest klimavennlige alternativet i det enkelte prosjekt, vil det kunne føre til at man velger feil selv om intensjonene er gode.

Noe av årsaken til at det er vanskelig å avgjøre hvilke materialer som er mest klimavennlige er at klimafotavtrykket knyttet til materialbruk er avhengig av en rekke faktorer som vil variere fra prosjekt til prosjekt. En litteraturstudie gjennomført for rundt 10 år siden, *Kunnskapsplattform for beregning av klimabelastning fra bygg og byggematerialer*¹¹⁰ konkluderte av denne grunn med at det ikke en gang er grunnlag for å prioritere et bygningmateriale framfor andre med hensyn til miljøbelastninger.

Det sirkulerer mange myter og feiloppfatninger, også i fagmiljøene. Dersom det blir en oppfatning om at visse materialer er klimavennlige, for eksempel massivtre, og det ikke gjøres helhetlige vurderinger av hvilke løsninger som er mest hensiktsmessige i det aktuelle prosjektet for å minimere utslipp, kan det føre til unødvendig høye utslipp. Hvis man for eksempel bygger småhus eller hytter i massivtre fra Østerrike er det mindre klimavennlig enn om man bygger stenderverkshus av lokalt konstruksjonsvirke, mens det fort kan oppfattes (og markedsføres) som det motsatte.

Manglende kompetanse til å bruke miljødokumentasjon til å velge helhetlig klimavennlige løsninger, kan gjøre at arkitekter og andre rådgivere gir mindre gode anbefalinger – og i verste fall til grønnvasking. Det kan derfor være nødvendig med spesialkompetanse for å vurdere klimaeffekten av materialvalg i ulike prosjekter, særlig dersom man skal regne med klimaeffekten av transportdistanse av ulike materialer.

Tiltak for å redusere de kunnskapsmessige barrierene mot at prosjekterende benytter klimavennlige materialer

- *Kursing av prosjekterende i klimavennlig materialbruk og fallgruver man må unngå*
- *Erfaringsutveksling mellom klimaprojekter, og etablering av flere arenaer for kunnskapsdeling*
- *Utarbeidelse av kunnskapsgrunnlag, veiledere og retningslinjer rettet mot prosjekterende, også for helhetlige løsninger (en grønn materialguide for komplette løsninger)¹¹¹*

4.3.5.5. Montering/bygging

Manglende kunnskap og erfaring med bygging med klimavennlige materialer kan gjøre mange utførende usikre og skeptiske. Dette kan, særlig i mindre prosjekter gjøre at klimavennlige løsninger ikke blir valgt, samt bidra til økt risikoprising i større prosjekter, slik det kommer fram i kapittelet som omhandler økonomiske barrierer mot bygging med klimavennlige materialer (kap. 4.3.4.5).

Tiltak for å redusere de kunnskapsmessige barrierene mot at utførende benytter klimavennlige materialer

¹¹⁰ *Kunnskapsplattform for beregning av klimabelastning fra bygg og byggematerialer*, KMD 2011

¹¹¹ *Lavutslippsmaterialer i bygg. Barrierer og muligheter*. Nibio Rapport Vol. 6 Nr. 20. 2020

- *Det kan utarbeides kunnskapsgrunnlag, veiledere og retningslinjer knyttet til bygging med bygningskomponenter*

4.3.5.6. Salg/utleie

Manglende kunnskap om klimavennlig materialbruk blant sluttbrukerne er en betydelig barriere mot økt etterspørsel i salg/uteleieledet og mer utstrakt bruk (Se mer om markedsmessige barrierer mot salg/utleie av bygg med klimavennlig materialbruk i kap. 4.3.3.6).

Noe av årsaken er den ovennevnte usikkerheten rundt hva som er de klimavennlige valgene i det enkelte prosjekt, manglende merking, samt lav prioritering av klimahensyn blant kjøpere og leietakere, særlig i boligmarkedet. Her trengs det både tydeligere merking rettet mot sluttbrukere og mer informasjon om klimakostnadene knyttet til materialbruken i det enkelte prosjekt. Kunnskap må formidles bedre til ikke-spesialister og myter må avlives, som forestillingen om at visse materialer er klimavennlige i seg selv, uavhengig av kontekst og bruk.

Tiltak for å redusere de kunnskapsmessige barrierene mot salg/utleie av bygg med klimavennlig materialbruk:

- *Bedre merkeordninger og dokumentasjon av klimafotavtrykk knyttet til materialbruk beregnet på kjøpere/leietakere*
- *Utarbeidelse av informasjonsmateriell om klimavennlig materialbruk rettet mot sluttbrukere*

4.3.5.7. Bruk/vedlikehold

Manglende kunnskap om vedlikehold, drift og levetid for enkelte klimavennlige materialer og produkter kan utgjøre en barriere mot mer utstrakt bruk.

Klimavennlig materialbruk handler i stor grad om å forlenge levetiden på materialene lengst mulig, for å minimere antall utskiftninger i byggets levetid. Hensiktsmessig levetidsforlengende vedlikehold er viktig for å oppnå dette. Ikke minst er det viktig med en renholdsstrategi som er tilpasset de materialene som er valgt avgjørende for å bevare holde overflatematerialer i god stand så lenge som mulig.

Tiltak for å redusere de kunnskapsmessige barrierene mot salg/utleie av bygg med klimavennlig materialbruk:

- *Utarbeide og formidle informasjon om levetidsforlengende tiltak og strategier, inkludert hensiktsmessig og materialtilpasset renhold*

4.3.6. Holdningsmessige barrierer

De holdningsmessige barrierene mot bruk av klimavennlige materialer går rett til kjernen av noen av problemstillingene som allerede er nevnt knyttet til vurderinger av hva klimavennlige materialer er, men ikke minst hva de *ikke* er. Klimavennlige materialer har lavere klimafotavtrykk enn konvensjonelle materialer, men det behøver ikke bety at de er spesielt miljøvennlige eller bærekraftige på andre områder. I et bærekraftperspektiv er klimaendringene bare én av de utfordringene vi står overfor når vi skal forsøke å reversere årevis med systematisk nedbygging og ødeleggelse av naturen og bygge en mer bærekraftig fremtid. Dersom fokuset på klimagassutslipp oppleves for ensidig vil det skape en frykt om at andre problemstillinger blir satt i skyggen.

Hvis man ønsker å iverksette tiltak for å kutte klimagassutslipp blir det ikke enklere dersom man blir møtt av negative holdninger fra de som burde vært ens meningsfeller. Et eksempel fra Norge er den store folkelige og faglige motstanden mot bygging av vindturbiner i uberørt natur. Det som for kort tid siden var selve glansbildet på klimavennlig utvikling, har nå for mange blitt et bilde på grønnvasking av naturødeleggelser.

Frykten for at ensidig fokus på klimagassutslipp skal gjøre at mer miljøvennlige eller bærekraftige materialer velges bort, eller at det skal bli vanskeligere eller umulig å bygge etter andre kriterier enn lavest mulig klimagassutslipp, ligger bak mye av de negative holdningene til større fokus på klimavennlig materialbruk. Andre negative holdninger kan rett og slett være knyttet til en misnøye ved å skulle endre etablerte vaner, eller å ha enda en problemstilling å forholde seg til.

4.3.6.1. Utvinning av råmaterialer og produksjon av bygningkomponenter

Det tar tid å endre holdninger i byggevareindustrien slik at klimavennlig utvinning av råmaterialer og produksjon av klimavennlige bygningskomponenter blir normen. Det kreves investeringer og endringsvilje, men ikke minst tro på at det vil lønne seg på sikt å satse på reduksjon av klimautslipp, for å gjøre endringer av eksisterende drift slik man for eksempel gjør i Brevik med implementering av systemer for karbonfangst (CCS).

Tiltak for å redusere de holdningsmessige barrierene mot utvinning av klimavennlige råmaterialer og produksjon av klimavennlige komponenter:

- *Økonomiske og regulatoriske virkemidler, både gulrot og pisk, kan bidra til å endre vaner og holdninger og overbevise byggevareindustrien om å satse på utslippsreduksjon*
- *Kunnskap- og holdningsskapende arbeid rettet mot byggevareindustrien*

4.3.6.2. Prosjektutvikling

Byggherrer og prosjektutviklere har gjerne en innebygd skepsis mot nye og uprøvde løsninger fordi det medfører risiko for høyere prosjektkostnader¹¹² (se mer om økonomiske barrierer mot prosjektutvikling med klimavennlige materialer i kap. 4.3.4.3). Dette kan bidra til holdninger om at klimavennlig materialbruk er unødvendig, dyrt og kompliserende. Det er mange hensyn som skal sjongleres i prosjektutviklingsleddet, og dersom det ikke stilles tydelige krav til klimavennlig materialbruk eller skapes forventninger om at det vil lønne seg økonomisk – i det minste på sikt – vil det være vanskelig å skape de positive holdningene til klimavennlig materialbruk som trengs for at det skal prioriteres.

Tiltak for å redusere de holdningsmessige barrierene mot at prosjektutviklere benytter klimavennlige materialer:

- *Økonomiske og regulatoriske virkemidler, både gulrot og pisk, kan bidra til å endre vaner og holdninger og overbevise utbyggere om å satse på klimavennlige materialer*
- *Kunnskap- og holdningsskapende arbeid rettet mot eiendomsutviklere og utbyggere*

4.3.6.3. Prosjektering

I prosjekteringsleddet er det mange hensyn som skal ivaretas. Særlig «generalister» som er vant til å tenke helhetlig, som arkitekter, vil fort reagere hvis noe oppfattes som et ensidig fokus som innskrenker friheten til å gjøre skreddersydde vurderinger i en gitt kontekst, uansett om det gjelder klimagassutslipp eller noe annet. Spørsmål som hva materialet egentlig består av, hvordan det er laget og av hvem, hvordan det påvirker innemiljø, helse og natur, selvfølgelig i tillegg til estetikk, holdbarhet og funksjonalitet gjør at valg av rett materiale til det enkelte prosjekt er mer komplisert enn materialets beregnede klimafotavtrykk. Arkitekter er en mangfoldig gruppe, og det finnes trolig nesten like mange ulike oppfatninger om hva et godt og bærekraftig materialvalg er som det finnes arkitekter. Så selv om holdninger om at det er viktig å redusere klimagassutslipp er svært utbredt blant arkitekter, ønsker mange rett og slett å få foreslå selv hvilke materialer man mener er best i ethvert prosjekt ut fra sin egen forståelse av en helhetlig bærekraftig arkitektur.

¹¹² Lavutslippsmaterialer i bygg. Barrierer og muligheter. Nibio Rapport Vol. 6 Nr. 20. 2020

På samme måte som i de andre leddene i verdikjeden er det også definitivt en utfordring å endre måter arkitekter og andre rådgivere og prosjekterende er vant til å jobbe på, og man vil møte mye motstand uansett hva man foreslår, dersom det innebærer at mange å endre rutiner, vaner og ikke lenger kan bruke kunnskap eller erfaringer man har opparbeidet seg.

Manglende kunnskap om hva klimavennlige materialer kan være (les mer om kunnskapsmessige barrierer mot prosjektering med klimavennlige materialer i kap. 4.3.5.4) og usikkerhet om framlagt dokumentasjon som anvendes i EPDene er til å stole på bidrar ytterligere til negative holdninger i prosjekteringsleddet.

Tiltak for å redusere de holdningsmessige barrierene mot at prosjekterende benytter klimavennlige materialer

- *Kunnskap- og holdningsskapende arbeid rettet mot prosjekteringsleddet. Det trengs dessuten flere gode eksempler og fortellinger som viser at det er mulig å få i «pose og sekk», og bygge klimavennlig og bærekraftig, og at krav til klimagassutslipp ikke innskrenker muligheten til å velge gode og bærekraftige materialer etter andre kriterier.*

4.3.6.4. **Montering/bygging**

Også blant utførende er det mange som er skeptiske mot nye og uprøvde løsninger som innebærer at man må endre vaner og rutiner, i visse tilfeller forsterket av manglende kunnskap om hva klimavennlig materialbruk innebærer og tillit til at vurderingene er gode nok.

Tiltak for å redusere de holdningsmessige barrierene mot bygging med klimavennlige materialer

- *Kunnskap- og holdningsskapende arbeid rettet mot utførende*

4.3.6.5. **Salg/utleie**

Holdninger om at det er viktig å kutte klimagassutslipp og nå internasjonale miljømål blir stadig mer utbredt. Å overføre dette til et ønske om å prioritere klimavennlig materialbruk, kanskje til og med så mye at man er villig til å betale mer når man skal kjøpe eller leie et bygg tar imidlertid tid, og krever økt synlighet og flere gode eksempler på hva dette innebærer i praksis. Som nevnt under markedsmessige barrierer mot salg/utleie av bygg med klimavennlige materialer i kap. 4.3.3.6, er interessen høyere blant kjøpere og leietakere av næringsbygg og offentlige aktører enn i boligbransjen, mye på grunn av et ønske om å markedsføre seg som en klima- og miljøbevisst aktør og forbedre omdømmet. Dette vil trolig bare bli viktigere ettersom holdninger om viktigheten av klimavennlig materialbruk blir mer utbredt.

Holdningene til klimavennlig materialbruk er avhengig av kunnskap om og tillit til hvordan vurderinger av klimavennlige materialer blir gjort blant folk flest. Mange stoler mer på «magefølelsen» eller egne oppfatninger om hva som er miljøvennlig enn tall. Lav tillit kan også være et resultat av eksempler på klimatiltak som strider mot folks intuisjon om hva som bidrar til å redusere klimaendringene. Et eksempel her kan være forslaget om elektrifisering av norsk sokkel, som naturlig nok for mange virket latterlig og hyklersk. Tilsvarende vil man kunne bidra til å underminere tilliten til klimavurderinger når f.eks. kjempestore villaer blir trukket fram som klima- eller miljøvennlige prosjekter fordi klimafotavtrykk eller energieffektivitet måles per m² bygg.

Tiltak for å redusere de holdningsmessige barrierene mot salg/utleie av klimavennlige materialer

- *Kunnskap- og holdningsskapende arbeid rettet mot kjøpere/leietakere. Det trengs flere gode eksempler og fortellinger som viser hva klimavennlig materialbruk betyr i praksis, og hvilken betydning det har.*

4.4. Barrierer mot ombruk av bygningskomponenter

Ombruk av bygningskomponenter blir stadig oftere nevnt som en måte å redusere klimagassutslipp fra materialbruk, men det er mange barrierer som står i veien for mer utstrakt ombruk av bygningskomponenter i byggebransjen. Asplan Viak har tidligere gjennomført flere utredninger som omhandler muligheter og barrierer mot ombruk av byggevarer. I 2018 engasjerte Byggenæringens Landsforening og NHP-nettverket (Nasjonal handlingsplan for bygg- og anleggsavfall) Asplan Viak til å utrede tekniske, juridiske, miljømessige og markedsmessige barrierer og muligheter for ombruk av byggevarer og tekniske installasjoner. Ifølge denne utredningen¹¹³ er de viktigste barrierene mot bruk av ombrukskomponenter:

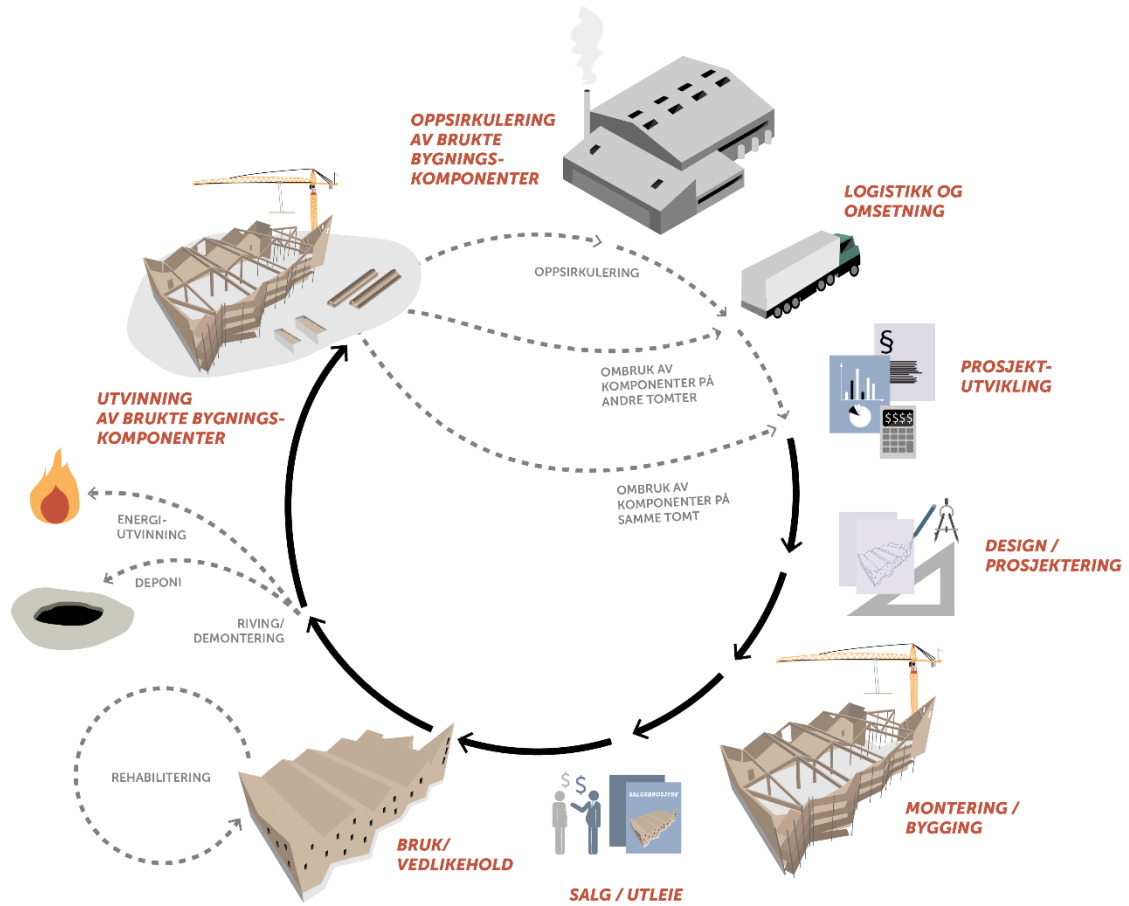
- **Mangel på økonomiske drivkrefter**
 - Markedet for ombrukskomponenter er ikke utviklet nok fordi det mangler økonomiske drivkrefter. De viktigste årsakene til dette er at demontering av bygg for ombruk tar lenger tid, og at prosjektering med ombrukskomponenter gjerne er mer omfattende og mindre forutsigbart enn prosjektering med konvensjonelle materialer.
- **Manglende informasjon om tilgjengelige ombrukskomponenter**
 - Det er vanskelig å finne bygningskomponenter som egner seg til ombruk, særlig med en tidshorisont som gjør det mulig å inkludere dem i prosjekteringsunderlaget.
- **Et regelverk som ikke er tilpasset omsetning og bruk av brukte bygningskomponenter**
 - Byggevareforordningen (BVF) skiller ikke mellom brukte og nye byggevarer, noe som innebærer at brukte bygningskomponenter som skal omsettes må forholde seg til samme krav til dokumentasjon av produktens egenskaper som nye i byggevareforskriften (DOK). Hvis ikke man har original dokumentasjon må man fremkalle ny. Dette gjør omsetning og bruk av ombrukskomponenter krevende.
 - Teknisk forskrift (TEK) skiller heller ikke mellom nye og brukte bygningskomponenter, noe som gjør prosjektering med ombrukskomponenter krevende i mange sammenhenger. Prosjekterende må sørge for at det kan dokumenteres at ombrukte komponenter følger kravene i TEK, og det må alltid vurderes om en ombrukt bygningskomponent bidrar til at TEK ikke blir oppfylt.
 - Ifølge Produktforskriften skal produkter med innhold av helse- og miljøfarlige stoffer over en viss grenseverdi ut av kretsløpet og ikke ombrukes

Hovedkonklusjonene fra denne utredningen gjelder fortsatt, til tross for at stadig flere aktører arbeider for å redusere barrierene mot en mer sirkulær byggebransje, for eksempel ved å stille krav om endringer av regelverket for ombruk.¹¹⁴ Under følger en oversikt og nærmere beskrivelse av barrierene mot ombruk, organisert etter hvor i verdikjeden de befinner seg. Vi har brukt tilsvarende kategorier i verdikjeden som for nye materialer, men utvinning av råmaterialer er erstattet med demontering av eksisterende bygg og utvinning av brukte bygningskomponenter eller «urban mining». Produksjon av bygningskomponenter er erstattet med oppsirkulering av bygningskomponenter. Med oppsirkulering av bygningskomponenter mener vi her all bearbeiding av de brukte komponentene med hensikt om at de kan brukes igjen, fra enkel rengjøring eller maling og skraping, til fullstendig demontering og remontering som nye bygningskomponenter. Under hvert

¹¹³ Utredning av barrierer og muligheter for ombruk, Asplan Viak for NHP-nettverket 2018

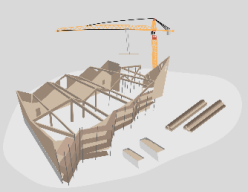
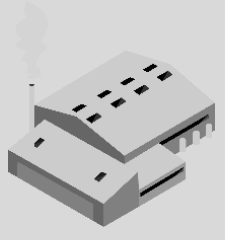
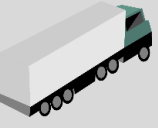

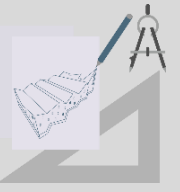


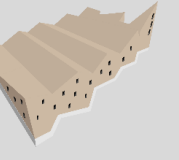
¹¹⁴ <http://www.bygg.no/article/1439972>

punkt i verdikjeden har vi også, på samme måte som i forrige kapittel, listet opp noen mulige tiltak for å utløse potensialet som er blokkert av de aktuelle barrierene.



Figur 42: Verdikjede for brukte bygningskomponenter

Tabell 31: Barrierer mot bruk av ombrukskomponenter

LEDD I VERDIKJEDEN								
BARRIERER	 Utvinning av brukte bygningskomponenter (urban mining)	 Oppsirkulering av brukte bygningskomponenter	 Omsetning og logistikk	 Prosjektutvikling	 Prosjektering	 Montering/bygging	 Salg/utleie	 Bruk/vedlikehold
Tekniske og praktiske barrierer	<p>Brukte bygningskomponenter av dårlig kvalitet, som er vanskelige å demontere og/eller inneholder helsefarlige stoffer eller miljøgifter</p> <p>Forsvarlig og skånsom demontering</p> <p>Sikkerhetsrutiner og HMS-krav m.m. som innebærer at det bør avklares tidlig hva som skal demonteres, hvem som skal gjøre det, og hvem som skal ha eierskap til de brukte komponentene</p>	<p>Stadig endrede tekniske krav til bygningskomponenter som gjør direkte ombruk utfordrende.</p> <p>Kvalitetssikring, særlig dersom komponentene skal bearbeides før de skal ombrukes</p>	<p>Rasjonell og forsvarlig frakt og mellomlagring slik at komponentene beholder sin kvalitet, og man unngår omfattende logistikk før man finner en egnet kjøper.</p> <p>Bygningskomponenter tar mye plass. Å finne lagerlokaler for mellomlagring lokalt, spesielt i tett by</p>	<p>En sirkulær byggeprosess utfordrer de lineære byggeprosessene prosjektutviklere er vant med</p> <p>Usikkerhet knyttet til hvilke komponenter som dukker opp, prisen på dem, og hva slags kvalitetssikringsrutiner som trengs.</p>	<p>Prosjektering med utgangspunkt i tilgjengelige komponenter, som krever fleksibel utforming og mulighet for skreddersøm underveis</p> <p>Informasjon om hvilke komponenter man kan få tak i, og tilgang på store kvanta av de samme komponentene</p> <p>Styring av leveranser av materialer</p>	<p>Materialer som ikke er kvalitetssikret godt nok på forhånd, behov for skreddersydde løsninger, justeringer og tilpasninger på byggeplass.</p>	<p>Standard kravspesifikasjoner hos mange leietakere</p> <p>Kortsiktige leiekontrakter.</p>	<p>Komponenter med mer behov for vedlikehold og kortere restlevetid enn konvensjonelle bygningsmaterialer.</p> <p>Garantier dersom noe går galt</p>
Regulatoriske barrierer	<p>Mangelen på konkrete, målbare krav til ombrukbarhet i nye bygg.</p> <p>At det ikke stilles krav om å kartlegge ombrukspotensial før riving, eller om å demontere bygg slik at ombrukbare bygningskomponenter tilgjengeliggjøres</p>	<p>At brukte bygningskomponenter som skal brukes i nye bygg må følge samme krav i Teknisk forskrift (TEK) som nye, noe som i mange tilfeller gjør oppsirkulering til dagens standard krevende og omfattende</p>	<p>Fortolkningen av den europeiske byggevareforordningen gjennom byggevareforskriften (DOK), som innebærer at brukte bygningskomponenter som skal omsettes må forholde seg til samme krav til dokumentasjon av</p>	<p>Fraværet av krav til ombruk i byggeprosjekter i TEK eller andre relevante lover eller forskrifter.</p> <p>Usikkerhet rundt regelverk knyttet til omsetning og bruk</p>	<p>Siden TEK ikke skiller ikke mellom nye og brukte bygningskomponenter er det krevende for prosjekterende å sørge for at bygg med brukte bygningskomponenter følger forskriften, og at dette kan dokumenteres.</p>		<p>At det ikke finnes regler om merking eller annen informasjon til kjøpere/leietakere knyttet til ombruk, tilsvarende energimerking.</p>	

	Materialer som inneholder helse- eller miljøfarlige stoffer, som ifølge regelverket skal saneres eller ut av kretsløpet. Her er det ikke tatt høyde for om det kan gjøres unntak ved ombruk.		produktetegenskaper som nye Krav om bevilling dersom omsetning av brukte bygningskomponenter defineres som «brukthandel»	Manglende krav til merking eller annen synliggjøring av ombruk i nye bygg				
Markedsmessige barrierer	Mangelen på systematisk innsamling og formidling av hva eksisterende bygg består av, og om noen av komponentene kan brukes igjen, noe som reduserer synligheten av den mulige innsparing ved å utvinne og tilgjengeliggjøre brukte bygningskomponenter. Dette reduserer tilgangen på brukte bygningskomponenter på markedet	Et lite marked for ombrukte bygningskomponenter med lav etterspørsel, som gjør at det oppfattes lite lønnsomt å satse på oppsirkulering av brukte bygningskomponenter til bruk i nye bygg.	Et lite marked med lite tilbud og lav etterspørsel av brukte bygningskomponenter gjør det utfordrende å spleise komponenter med aktuelle prosjekter, noe som gjør logistikken omfattende og kostbar. Få vil ta imot oppsirkulerte komponenter	Få gjennomførte eksempler på hvordan ombrukskomponenter har blitt brukt i nye byggeprosjekter i Norge som kan være forbilder for nye prosjekter og skape etterspørsel blant prosjektutviklere	Et lite marked med lite tilbud av brukte bygningskomponenter, som gjør det vanskelig å finne egnede komponenter, særlig med en tidshorisont som gjør det mulig å inkludere dem i prosjekteringsunderlaget.	Et lite marked, som gjør det vanskelig å finne byggefirmaer med kompetanse på bygging med brukte bygningskomponenter	Markedet for salg/utleie av bygg som er bygget av ombrukskomponenter er så lite at etterspørselen ikke vil være synlig. Manglende synlighet gjør det vanskelig å bygge opp mer etterspørsel.	Vanskelig å erstatte brukte bygningskomponenter som er ødelagt eller må byttes ut med nye, siden man ikke nødvendigvis finner tilsvarende.
Økonomiske	Skånsom demontering av bygg og tilgjengeliggjøring av brukte bygningskomponenter er gjerne mer kostbart enn å rive maskinelt og deponere eller brenne materialene. Norge er et høykostland, og potensialet for inntjening av denne kostnaden ved å selge komponentene videre eller bruke dem selv vil ofte ikke være høy nok, og utfallet for usikkert slik markedet for bygningskomponenter fungerer i dag.	Dagens regelverk gjør det kostbart og tidkrevende å teste og dokumentere ombrukte bygningsmaterialers tekniske egenskaper, særlig dersom de skal videreselges. Et lite utviklet marked gjør investeringer i oppsirkulering usikre.	Kostbare og omfattende logistiske løsninger med mellomtransport og -lagring som følge av et lite utviklet marked	Usikkerhet i prosjektutviklingsleddet som følge av at dette er nybrottsarbeid slår ut negativt ut på utbyggeres kalkyler. Utvikler må påberegne ekstra tid og dermed kostnader knyttet til riving, innhenting av materialer, kvalitetssikring prosjektering, bygging og administrasjon. Disse kostnadene i dag gjenspeiler ikke nødvendigvis kostnadene i fremtiden, da mye skyldes utvikling av rutiner til kvalitetssikring tolkning av regelverk, og annet utviklingsarbeid.	Siden prosjektering med ombrukskomponenter er tidkrevende vil det innebære høyere kostnader i prosjekteringsfasen enn bruk av konvensjonelle materialer for prosjektutviklerne. De prosjekterende selv har imidlertid ingen åpenbare økonomiske ulemper ved å anvende brukte bygningskomponenter.	Bygging med ombrukskomponenter krever gjerne flere tilpasninger og vil dermed innebære mer arbeid. I en tid med stadig mer automatisering av byggebransjen er ikke dette en ulempe for de som er ansvarlige for byggingen, men kan medføre høyere kostnader for utbygger.	Det er ingen direkte økonomiske insentiver for kjøpere/leietakere av bygg med ombrukskomponenter tilsvarende energieffektive bygg. Dersom man er villig til å gjøre litt egeninnsats kan det bli mye rimeligere med ombruk pga. lavere kostnad til materialer.	Behovet for vedlikehold av ombrukskomponenter vil kunne være større, og dermed koste mer enn konvensjonelle materialer

Kunnskapsmessige	<p>Manglende kunnskap om hvilke verdier byggeiere og samfunnet går glipp av dersom man ikke demonterer bygg for fremtidig ombruk</p> <p>Manglende kunnskap om demontering av bygg og tilgjengeliggjøring av brukte bygningskomponenter</p> <p>Manglende kunnskap om hva som er lov å ombruke</p>	<p>Begrepsforvirring og manglende kunnskap om klima- og miljøgevinsten ved ombruk og oppsirkulering framfor materialgjenvinning og energiutnyttning</p>	<p>Manglende kunnskap om at det finnes et marked for omsetning av brukte bygningskomponenter</p>	<p>Manglende kunnskap og erfaring om hvordan man organiserer og strukturerer en sirkulær byggeprosess</p>	<p>Manglende kunnskap om prosjektering med ombrukskomponenter, samt lite erfaring med å håndtere prosesser rundt kvalitetssikring og dokumentasjon</p> <p>Digitalisert informasjon om brukte bygningskomponenter er mindre tilgjengelig for de som prosjekterer enn nye komponenter</p>	<p>Manglende kunnskap og erfaring med å bygge ved hjelp av ombrukte komponenter, samt lite erfaring med å håndtere prosesser rundt kvalitetssikring og dokumentasjon</p>	<p>Kunnskap om i hvilken grad bygg består av ombrukte komponenter, at ombruk av bygningskomponenter er mulig, og miljøfordelene med ombruk framfor «bruk og kast»</p>	<p>Manglende kunnskap om varighet og vedlikehold av brukte bygningskomponenter.</p>
Holdningsmessige	<p>Holdninger om at det er enklere og billigere å rive og kaste enn å bruke på nytt.</p>	<p>Holdninger om at oppsirkulering ikke er noe å satse på</p>	<p>Holdninger om at man ikke vil få avsetning på brukte bygningskomponenter, og at det ikke er vits i å ta vare på dem</p>	<p>Holdninger om at det er dyrt og tungvint å satse på ombruk, og at ombruk kun er for spesielt interesserte</p>	<p>Holdninger om at prosjektering med brukte bygningskomponenter er krevende, gir et utilfredsstillende estetisk resultat eller ikke er like bra</p>	<p>Holdninger om at bygging med brukte bygningskomponenter er unødvendig, dyrt og krevende</p>	<p>Holdninger om at nye komponenter har bedre kvalitet enn brukte, og at ombruk er en «stil» eller for spesielt interesserte</p>	<p>Holdninger om at bygninger skal være «vedlikeholdsfrie», dvs. ha en lang, men begrenset levetid</p>

4.4.1. Tekniske og praktiske barrierer

Brukte bygningskomponenter har varierende kvalitet og egenskaper. Noen brukte bygningskomponenter har langt bedre tekniske egenskaper enn det som produseres i dag, mens andre er av dårlig kvalitet, eller kan inneholde helse- og miljøfarlige stoffer. Den største barrieren er imidlertid ofte ikke de faktiske tekniske egenskapene til bygningskomponentene. Det kan være en langt større praktisk utfordring å kvalitetssikre at komponenter som mangler original dokumentasjon er i tråd med gjeldende regelverk slik at de kan omsettes og brukes.

4.4.1.1. Utvinning av brukte bygningskomponenter (urban mining)

Mange bygningskomponenter, spesielt i bygg fra etterkrigstiden og senere, er ikke utformet med tanke på fremtidig ombruk. De kan være vanskelige å demontere og skille fra tilliggende lag og sjikt, lite robuste og holdbare, eller inneholde helsefarlige stoffer og miljøgifter.

For at de brukte bygningskomponentene skal kunne brukes igjen må riveentreprenør sørge for forsvarlig demontering. Demontering krever ofte mer tid enn vanlig riving, selv om man alltid må demontere enkelte komponenter, som vinduer. Demontering av bygningsdeler som skal ombrukes bør beskrives i anbudet, slik at det kan settes av tid til å planlegge hvordan dette skal gjennomføres i praksis. Det kan være utfordrende å gi bort bygningskomponenter mot henting, da strenge krav for sikkerhetsklarering og HMS avgjør hvem som kan bevege seg på en byggeplass og hente ut materialer.

Tiltak for å gjøre utvinning av brukte bygningskomponenter mer teknisk og praktisk gjennomførbart:

- *Det er ikke så mye å gjøre med at mange komponenter i eksisterende bygg ikke er ombrukbare, men det gjør det viktig å sørge for at nye bygninger utformes med tanke på fremtidig ombrukbarhet.*
- *Det vil ofte være mulig å finne kreative måter å hente ut og ombruke komponenter som ikke er utformet med tanke på ombrukbarhet, slik f.eks. Lendager Ucycle Studios har utviklet en metode for å skjære ut hele elementer av tegl murt med sementbasert mørtel.¹¹⁵ Her kreves det videre forskning og utvikling*
- *Utfordringer med å hente ut materialer til ombruk kan løses ved at interessenter melder seg før anbudet beskrives, slik at riveentreprenør kan ta ut og besørge salg/avhending til eksterne. Et alternativ som er benyttet både ved Ruseløkka skole og i ombruksbygget KA13, er at en ekstern entreprenør påtar seg ansvar for demontering av gitte bygningdeler, etter avtale med byggeier og riveentreprenør.*
- *Proessen rundt kvalitetskontroll kan forenkles ved å utvikle enkle og systematiske metoder for sjekk av ombrukbare bygningskomponenter på riveplass, eller i eksisterende bygg*

4.4.1.2. Oppsirkulering av brukte bygningskomponenter

Når brukte komponenter er utvunnet fra et rivningsobjekt må de ofte bearbeides før de kan brukes om igjen, noe vi her omtaler som oppsirkulering. Dersom komponentene kan brukes til det samme formålet de var ment opprinnelig, er det kanskje tilstrekkelig med rengjøring eller lett vedlikehold. Direkte ombruk kan imidlertid ofte være utfordrende å få til, siden brukte komponenter er laget i en annen tid og kanskje ikke møter tekniske krav til bruk i nye bygg. Gamle trevinduer av malmfuru har for eksempel en langt høyere kvalitet enn mange nye vinduer, og trenger som regel bare litt vasking, skraping og maling for å bli som nye. På tross av den åpenbare klima- og miljøgevinsten ved å bevare slike høykvalitetskomponenter i kretsløpet, vil de imidlertid ikke kunne settes inn i ytterveggen til et

¹¹⁵ <https://lendager.com/en/upcycle-en/upcycle-bricks/>

nytt hus uten at man kan dokumentere at bygget fortsatt følger de vanlige energikravene i Teknisk forskrift (se mer om regulatoriske barrierer mot oppsirkulering av brukte bygningskomponenter i kap. 4.4.2.2). Dersom komponentene skal bearbeides ytterligere, og brukes til noe enn det de var ment opprinnelig, vil kvalitetssikringsprosedyrer og ansvarsforhold være annerledes enn om de skal ombrukes direkte.

Tiltak for å gjøre oppsirkulering av brukte bygningskomponenter mer teknisk og praktisk gjennomførbart:

- *En måte å omgå den praktiske utfordringen med brukte bygningskomponenter som ikke følger tekniske krav til nye bygg vil være å ombruke bygningskomponenter i sekundære funksjoner med lavere kvalitetskrav. For eksempel kan vinduer flyttes fra yttervegg til innervegg.*
- *En annen løsning er å dele opp komponentene, og sette dem sammen på en ny måte. For eksempel kan glassene i gamle vinduer tas ut av rammene og settes inn i nye rammer med doble eller triple glass.*
- *Det er også mulig å overdimensjonere konstruksjoner med brukte bygningskomponenter.*
- *Det beste er om de som oppsirkulerer brukte bygningskomponenter utvikler gode prosedyrer for å teste, kontrollere og beskrive komponentene, slik at det er større sjanse for at de kan brukes til det formålet de var ment, og ikke en sekundær funksjon. «Gamle Mursten» i Danmark har for eksempel, med støtte fra Miljøministeriet, etablert en prosedyre for CE-merking av brukte teglstein¹¹⁶.*

4.4.1.3. Omsetning og logistikk

Brukte bygningskomponenter må fraktes og mellomagres på forsvarlig måte slik at de beholder sin kvalitet, noe som kan være en praktisk utfordring. Dersom ombrukskomponentene ikke kan anvendes lokalt, vil det være økte kostnader og energibruk knyttet til transport.

Siden brukte bygningskomponenter ikke produseres på bestilling, må selger vente på en egnet kjøper. Omvendt er det krevende for kjøper å få de brukte bygningskomponentene man trenger levert «just-in-time». Det er derfor ofte behov for omfattende logistiske løsninger i flere etapper med transport og mellomagring før brukte bygningskomponenter ender opp hos sin nye eier. Bygningsmaterialer tar gjerne mye plass. Å finne lagerlokaler for mellomagring lokalt kan være en utfordring i seg selv, spesielt i tett by.

Tiltak for å gjøre omsetning og logistikk mer teknisk og praktisk gjennomførbart:

- *For å stimulere til mer ombruk lokalt, f.eks. i de større byene, kan det stilles rimelige eller gratis lokaler til rådighet for mellomagring av ombrukskomponenter*
- *Det kan utvikles et system for å finne og forhåndskjøre materialer fra bygg som er planlagt revet slik at man kan få levering «just-on-time».*

4.4.1.4. Prosjektutvikling

En sirkulær byggeprosess utfordrer de lineære byggeprosessene som prosjektutviklere er vant med, og fordrer nye måter å strukturere prosessen på. Økt usikkerhet er en stor praktisk utfordring. Prosjektutvikler vet ikke hvilke komponenter som dukker opp, og prisen på dem, og kanskje heller ikke hva slags kvalitetssikrings-rutiner som trengs. Større deler av prosjektstyringen må gjøres «på gulvet», og beslutninger må tas underveis.

Tiltak for å gjøre prosjektutviklingen mer teknisk og praktisk gjennomførbart:

¹¹⁶ <http://gamlemursten.dk/>

- *Tilrettelegging for pilotprosjekter som trækker opp veien for andre prosjektutviklere*
- *Stimulere til arenaer for kunnskapsbygging og erfaringsutveksling rettet mot prosjektutviklingsleddet*

4.4.1.5. **Prosjektering med brukte bygningskomponenter**

Prosjektering med brukte bygningskomponenter fordrer vanligvis en fleksibel utforming, som tilpasses til hvilke materialer og komponenter som er tilgjengelige. Dette er annerledes enn å prosjektere bygg med materialer og komponenter man kan produsere på bestilling.

Det vil ofte være en praktisk utfordring å finne egnede materialer og komponenter til prosjektet, særlig lokalt, siden markedet for omsetning av brukte bygningskomponenter er såpass lite utviklet (se kap. 4.4.3.3 for mer om markedsmessige barrierer mot omsetning av brukte bygningskomponenter). Det er også utfordrende å styre leveranser av materialer, slik at de kommer til riktig tidspunkt.

Prosjektering med ombrukskomponenter er ofte avhengig av flere skreddersydde løsninger, da det er vanskeligere å få store kvanta av de samme komponentene når man velger brukt enn når man produserer nytt. Det er for eksempel ikke gitt at alle vinduer er like store.

Brukte bygningskomponenter mangler gjerne original produktinformasjon, noe som gjør kvalitetssikring og dokumentasjon på at bygg prosjekteres i tråd med krav i Teknisk forskrift (TEK) en stor praktisk utfordring for prosjekterende. Teknisk forskrift er i stadig utvikling, noe som også kan være en utfordring i seg selv når man skal prosjektere og utforme et bygg med utgangspunkt i brukte komponenter fra en tid hvor forskriftskravene var annerledes.

Tiltak for å gjøre prosjektering med brukte bygningskomponenter mer teknisk og praktisk gjennomførbart:

- *Stimulere til bedre markeds plasser for ombrukskomponenter og andre virkemidler for å gjøre det enklere å få tak i riktige komponenter lokalt til riktig tid.*
- *Inkludere unntaksbestemmelser knyttet til ombruk av bygningskomponenter i Teknisk forskrift (TEK) for å lette arbeidet for prosjekterende.*
- *Tilrettelegging for pilotprosjekter som trækker opp veien for andre prosjekterende*
- *Arenaer for kunnskapsbygging og erfaringsutveksling rettet mot prosjekterende*

4.4.1.6. **Montering/bygging**

Det kan være utfordrende for utførende å bygge ved hjelp av brukte materialer dersom ikke materialene er kvalitetssikret godt nok på forhånd, og det er behov for skreddersydde løsninger, justeringer og tilpasninger på byggeplass.

Tiltak for å gjøre montering og bygging med brukte bygningskomponenter mer teknisk og praktisk gjennomførbart:

- *Kvalitetssikring av materialer som skal brukes på forhånd for å redusere behov for tilpasninger og justeringer på byggeplass*
- *Gode beskrivelser av hvordan utførende skal bygge med de brukte materialene*
- *Tilrettelegging for pilotprosjekter som trækker opp veien for andre utførende*
- *Arenaer for kunnskapsbygging og erfaringsutveksling rettet mot utførende*

4.4.1.7. **Salg/utleie**

Leietakere har ofte standard kravspesifikasjoner som er vanskelig å imøtekomme i et ombruksprosjekt. I tillegg er det vanlig med kontrakter med maksimalt 10 år i utleiemarkedet i dag,

og utviklingen går i retning av stadig kortere utleieperioder. Dette innebærer mye bruk og kast, for eksempel av tekniske installasjoner, kontorfronter i glass og innredning/møbler.

Tiltak for å redusere de praktiske og tekniske barrierene mot salg/utleie av bygg med brukte bygningskomponenter

- *Åpne opp for unntak fra kravspesifikasjonene eller tilpassede kravspesifikasjoner for ombruksprosjekter*
- *Lengre leieavtaler eller avtaler der byggeier i større grad definerer kvaliteter og premisser*
- *Databaseløsninger med oversikt over fleksible bygningsdeler/innredning, som erfaringsmessig ofte endres eller skiftes ut (for eksempel kontorskillevegger og innredning/møbler)*

4.4.1.8. **Bruk/vedlikehold**

Enkelte ombrukte bygningskomponenter vil kunne ha behov for mer vedlikehold og ha en kortere restlevetid enn konvensjonelle bygningsmaterialer. Det vil kunne være vanskeligere å få tilsvarende garantier for ombrukte bygningskomponenter som nye dersom noe går galt.

Tiltak for å gjøre bruk/vedlikehold mer teknisk og praktisk gjennomførbart:

- *Gode beskrivelser av hvordan de brukte komponentene skal vedlikeholdes som følger med bygget (FDV- dokumentasjon)*
- *Gode beskrivelser av hvordan både nye og brukte komponenter skal kunne skiftes ut, og eventuelt etablere lokalt reservelager av erstatningsdeler.*

4.4.2. **Regulatoriske barrierer**

En betydelig barriere mot ombruk av bygningskomponenter i dag er et regelverk for byggevarer som ikke er tilpasset brukte komponenter, men behandler dem på lik linje med nye. Barrierene handler først og fremst om manglende tilpasning i Forskrift for dokumentasjon av byggevarer (DOK) og Teknisk forskrift (TEK).

Det er ikke bare kravene som stilles, men også mangelen på krav som utgjør en regulatorisk barriere for ombruk. Selv om TEK sier at «det skal velges produkter som er egnet for ombruk og materialgjenvinning»¹¹⁷ og byggevareforordningen sier at «byggverk skal konstrueres, oppføres og rives på en slik måte at ... byggverk og materialer og deler i byggverk kan brukes på nytt eller gjenvinnes etter rivning»¹¹⁸ er mangelen på konkrete, målbare krav og oppfølging av i hvilken grad de som river og bygger nytt i dag tilrettelegger for ombruk og ombrukbarhet en betydelig barriere for en mer sirkulær og ressurseffektiv byggenæring.

4.4.2.1. **Utvinning av brukte bygningskomponenter (urban mining)**

Regelverket for riving og avfallshåndtering handler i dag først og fremst om å unngå forurensning. Det stilles ingen konkrete krav om å kartlegge ombrukspotensial i eksisterende bygg før de rives, at man skal demontere bygg slik at ombrukbare bygningskomponenter tilgjengeliggjøres eller i hvilken grad nye bygg skal bygges med ombrukbare komponenter.

Ved rivning eller demontering skal det medfølge en sluttrapport som dokumenterer hvordan avfall er levert eller brukt om igjen. Materialer som inneholder helse- eller miljøfarlige stoffer skal miljøsaneres eller ut av kretsløpet. Lett forurensede masser kan benyttes dersom Fylkesmannen

¹¹⁷ <https://dibk.no/verktoy-og-veivisere/energi/ombruk-av-byggevarer--hvilke-krav-ma-oppfylles/>

¹¹⁸ Ibid.

godkjenner det. For enkelte ombrukskomponenter som inneholder helse- eller miljøfarlige stoffer, som f.eks. eternittplater, kan det i enkelte tilfeller være bedre at de forblir i kretsløpet og ikke destrueres, men det finnes ingen god oversikt i dag over disse unntakene.

Tiltak for å redusere de regulatoriske barrierene mot utvinning av brukte bygningskomponenter:

- *Det kan kreves kartlegging av hvilke bygningskomponenter eksisterende bygninger består av og komponentenes ombrukspotensial, i hvert fall som en forutsetning for å få tillatelse til rivning*
- *Det kan stilles strengere krav til å demontere bygg slik at ombrukbare bygningskomponenter tilgjengeliggjøres, f.eks. et krav om at en prosentandel av bygningskomponenter klargjøres for ombruk og at riveentreprenør beskriver hvordan disse komponentene skal markedsføres.*
- *Det kan stilles krav i Teknisk forskrift (TEK) om at nye bygg benytter en viss andel ombrukbare bygningskomponenter, slik at det blir et større marked for demontering*
- *Avfallsregelverket kan endres slik at det skilles mer mellom ombruk og andre måter å avhende materialer på.*
- *Det kan undersøkes nærmere hvilke bygningskomponenter som inneholder miljø- og helsefarlige stoffer der det kan gjøres spesifikke unntak knyttet til ombruk.*

4.4.2.2. **Oppsirkulering av brukte bygningskomponenter**

Allerede når brukte bygningskomponenter som er hentet ut av rivningsobjekter skal bearbeides med hensikt om å oppsirkuleres og brukes i nye bygg, vil man kunne støte på utfordringer knyttet til krav i Teknisk forskrift (TEK) som ikke differensierer mellom nye og brukte materialer. Det er prosjekterende som har ansvar for at nye bygg følger Teknisk forskrift, men nye komponenter på det norske markedet er gjerne utformet i tråd med gjeldende forskriftskrav, noe som gjør denne jobben mye enklere enn dersom man anvender brukte komponenter. Det hadde vært lettere å oppsirkulere brukte bygningskomponenter dersom de kunne brukes i nye bygg uten omfattende justeringer og endringer for å imøtekomme de samme kravene i TEK som nye bygningskomponenter. I de fem eksperimentboligene på Svartlamon i Trondheim¹¹⁹, der kledning, taktekking, vinduer, dører og interiør er ombrukskomponenter, var man for eksempel godt hjulpet av en dispensasjon fra energikravene i TEK når man skulle finne brukte komponenter, med en begrunnelse om at man svarte ut hensikten med kravene på en alternativ og utprøvende måte. Dette gjorde at langt flere brukte komponenter kunne anvendes enn dersom man måtte følge de vanlige kravene i TEK.

Tiltak for å redusere de regulatoriske barrierene mot oppsirkulering av brukte bygningskomponenter:

- *Dagens TEK har unntaksbestemmelser knyttet til f.eks. energikrav for laftede bygg under en viss størrelse, og med vissheten om hva man kan spare av ressurser og klimagassutslipp ved å bevare bygningskomponenter i systemet lenger, vil det kunne være naturlig at man kan gjøre noe tilsvarende for energikrav i bygg med en viss andel ombrukte komponenter når TEK skal revideres. Dette vil gjøre det enklere å oppsirkulere komponenter til dagens standard.*

4.4.2.3. **Omsetning og logistikk**

En viktig barriere mot omsetning av brukte bygningskomponenter er at Forskrift for dokumentasjon av byggevarer (DOK) ikke differensierer mellom brukte og nye bygningskomponenter.

Byggevevareforskriften følger opp den europeiske Byggevevareforordningen (CPR) som har regler for omsetning og markedsføring av byggevarer. Forordningen krever at man dokumenterer egenskaper som mekanisk styrke, dimensjoner, egenskaper ved brannpåvirkning, brannmotstand, termisk motstandsevne, lydisoleringsevne, lufttetthet, regntetthet, damp tetthet, emisjon av forurensende

¹¹⁹ www.eksperimentboliger.no

stoffer og innhold av farlige stoffer osv. for alle byggevarer som omsettes i EU og EØS-land dersom ikke bygningskomponentene har en offisiell CE-merking. Regelverket har imidlertid ikke tatt høyde for ombruk, og som en konsekvens av dette gjelder de samme kravene til dokumentasjon for ombrukskomponenter som nye byggevarer.

Det er Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) som forvalter dette lovverket i Norge. DiBK står enn så lenge fast ved at Norge skal følge den strengeste fortolkningen av EU-forordningen, og at det skal være samme dokumentasjonskrav for brukte byggevarer som nye. Selv om kravene sjeldent følges opp i praksis, bidrar de til å gjøre omsetning av ombrukskomponenter i en større skala vanskelig og kostbart. Sirkulær økonomi er høyt på agendaen i EU, og det er ikke usannsynlig at et nytt lovverk for sirkulær økonomi i EU vil adressere denne problemstillingen. Inntil dette eventuelt skjer har man ingen instruks i Norge for å tolke byggevareforordningen slik at ombrukskomponenter ikke blir rammet.

Ifølge dagens regelverk er det altså ulovlig å omsette bygningskomponenter uten tilstrekkelig dokumentasjon i henhold til DOK. For at det skal regnes som omsetning holder det at eierskapet skifter, og det er ingen forskjell på å gi bort brukte bygningskomponenter eller å selge dem.

Dersom omsetning av brukte bygningskomponenter defineres som «brukthandel», skal aktører i tillegg ha bevilling.

Det er enklest for byggeier å ombruke komponentene selv i dag. Siden reglene for omsetning av bygningskomponenter er såpass strenge, er det imidlertid viktig å avklare eierskap allerede i forbindelse med utvinning av brukte bygningskomponenter, slik at ikke eierskapet til komponentene automatisk overføres til riveentreprenøren.

Tiltak for å redusere de regulatoriske barrierene mot omsetning og logistikk av brukte bygningskomponenter:

- *Dersom komponentene som rives kan brukes av samme eier er det en fordel med det regelverket vi har i dag. Da unngår man dokumentasjonskravene ved omsetning av byggevarer i byggevareforskriften (DOK). Eierskapet må i så fall avklares med riveentreprenør i forbindelse med anbudsprosessen.*
- *Det kan utarbeides en instruks for å tolke byggevareforordningen slik at ombrukskomponenter ikke omfattes av krav om CE-merking eller tilsvarende inntil EU-regelverket endres i tråd med mer sirkulære prinsipper*
- *Det kan undersøkes om det er nødvendig med bevilling for å omsette brukte bygningskomponenter*

4.4.2.4. Prosjektutvikling

Det stilles ikke konkrete krav til ombruk i byggeprosjekter i Teknisk forskrift (TEK) eller andre relevante lover eller forskrifter, og usikkerhet rundt regelverket for omsetning og bruk av brukte bygningskomponenter gjør det lite attraktivt å satse på ombruk for prosjektutviklere. Det er heller ikke krav til merking eller annen synliggjøring av ombruk i nye prosjekter som kan bidra til å ansvarliggjøre prosjektutviklerleddet.

Tiltak for å redusere de regulatoriske barrierene mot at prosjektutviklere benytter brukte bygningskomponenter:

- *En opprydning i regelverket rundt bruk og omsetning av brukte bygningskomponenter vil gjøre det mer forutsigbart for utbyggere å satse på ombruk*
- *Det kan stilles krav om ombruk i nye byggeprosjekter i Teknisk forskrift (TEK)*
- *Kommuner kan fremme ombruk gjennom kommuneplanen og annet planarbeid*

- *Kommuner, fylkeskommuner og statlige byggforetak kan stille krav om ombruk og sirkulære bygg i egne byggeprosjekter*

4.4.2.5. **Prosjektering med brukte bygningskomponenter**

Det later ikke til at ombruk av bygningskomponenter er vurdert som et aktuelt alternativ for prosjekterende i gjeldende Teknisk forskrift (TEK). Det skal velges produkter som er egnet til fremtidig ombruk og gjenvinning, men står ingenting om at man skal prioritere ombrukskomponenter der det er mulig i dag. Dersom prosjekterende bruker Norsk standard som referanse for prosjektering i samsvar med TEK finner man for eksempel ikke ombrukskomponenter som noen av standardalternativene. Siden det ikke skiller mellom brukte og nye bygningskomponenter betyr det at prosjekterende må sørge for at brukte bygningskomponenter er i samsvar med de samme kravene i TEK som nye materialer, og at dette kan dokumenteres.

Som nevnt under beskrivelsen av tekniske og praktiske barrierer mot prosjektering med brukte komponenter (se kap. 4.4.1.5) vil det kunne være utfordrende å dokumentere at brukte komponenter kan brukes i nye bygg, både på grunn av brukte komponenters faktiske tekniske egenskaper og fordi det kan være tidkrevende og vanskelig å kvalitetssikre dem.

Vanligvis oppfylles dokumentasjonskravet i TEK med den samme dokumentasjon som kravet i DOK, men som nevnt under omsetning- og logistikk-leddet er det ikke så enkelt å dokumentere brukte komponenters egenskaper som nye. Dokumentasjonskravet i TEK er imidlertid mindre rigid enn kravet i DOK, og det er flere måter å beskrive komponentenes egenskaper slik at prosjekterende kan vurdere om kravene i TEK møtes.

For eksempel kan prosjekterende eller utførende, gjerne i samarbeid med bransjeforening eller eksterne materialeksperter, sjekke aktuelle kvaliteter gjennom synfaring og ulike former for testing. Formidling/ spredning av rutiner for dette gir muligheter for at man etter hvert kan oppnå omforente metoder for kvalitetssikring og nødvendig dokumentasjon av egenskaper for brukte byggevarer i henhold til TEK.

Tiltak for å redusere de regulatoriske barrierene mot at prosjekterende benytter brukte bygningskomponenter:

- *Det kan stilles krav i Teknisk forskrift (TEK) knyttet til ombruk av bygningskomponenter*
- *Det kan vurderes om det kan utarbeides unntaksbestemmelser for eksempel mht. energikrav for bygg med en viss andel av ombrukte komponenter når TEK skal revideres*
- *Prosjekterende kan få bedre støtte til å håndtere regelverket rundt ombrukte bygningskomponenter, slik at kvalitetssikring og dokumentasjon om at krav i TEK er overholdt blir enklere*
- *Det kan utarbeides kvalitetssikringsrutiner og maler for kvalitetssikring og nødvendig dokumentasjon av egenskaper for brukte byggevarer, som kan utføres av prosjekterende eller utførende, gjerne i samarbeid med bransjeforening og/eller eksterne materialeksperter. Formidling/spredning av rutiner for dette kan lede til omforente metoder for kvalitetssikring og nødvendig dokumentasjon av egenskaper for brukte byggevarer i henhold til TEK.*
- *Norsk standard kan inkludere alternativer med brukte bygningskomponenter blant sine standardalternativer*

4.4.2.6. **Salg/utleie**

Det finnes ikke regler om merking eller annen informasjon til kjøpere/leietakere knyttet til ombruk, tilsvarende for eksempel energimerking. Dette gjør synligheten av ombrukstiltak lav, og gjør det vanskelig å vurdere etterspørselen blant potensielle kjøpere/leietakere.

Tiltak for å redusere de regulatoriske barrierene mot salg/utleie av brukte bygningskomponenter:

- *Det kan etableres en merkeordning knyttet til ombrukbarhet og andelen ombrukskomponenter i nye bygg tilsvarende energimerking. Merkeordningen kan for eksempel knyttes til kravene til Sirkulære bygg i henhold til FutureBuilt.¹²⁰*

4.4.3. Markedsmessige barrierer

Markedet for kjøp og salg av brukte bygningskomponenter er svært lite utviklet i dag, noe som både gjør det vanskelig for de som ønsker å kvitte seg med komponenter fra bygg som rives eller rehabiliteres, og for de som ønsker å ta i bruk ombrukskomponenter i sine byggeprosjekter.

Det finnes brukthandlere som selger brukte bygningskomponenter, som dører og vinduer til privatpersoner, som f.eks. *Gamle trehus og historiske fliser*¹²¹ på Vøienvolden gård i Oslo. I tillegg gir digitale markedsplasser som *finn.no* muligheter til å få tak i brukte bygningskomponenter fra privatpersoner gjennom funksjonen «torget». Overskuddsmaterialer fra byggeplasser og brukte materialer og innredning selges gjennom foretak som f.eks. *Resirqe*¹²² og *Bruktrom*¹²³. Ellers er man enn så lenge avhengig av å få informasjon om tilgjengelige ombrukskomponenter gjennom tips, eller ved å selv ta kontakt med de ansvarlige for rivnings- eller rehabiliteringsprosjekter. Det var for eksempel en kombinasjon av *finn.no*, direkte henvendelser og aktiv oppsøking av byggeplasser at selvbyggerne fant brukte materialer til ombruksprosjektet Eksperimentboliger på Svartlamon¹²⁴.

Hvis man sammenlikner markedet for brukte bygningskomponenter med andre deler av bruktmarkedet, ser man et betydelig potensial for økning både i tilbud og etterspørsel. Ifølge *finn.no* sin bruktmarkedsrapport i 2019, økt f.eks. antall annonser for «klær, kosmetikk og tilbehør» med nesten 15% fra 2018 til 2019, og «Torget» hadde en million flere søk enn året før.¹²⁵ Det er kanskje derfor ikke overraskende at flere aktører arbeider med å etablere digitale markedsplasser spesifikt for bygningskomponenter, både internasjonalt og i Norge. Asplan Viak^{126, 127} og Rambøll (Rehub)¹²⁸ arbeider begge med løsninger for dette støttet av Enova-programmet «Innovative løsninger i Energitjenestemarkedet for bygg». Det finnes imidlertid barrierer i alle ledd av verdikjeden som gjør det er utfordrende å få i stand et velfungerende marked for bygningskomponenter i dag.

4.4.3.1. Utvinning av brukte bygningskomponenter (urban mining)

For å utvikle et velfungerende marked for brukte bygningskomponenter er man avhengig av å få opp både tilbudet og etterspørselen. På tilbudssiden er man avhengig av at byggeiere ser verdien av å tilgjengeliggjøre bygningskomponenter fra bygg som skal rives, og ikke minst at informasjonen om hvilke komponenter som er mulig å få tak i når potensielle kjøpere. I dag skjer det ingen systematisk innsamling og formidling av informasjon om hva eksisterende bygg består av, og om noen av bygningskomponentene kan brukes igjen når byggene skal rives.

Tiltak for å redusere de markedsmessige barrierene mot utvinning av brukte bygningskomponenter:

¹²⁰ FutureBuilt kriterier for sirkulære bygg (2020), FutureBuilt

¹²¹ <http://gamletrehus.com/>

¹²² <http://www.resirqe.no/>

¹²³ <https://kv-solutions.com/>

¹²⁴ <https://www.eksperimentboliger.no>

¹²⁵ <https://bruktmarkedsrapporten.finn.no/to-av-tre.html>

¹²⁶ <https://ombruk.avinet.no/>

¹²⁷ <https://www.enova.no/bedrift/bygg-og-eiendom/historier/krevende-a-utvikle-markedsplass-for-ombruk-av-materialer/>

¹²⁸ <https://www.rehub.no/>

- *For å øke tilbudet av ombrukskomponenter kan det etableres systemer for å kartlegge ombrukspotensialet og verdiene som ligger bundet i materialene i eksisterende bygg. I Nederland har man for eksempel utviklet et konsept som kalles «material passports», som gir en oversikt over hvilke materialer og komponenter bygg består av, hvor bærekraftige de er, og hvorvidt de egner seg til ombruk eller gjenvinning¹²⁹*
- *Disse «materialbankene» vil kunne bli formidlet gjennom en digital markeds plass for omsetning av bygningskomponenter.*
- *Krav om å demontere bygg slik at ombrukbare bygningskomponenter tilgjengeliggjøres vil øke tilbudet av ombrukskomponenter (se regulatoriske barrierer)*

4.4.3.2. Oppsirkulering av brukte bygningskomponenter

Et lite og fragmentert marked for brukte bygningskomponenter gjør at ikke mange har valgt å satse på oppsirkulering av brukte bygningskomponenter til bruk i nye bygg. I Trondheim hadde man i første tiår av 2000-tallet en bedrift som het *Re-Bygg*, som en del av *Stavne kompetansesenter*, som har som mål å hjelpe ungdom ut i arbeid. *Re-Bygg* oppsirkulerte en ikke ubetydelig del av Trondheims bygningsavfall i året, og bidro ikke minst til utvikling av nye kreative løsninger for ombruk, som «Stavne-blokka» og pilotprosjekter som «Gjenbrukshuset i Trondheim»¹³⁰. *Re-Bygg* ble imidlertid nedlagt i 2010, mye på grunn av at markedet for oppsirkulerte bygningskomponenter ikke var utviklet nok til at det var økonomisk lønnsomt, i hvert fall på kort sikt. I tillegg ønsket NAV at ungdommene tilknyttet senteret skulle ha «vanlige jobber» i stedet.¹³¹ Med sirkulær økonomi stadig sterkere på dagsordenen, har det i dag kommet enkelte nye pionerer på banen, som *Resirqel*¹³² i Oslo, men foreløpig er oppsirkulering av bygningskomponenter fortsatt et marginalet fenomen.

Tiltak for å redusere de markeds messige barrierene mot oppsirkulering av brukte bygningskomponenter:

- *Etableringen av gode digitale markeds plasser for omsetning av brukte bygningskomponenter vil kunne gjøre det mer attraktivt å satse på oppsirkulering, og dermed øke tilbudet av oppsirkulerte bygningskomponenter.*
- *Flere pilotprosjekter vil kunne bane vei for etablering av rutiner som gjør at risiko ved gjennomføring av ombruksprosjekter reduseres*
- *Krav om ombruk i nye prosjekter vil øke etterspørselen etter ombrukte bygningskomponenter (se regulatoriske barrierer)*

4.4.3.3. Omsetning og logistikk

Et lite utviklet marked med lavt tilbud og lite etterspørsel gjør det utfordrende å spleise brukte bygningskomponenter med aktuelle prosjekter i nærheten. Dette kan gjøre logistikken omfattende og kostbar, og tiden brukte bygningskomponenter må ligge på lager lang. Det er derfor få aktører på markedet som vil ta imot brukte bygningskomponenter for videresalg.

Tiltak for å redusere de markeds messige barrierene mot omsetning og logistikk av brukte bygningskomponenter

- *Etableringen av gode digitale markeds plasser vil kunne gjøre det mer attraktivt å satse på løsninger for omsetning og logistikk tilpasset brukte bygningskomponenter*

¹²⁹ *The Circularity Gap Report Norway*, Circular Norway 2020

¹³⁰ *Pilotprosjektet Gjenbrukshus i Trondheim – en bro fra destruksjon til konstruksjon*, Njål Pettersen, Miljøenheten i Trondheim kommune 2005

¹³¹ <https://www.nrk.no/trondelag/re-bygg-i-trondheim-blir-lagt-ned-1.7180700>

¹³² <http://www.resirqel.no/>

- *Kartlegging og formidling av ombruksmuligheter i god tid før riving vil kunne bedre muligheten for «just-in-time»-levering av brukte byggevarer, noe som vil redusere behov for mellomlagring*

4.4.3.4. **Prosjektutvikling**

Få gjennomførte eksempler på hvordan ombrukskomponenter har blitt brukt i nye byggeprosjekter som kan være forbilder for nye prosjekter, bidrar til en lav etterspørsel for ombrukskomponenter fra prosjektutviklerleddet.

Usikkerhet om det finnes etterspørsel blant kjøpere og leietakere gjør at dette markedet ikke prioriteres.

Tiltak for å redusere de markedsmessige barrierene mot at prosjektutviklere benytter brukte bygningskomponenter

- *Tilrettelegging for flere ombruks-pilotprosjekter vil avdekke i hvilken grad det lønner seg for prosjektutviklere å satse på ombruk i dag*
- *Tiltak beregnet på å gjøre det mer økonomisk lønnsomt å ombruke bygningskomponenter vil gjøre etterspørselen fra prosjektutviklere større*
- *En opprydning i regelverket rundt bruk og omsetning av brukte bygningskomponenter vil gjøre ombruk mer forutsigbart, og dermed øke etterspørselen i prosjektutviklingsleddet*

4.4.3.5. **Prosjektering**

Et lite utviklet marked for brukte bygningskomponenter gjør det utfordrende for prosjekterende å finne bygningskomponenter som egner seg til ombruk, særlig med en tidshorisont som gjør det mulig å inkludere dem i prosjekteringsunderlaget. Det er også krevende for prosjekterende å vurdere behov for kvalitetssikring og dokumentasjon av ulike typer brukte byggevarer.

Tiltak for å redusere de markedsmessige barrierene mot at prosjekterende benytter brukte bygningskomponenter

- *Etableringen av gode digitale markedsplasser for brukte bygningskomponenter vil gjøre det enklere for prosjekterende å finne egnede materialer og komponenter. Det beste hadde vært om man kunne fått oversikt over materialer som ennå ikke var frigjort for enklere planlegging.*
- *Etablering av rutiner for kvalitetssikring og dokumentasjon av brukte byggevarer, ev. utført av en tredjepart, vil gjøre det enklere for prosjekterende å få et underlag for vurdering av egenskaper.*

4.4.3.6. **Montering/bygging**

Det er vanskelig å finne byggefirmaer med kompetanse på bygging med brukte bygningskomponenter, siden markedet er såpass lite. Det kan også være en utfordring med opplevd eller reell risiko forbundet med ombruksprosjekter for utførende.

Tiltak for å redusere de markedsmessige barrierene mot montering/bygging med bygningskomponenter

- *Tilrettelegging for flere ombruks-pilotprosjekter kan bidra til å synliggjøre behovet for kompetanse på bygging med ombruksmaterialer*
- *Etablering av rutiner for kvalitetssikring og dokumentasjon av brukte byggevarer, eventuelt utført av en tredjepart, vil kunne senke risiko (reell og opplevd) for utførende.*

4.4.3.7. Salg/utleie

Markedet for salg/utleie av bygg som er bygget av ombrukskomponenter er så lite at etterspørselen ikke vil være synlig. Manglende synlighet gjør det vanskelig å bygge opp etterspørsel.

Tiltak for å redusere de markedsmessige barrierene mot salg/utleie av bygg med brukte bygningskomponenter

- *Tilrettelegging for flere ombruks-pilotprosjekter kan bidra til å synliggjøre etterspørselen etter ombruk hos brukere*
- *Merkerordninger eller andre tiltak som øker synligheten av ombruk vil kunne bidra til å øke etterspørselen*

4.4.3.8. Bruk/vedlikehold

Det kan være vanskelig å erstatte brukte bygningskomponenter som er ødelagt eller må byttes ut med nye, siden man ikke nødvendigvis finner tilsvarende.

Tiltak for å redusere de markedsmessige barrierene mot bruk/vedlikehold av bygg med brukte bygningskomponenter

- *Etableringen av gode digitale markeds plasser for brukte bygningskomponenter vil gjøre det enklere å vedlikeholde bygg med ombrukskomponenter*

4.4.4. Økonomiske barrierer

Slik som byggebransjen fungerer i dag er det lite sannsynlig at vi vil se ombruk av bygningskomponenter i stor skala før det blir påtvunget eller økonomisk lønnsomt.

I utgangspunktet burde det vært god økonomi i å ombruke bygningskomponenter, både for de som skal kvitte seg med brukte komponenter og de som skal bruke dem. En studie det nederlandske firmaet «Metabolic» gjorde for Metropolregionen Amsterdam (MRA) regnet ut at de 2,6 millioner tonn med bygningsmaterialer som frigis hvert år gjennom rehabilitering og rivning i Amsterdam-regionen har en potensiell verdi på 688 millioner euro.¹³³ Verdiene som kan spares i Norge ved å ombruke bygningskomponenter, på tross av at det ennå ikke er utviklet et marked for omsetning, bekreftes i rapporten *Samfunnsøkonomisk analyse av redusert avfall i byggebransjen* utgitt av Nibio i 2020.¹³⁴ Ifølge rapporten er spart kostnad per tonn ved ombruk høyest for isolasjon, med 58 910 kroner (kun lokal og intern ombruk er relevant), stål med rundt 21 230 kroner og tre med i underkant av 14 720 kroner og minst for betong, med rundt 1360 kroner. Ombruk av betong er imidlertid også lønnsomt ifølge rapporten, og vekten av betong- og treavfallet er høyere enn i de andre kategoriene.

Enorme verdier ligger bundet i bygningskomponenter i eksisterende bygninger i dag, men siden det ikke finnes noe fungerende marked for omsetning av brukte byggevarer (se mer i kap. 4.4.3 markedsmessige barrierer), gis brukte bygningskomponenter, i de tilfellene hvor de ikke brennes eller deponeres, bort eller selges til en svært lav pris når eksisterende bygg skal rives eller rehabiliteres.

At brukte byggevarer har såpass lav markedsverdi i dag burde i hvert fall bety at det å bygge med ombrukskomponenter blir billigere. *Eksperimentboligene på Svartlamon*¹³⁵ som ble ferdigstilt i 2017 er fem selvbygde rekkehus og et felleshus der kledning, taktekking, interiør, vinduer og dører består

¹³³ <https://www.metabolic.nl/publications/circulaire-business-cases-mra-bouw-sloopafval/#page=4>

¹³⁴ *Samfunnsøkonomisk analyse av redusert avfall i byggebransjen*, Nibio 2020

¹³⁵ www.eksperimentboliger.no

av ombrukskomponenter funnet ved diverse rivnings- og rehabiliteringsprosjekter i Trondheim og på *finn.no*. På grunn av graden av ombruk og egeninnsats ble hele prosjektet realisert for bare 3 millioner kroner, og hvert av husene hadde et interiørbudsjett på 50 000 kroner. Dette innebærer en kvadratmeterpris på rundt 8500 kr. Prosjektet er imidlertid heller unntaket som bekrefter regelen om at ombruk av bygningskomponenter er lite kostnadseffektivt i Norge i dag.

Men hvorfor er det ikke alltid like lønnsomt å benytte brukte bygningskomponenter i nye prosjekter? De økonomiske barrierene mot ombruk av bygningskomponenter finnes i dag i alle ledd av verdikjeden.

4.4.4.1. Utvinning av brukte bygningskomponenter (urban mining)

Utvinning av råvarer til og produksjon av nye bygningskomponenter er i dag en svært effektiv og standardisert industri. Behov for arbeidskraft løses gjerne av maskiner i høykostland eller outsources til lavkostland. De store økonomiske besparelsene som ligger i større og mer effektive maskiner og/eller rimeligere arbeidskraft er grunnen til at det f.eks. kan være billigere å kjøpe trevirke og massivtreelementer fra Sentral- og Øst-Europa og frakte dem til Norge enn å bruke lokalt trevirke.

På tross av verdien brukte bygningsmaterialer utgjør, vil gjerne det ekstra arbeidet og tiden en skånsom demontering og tilgjengeliggjøring av bygningskomponenter for ombruk tar bli såpass kostbart i Norge at det vil kunne lønne seg å rive maskinelt, deponere eller brenne materialene, for så å kjøpe nye materialer.

Bygningsmaterialene som produseres i Norge kan også være ganske rimelige. God tilgang på nytt trevirke har for eksempel gjort at det er få økonomiske insentiver for å ombruke eller materialgjenvinne tre. Brukte bygningskomponenter av tre går derfor stort sett til forbrenning og energiutnyttelse, uten at det anses som lite miljøvennlig eller sløsing med naturressurser. Denne uttalelsen fra «Bygg og bevar» basert på Grønn byggallianse og Context AS sin «Grønne materialguide» fra 2017 er betegnende for hvordan ombruk av trevirke omtales i Norge i dag: «Konstruksjonsvirke er i prinsippet egnet til gjenbruk, men dette er i liten grad økonomisk forsvarlig og har begrenset miljømessig verdi. Avhendet trevirke går i hovedsak til energigjenvinning.»¹³⁶

Til tross for miljø- og klimabesparelsen ved å ta vare på bygningskomponenter som kan brukes igjen framfor å produsere helt nye, vil altså sistnevnte lønne seg økonomisk etter spillereglene i dagens marked, noe som gir en ikke ubetydelig fordel. Dette er ikke en ukjent problemstilling på andre områder heller, da det på tross av den store forskjellen i ressursbruk og energi ofte vil være rimeligere å kjøpe f.eks. en ny t-skjorte eller et nytt par med sko enn å reparere, eller kjøpe brukt.

Tiltak for å redusere de økonomiske barrierene mot utvinning av brukte bygningskomponenter:

- *Det vil bli mer økonomisk lønnsomt å utvinne brukte bygningskomponenter dersom markedet blir mer utviklet og det utvikles bedre plattformer for omsetning av ombrukskomponenter (se markedsmessige barrierer)*
- *En kartlegging av ombrukbare bygningskomponenter i eksisterende og nye bygg vil være et viktig hjelpemiddel for å synliggjøre de økonomiske verdiene som kan frigjøres ved å tilgjengeliggjøre bygningskomponenter for ombruk. Dette har man blant annet arbeidet med i Nederland, der Amsterdam kommune har planer om å kartlegge bygningskomponentene i alle offentlige bygg i den åpne digitale databasen «Madaster»¹³⁷.*

¹³⁶ <https://www.byggogbevar.no/enok/groenne-materialvalg/konstruksjonsmaterialer/konstruksjonsvirke>

¹³⁷ <https://www.theguardian.com/cities/2020/jan/13/the-case-for-never-demolishing-another-building>

- *Krav om demontering og tilgjengeliggjøring av brukte byggevarer i alle riveprosjekter vil gjøre at riveentreprenørene konkurrerer på like fot. Her kan f.eks. det offentlige gå foran og sette standard for hvordan man gjennomfører et riveprosjekt med fokus på høy ressurseffektivitet.*

4.4.4.2. Oppsirkulering av brukte bygningskomponenter

Oppsirkulering av brukte bygningskomponenter gjennom større eller mindre bearbeiding er i dag mindre lønnsomt enn det kunne ha vært av flere grunner, som vi allerede har vært inne på. Det er tidkrevende og dermed kostbart å teste og dokumentere ombrukte bygningsmaterialers tekniske egenskaper dersom de skal videreselges i tråd med dagens regelverk og enkelt kunne anvendes av prosjekterende og utførende. Et lite utviklet marked gjør det utfordrende å få avsetning på komponentene som produseres, og manglende kunnskap og negative holdninger om ombruk innebærer at det trolig ikke vil være motivasjon om kortsiktig profitt som vil være grunnen til at man satser på oppsirkulering av ombrukskomponenter i dag. Potensialet vil imidlertid øke dersom man kan redusere de andre barrierene mot ombruk, særlig de regulatoriske og markedsmessige. Internasjonalt ser man at bedrifter som Lendager Groups Upcycle Studios gjør oppsirkulering til en forretningsmodell, og tiden er nok moden for flere slike initiativer i Norge også.

Tiltak for å redusere de økonomiske barrierene mot oppsirkulering av brukte bygningskomponenter

- *Det vil bli mer økonomisk lønnsomt å drive med oppsirkulering dersom man reduserer de regulatoriske og markedsmessige barrierene mot ombruk. Dette vil trolig kunne stimulere til mer kostnadseffektive måter å drive med oppsirkulering på.*
- *De ekstra kostnadene ved oppsirkulering av ombruksmaterialer knyttet til behov for møysommelig og kreativt arbeid kan fungere som et incentiv til nye, sosialt bærekraftige arbeidsplasser eller alternative måter å tenke verdiskapning på. Re-bygg som ble drevet av Stavne kompetansesenter i Trondheim, var for eksempel en bedrift som drev med arbeidstrening og kompetansebygging hos unge, mens Eksperimentboligene på Svartlamon ble bygget på dugnad som en del av et alternativt, byøkologisk forsøksområde der beboerne er påkrevd en viss arbeidsinnsats for fellesskapet i året (en kvote som selvfølgelig ble overoppfylt for resten av livet av deltakerne i dette prosjektet).*

4.4.4.3. Omsetning og logistikk

Logistikk og transport av brukte komponenter kan fort bli tungvint og dermed kostbart slik situasjonen er i dag. Dette skyldes, som vi tidligere har vært inne på, blant annet et lite utviklet marked og praktiske utfordringer som gjør at komponentene kan bli liggende lenge på lager før de ender opp hos riktig eier. Det koster penger, særlig i tett by. Det kan også være utfordrende å få tak i komponentene man trenger i nærheten av prosjektet de skal brukes i, og da vil transporten koste mer, i tillegg til å bidra til høyere klimautslipp.

Tiltak for å redusere de økonomiske barrierene mot omsetning og logistikk av brukte bygningskomponenter

- *Etableringen av gode digitale markedsplasser vil kunne øke omsetningen og dermed lette logistikken av brukte bygningskomponenter*
- *Myndighetene kan gi økonomisk støtte til etablering av systemer for omsetning og mellomlagring av brukte bygningskomponenter for å stimulere etableringen av et fungerende marked*
- *Bykommuner kan stille rimelige eller gratis lokaler til rådighet for mellomlagring av ombrukskomponenter*

4.4.4.4. Prosjektutvikling

Ombruk er nybrottsarbeid, noe som medfører usikkerhet i prosjektutviklingsleddet, og usikkerhet slår ut negativt på utbyggers kalkyler. På grunn av de praktiske og regulatoriske utfordringene ved å bygge med ombrukskomponenter i dag må man påberegne ekstra tid og dermed kostnader knyttet til riving/ demontering, innhenting og kvalitetssikring av materialer, prosjektering (og omprosjektering), administrasjon og bygging. Siden markedet for ombruksbygg ikke er så utviklet og synligheten lav, er det heller ikke sikkert den ekstra innsatsen belønnes med økt etterspørsel.

Økonomien i å benytte ombrukskomponenter varierer fra prosjekt til prosjekt. Internasjonalt ser man at ombruk som klimatiltak er høyt på dagsorden og at ombruk blir en viktig del av stadig flere byggeprosjekter. Den europeiske samtidsarkitekturprisen, Mies Van der Rohe-prisen¹³⁸, har de siste to årene (2018 og 2019) gått til rehabiliteringsprosjekter.

Her til lands er det imidlertid ikke gjort mange nok prosjekter de siste årene med en stor andel ombrukskomponenter til å kunne gi noen definitive svar på om det lønner seg eller ikke. I Entra pionerprosjekt, ombruksbygget Kristian Augusts gate 13 i Oslo, har det å finne og kvalitetssikre ombruksmaterialer gjort bygget «dyrere enn først antatt», ifølge prosjektleder Espelid. Prosjektet har gått langt i å utarbeide prosedyrer for kvalitetssikring av brukte byggevarer, blant annet for konstruksjonsmaterialer i stål, betong og tegl – da med eksterne ressurser fra blant annet Sintef. Entra har også engasjert advokater for bistand til tolking av omsetningsregelverket, slik at byggevarer som er anskaffet fra andre prosjekter kan omsettes forsvarlig. Dette er kostnader som forhåpentligvis kan reduseres i neste ombruksprosjekt. Prosjektering og administrasjon av byggesaken vil nok imidlertid alltid være noe mer komplisert i ombruksprosjekter.

Det har også blitt utført beregninger av kostnadsbildet for fire ombrukte elementer i KA13 i en bacheloroppgave på Oslo Met: Det gjelder konstruktive elementer i stål, vinduer, kjølebafler og himlingsplater brukt som ekstra lyddempende lag over himling. Kostnadsanalysene hadde et svært varierende resultat: Prisdifferens mellom nytt og brukt varierte mellom 66% besparelse for ombruk av kjølebafler og 63% fordyrende for ombruk av himlingsplater. Det at man finner alternative løsninger ved å benytte ombruk, gjør at det i noen tilfeller kan bli mer omfattende montering, og monteringstiden for to lag brukte himlingsplater var anslått til 65 % lenger enn montering av ett lag med ny mineralullisolasjon. Ettersom innkjøp av nye himlingsplater er relativt rimelig, kom derfor totalkostnadene ved ombruk negativt ut. For stål og vinduer viste resultatene 58-61% besparelse for ombruk av vinduer (to ulike typer) og 28% fordyrende for ombruk av stål.

Eksperimentboligene på Svartlamon fra 2017 ble derimot, av mange grunner som er nevnt tidligere i rapporten, svært billige. Det viktigste er at det meste av arbeidet ble gjort på dugnad av arkitekter og fremtidige beboere og at prosjektet fikk dispensasjoner fra flere av kravene i TEK. Gjenbrukshuset på Tiller i Trondheim fra 2003 ble i likhet med KA13 dyrere enn sin «tvilling» bygget med nye materialer til tross for subsidiering av deler av utviklingsarbeidet og at materialene ble oppsirkulert gjennom arbeidstrening. Ifølge rapporten kunne imidlertid mye av de ekstra kostnadene vært unngått ved bedre kvalitetssikring og planlegging. De ombrukte komponentene var en svært liten del av totalkostnaden.¹³⁹

Kostnadene ved å anvende brukte komponenter i dag gjenspeiler ikke nødvendigvis hva kostnadene blir i fremtiden. Det er naturlig at kostnadene knyttet til utvikling av ombruksprosjekter vil bli lavere etter hvert som flere får kunnskap og erfaring på området. Det er også mulig at det vil iverksettes økonomiske tiltak som skal bidra til at de miljømessige og klimamessige gevinstene ved å ombruke materialer framfor å kjøpe nytt vil gjenspeiles av økonomiske fordeler og omvendt.

¹³⁸ <https://miesbcn.com/prize/>

¹³⁹ *Pilotprosjektet Gjenbrukshus i Trondheim – en bro fra destruksjon til konstruksjon*, Njål Pettersen, Miljøenheten i Trondheim kommune 2005

Tiltak for å redusere de økonomiske barrierene mot å anvende brukte bygningskomponenter for prosjektutviklere

- *Det er mulig å bruke både pisk og gulrot for å gjøre det mer økonomisk lønnsomt å anvende ombrukskomponenter framfor konvensjonelle materialer i nye prosjekter. Økonomiske incentivordninger som belønner prosjektutviklere som velger å bygge med ombrukskomponenter og gjør det mer kostbart å bruke nye og lite klimavennlige materialer.*
- *Kunnskapsbygging og erfaringsutveksling rundt utvikling av ombruksbygg vil trolig gjøre prosessene mindre arbeidsintensive og mer strømlinjeformede på sikt*

4.4.4.5. Prosjektering med brukte bygningskomponenter

Prosjektering med ombrukskomponenter er tidkrevende og vil derfor ofte innebære høyere kostnader i prosjekteringsfasen enn bruk av konvensjonelle materialer for prosjektutviklerne. De prosjekterende selv har imidlertid ingen åpenbare økonomiske ulemper ved å anvende brukte bygningskomponenter, annet enn at man kanskje må påberegne noe egeninnsats dersom utbygger ikke ønsker å betale for det ekstra arbeidet som kreves.

De siste årene har flere satset spesifikt på prosjektering for ombruk som forretningsmodell, som *Rebuilding* og *Resirqel* i Oslo. Internasjonale prosjekteringsmiljøer som gjør suksess med ombruk, som danske Lendager Group, bidrar nok til at det skapes en forventning om at etterspørselen for kompetanse på prosjektering med brukte bygningskomponenter bare vil øke i tråd med sterkere føringer for å bygge mer klima- og miljøvennlig og sløse mindre ressurser.

4.4.4.6. Montering/bygging

Bygging med ombrukskomponenter kan kreve flere tilpasninger og dermed være mer tidkrevende og dyrere for prosjektutvikler enn å bygge med nye materialer. På samme måte som for prosjekterende innebærer det imidlertid ikke noen ugunstig økonomisk situasjon for utførende, kanskje snarere tvert imot, siden det i en tid hvor stadig mer av byggeprosessen industrialiseres og automatiseres kan gjøre at menneskelig kompetanse på byggeplass blir mer nødvendig igjen.

4.4.4.7. Salg/utleie

Det er ingen direkte økonomiske insentiver for kjøpere/leietakere av bygg med ombrukskomponenter tilsvarende strøm- eller drivstoffbesparingen man vil ha ved å velge mer energieffektive bygg. Klimagassutslippene man sparer jorda for gir ingen økonomisk gevinst i dag. Dersom kjøperen er villig til å gjøre litt egeninnsats kan det imidlertid være mye å spare på lavere materialkostnader, slik Eksperimentboligene på Svartlamon viser.

Tiltak for å redusere de økonomiske barrierene mot å kjøpe/leie bygg som er bygget ved hjelp av brukte bygningskomponenter

- *Økonomiske incentivordninger som belønner kjøpere og leietakere av mer klimavennlige bygg vil kunne gjøre det mer lønnsomt å velge bygg med en større andel av ombruk*
- *Tilrettelegging for egeninnsats kombinert med bruk av ombrukskomponenter kan gi en stor besparing på grunn av lavere materialkostnader*

4.4.4.8. Bruk/vedlikehold

Avhengig av hvilke komponenter man har valgt å ombruke og kvaliteten på disse kan behovet for vedlikehold av ombrukskomponenter være større, og det kan være vanskeligere å reparere eller bytte ut ombrukte komponenter enn konvensjonelle materialer.

Tiltak for å redusere de økonomiske barrierene mot bruk og vedlikehold av bygg med en stor andel brukte bygningskomponenter

- *Valg av høykvalitets ombrukskomponenter med lang levetid på prosjekteringsstadiet*
- *Gode beskrivelser av hvordan de brukte komponentene skal vedlikeholdes som følger med bygget vil kunne gjøre vedlikeholdet enklere og billigere (FDV- dokumentasjon)*
- *Økonomiske incentivordninger, f.eks. skattefradrag som belønner eiere av mer klimavennlige bygg vil kunne veie opp for eventuelle økonomiske kostnader knyttet til vedlikehold i bruks/vedlikeholdsfasen*

4.4.5. Kunnskapsmessige barrierer

Det er ikke tilfeldig at kunnskap om ombruk har blitt mindre utbredt proporsjonalt med forhøyede konsentrasjoner av klimagasser i atmosfæren. Før vi lærte å utnytte energien lagret i fossile energikilder som kull og olje, var det åpenbart at det var mye mer krevende og kostbart å skaffe nye materialer enn å bruke de materialene som finnes på nytt. Tradisjonelle før-industrielle byggemetoder, i hvert fall tidkrevende metoder der man bruker materialer av høy kvalitet, tar derfor nesten alltid utgangspunkt i ombrukbare bygningskomponenter.

I Norge har vi en lang tradisjon for å bygge modulære trekonstruksjoner som kan tas fra hverandre og settes opp igjen dersom behovene endrer seg, bygges og skjøtes på. Det er for eksempel begrensninger i tømmerstokkenes lengde som har gjort at trønderlånene har vokst i lengderetningen ettersom behov for mer plass har meldt seg. Robuste bygninger i stein og tegl har vært her i flere hundre år, og der ikke hele byggene brukes fortsatt, finner man ofte bygningskomponentene i bygg i nærheten. Kunnskapen om ombruk og ombrukbarhet forsvant imidlertid da billig energi gjorde det mer lønnsomt å bygge nytt enn å bruke det man har. Med forståelsen vi har i dag om hva denne tilnærmingen har gjort med planeten vår, og bygge- og anleggsbransjens bidrag til denne utviklingen, er det imidlertid på tide å finne tilbake til den glemte kunnskapen om hvordan man ombruker bygningskomponenter og bygger ombrukbare bygg. I de fleste ledd av verdikjeden er det potensial for å øke kunnskapen om hva som kan ombrukes og hvordan.

4.4.5.1. Utvinning av brukte bygningskomponenter (urban mining)

De kunnskapsmessige barrierene mot å ta vare på brukte bygningskomponenter i bygg som skal rives er tosidig. På den ene siden mangler det kunnskap om hvilke verdier byggeiere og samfunnet går glipp av dersom man ikke demonterer bygg for fremtidig ombruk. På den andre siden mangler det kunnskap om hvordan man gjennomfører dette i praksis. Kunnskap om hva som er lov å ombruke kan også være krevende. For eksempel er det forbudt å ombruke vinduer med PCB, mens vinduer med klorparafiner er lovlig å ombruke.

Tiltak for å redusere de kunnskapsmessige barrierene mot å utvinne brukte bygningskomponenter

- *Digitale verktøy, som bygningsinformasjonsmodeller (BIM), kan være verdifulle verktøy i scanning og digitalisering av bygningskomponentene eksisterende og nye bygg består av, slik at potensialet for ombruk blir synligere.*
- *Undersøkelser og analyser av bygningsmassen i ulike deler av Norge, f.eks. gjennom Building Stock Analysis (BAS), vil kunne gi mer kunnskap om hvilke komponenter som kan utvinnes og ombrukes fra byggene som finnes i dag.*
- *Kunnskap om demontering for ombruk og utvinning av brukte bygningskomponenter kan samles i en felles kunnskapsbank for ombruk, som gjerne kan formidles som en del av ett eller flere kunnskapsentre for ombruk i Norge*

4.4.5.2. Oppsirkulering av brukte bygningskomponenter

Kunnskap om hva ombruk er og fordelene med direkte ombruk framfor materialgjenvinning eller energiutnytting er ikke utbredt nok i dag. Begrepsforvirring rundt ombruk, gjenbruk, gjenvinning osv. (se kap. 3.1.1) gjør det ikke enklere.

En barriere mot oppsirkulering av bygningskomponenter er at måten materialer avhendes på ikke sammenliknes med de beste løsningene man kjenner til, men med de vanligste. Siden materialgjenvinning vanligvis vil komme bedre ut enn energiutnyttelse, og energiutnyttelse bedre enn å forbrenne fossile energikilder, vil begge deler kunne regnes som klimatiltak i seg selv. Da har man ikke tatt hensyn til at ombruk av komponentene hadde vært mer klima- og miljøvennlig. Som Widenoja et al. (2018) beskriver i rapporten *Ombruk av stål og tilknyttede byggematerialer*¹⁴⁰ egner for eksempel stålkonstruksjoner seg godt til direkte ombruk. Men metaller, som stål og aluminium, har lenge blitt smeltet om og materialgjenvunnet, noe som er mye bedre enn om man hadde produsert nye. Det virker kanskje derfor ikke som om det er behov for å finne ut hvordan man ombruker stål eller aluminium. Den samme problemstillingen gjelder trebaserte bygningsmaterialer, som vanligvis brennes og energiutnyttes i Norge som et klimatiltak. Når man allerede har funnet en løsning som regnes som klimavennlig, tenker ikke så mange på at ombruk hadde vært et bedre alternativ.

Tiltak for å redusere de kunnskapsmessige barrierene mot å oppsirkulere brukte bygningskomponenter

- *Felles retningslinjer for begrepsbruk vil skape en større forståelse av forskjellen mellom ombruk, gjenvinning og energiutnytting*
- *Kunnskap om oppsirkulering av brukte bygningskomponenter kan samles i en felles kunnskapsbank for ombruk, som gjerne kan formidles som en del av ett eller flere kunnskapssentre for ombruk i Norge*

4.4.5.3. Omsetning og logistikk

Manglende kunnskap om at det finnes et marked for omsetning av brukte bygningskomponenter kan gjøre at færre tenker på at det er noe man kan satse på.

Tiltak for å redusere de kunnskapsmessige barrierene mot omsetning og logistikk av brukte bygningskomponenter

- *Kunnskap om potensialet for mer omfattende ombruk og behovet for gode logistikk løsninger bør samles i en felles kunnskapsbank for ombruk, som gjerne kan formidles som en del av ett eller flere kunnskapssentre for ombruk i Norge*

4.4.5.4. Prosjektutvikling

Kunnskapen om hvordan man styrer en sirkulær byggeprosess er ikke spesielt utbredt i dag. De fleste med prosjektutviklerkompetanse i byggebransjen er vant til lineære prosesser. Manglende kunnskap skaper usikkerhet, og utfordrer prosjektutviklingsleddet.

Tiltak for å redusere de kunnskapsmessige barrierene mot ombruk av bygningskomponenter for prosjektutviklere

- *Kunnskap om sirkulære byggeprosesser bør samles i en felles kunnskapsbank for ombruk, som gjerne kan formidles som en del av ett eller flere kunnskapssentre for ombruk i Norge*

¹⁴⁰ *Ombruk av stål og tilknyttede byggematerialer*, Norsk stålforbund 2018

4.4.5.5. Prosjektering med brukte bygningskomponenter

Prosjektering av bygg med ombrukskomponenter krever en kompetanse som ikke mange har i Norge i dag. Man må i større grad prosjektere med utgangspunkt i det som er tilgjengelig og som man får tak i enn å få skreddersydd det man har behov for. Det kan også være krevende å håndtere prosessene rundt kvalitetssikring og dokumentasjon for å møte krav i Teknisk forskrift (TEK) hvis man ikke har erfaring med det fra før.

De digitale verktøyene som brukes mye av prosjekterende i dag kan gjøre det mer utfordrende å prosjektere med brukte materialer og komponenter enn nye, siden de ikke er like lett å finne som ferdiglagde BIM-objekter. Dette vil kunne endre seg dersom skanning av eksisterende bygg og digitalisering av bygningskomponenter som BIM-objekter blir mer utbredt, slik man blant annet har jobbet med i Nederland.¹⁴¹

Tiltak for å redusere de kunnskapsmessige barrierene mot ombruk av bygningskomponenter for prosjekterende

- *Kunnskap om prosjektering med brukte bygningskomponenter kan samles i en felles kunnskapsbank for ombruk, som gjerne kan formidles som en del av ett eller flere kunnskapssentre for ombruk i Norge*
- *Prosjekterende kan få støtte til å håndtere prosessene rundt brukte byggevarer, med fokus på kvalitetssikring og dokumentasjon for å møte krav i Teknisk forskrift (TEK).*
- *Skanning og digitalisering av komponenter i eksisterende bygg vil kunne gjøre det enklere for prosjekterende å inkludere brukte komponenter i BIM-modeller*

4.4.5.6. Montering/bygging

Manglede kunnskap og erfaring med å bygge ved hjelp av ombrukte komponenter, særlig med tanke på kvalitetssikring og justering av brukte komponenter, er en barriere mot mer utstrakt ombruk

Tiltak for å redusere de kunnskapsmessige barrierene mot ombruk av bygningskomponenter for utførende

- *Kunnskap om å bygge med brukte bygningskomponenter bør samles i en felles kunnskapsbank for ombruk, som gjerne kan formidles som en del av ett eller flere kunnskapssentre for ombruk i Norge*
- *Utførende kan få støtte til å håndtere prosessene rundt brukte byggevarer, med særlig fokus på kvalitetssikring og justering av brukte komponenter*

4.4.5.7. Salg/utleie

Kunnskap, både om de klima- og miljømessige fordelene med ombruk, og ikke minst om muligheten for å inkludere ombrukskomponenter i nye bygg er ofte mangelfull hos kjøpere og leietakere. Derfor har man ikke fått den samme oppmerksomheten rundt ombruk av bygningskomponenter som for eksempel ombruk av klær. Når synligheten av ombruk i tillegg er lav og merkeordninger fraværende, blir mangelen på kunnskap om ombruk i salg/utleie-leddet en betydelig barriere mot mer utstrakt ombruk.

Tiltak for å redusere de kunnskapsmessige barrierene mot salg/utleie av bygg som består av brukte bygningskomponenter

¹⁴¹ *The Circularity Gap Report Norway, Circular Norway 2020*

- *Merkeordninger for andelen ombruk i bygg, samt andre tiltak som øker synligheten og oppmerksomheten rundt ombruk av bygningskomponenter vil kunne gjøre bevisstheten om betydningen av og muligheten for ombruk større hos de som skal kjøpe eller leie bygg*

4.4.5.8. **Bruk/vedlikehold**

Mange vil tenke at brukte bygningskomponenter har kortere restlevetid og er vanskeligere å vedlikeholde enn nye materialer, men dette varierer mye. Tradisjonelle bygningskomponenter, i hvert fall de som er produsert før Andre verdenskrig, har gjerne en lang levetid foran seg hvis de vedlikeholdes riktig. Vedlikehold av bygg er kanskje ikke like utbredt allmennkunnskap i dag som det var før, siden «vedlikeholdsfrihet» lenge har vært et mantra for bransjen. I realiteten betyr vedlikeholdsfritt gjerne at komponentene varer lengre uten å vedlikeholdes, men deretter må byttes ut. Komponenter som må vedlikeholdes kan gjerne vare mye lenger dersom de behandles riktig.

Tiltak for å redusere de kunnskapsmessige barrierene mot ombruk av bygningskomponenter for utførende

- *Kunnskap om vedlikehold av bygg og brukte bygningskomponenter bør samles i en felles kunnskapsbank for ombruk, som gjerne kan formidles som en del av ett eller flere kunnskapssentre for ombruk i Norge*

4.4.6. **Holdningsmessige barrierer**

Mennesker har alltid vært fasinert av det som er nytt, og begjæret etter å stadig skaffe seg nye ting og ha «det siste» på markedet er noe mange har en økonomisk interesse av å bygge opp under. Over lang tid har vi derfor blitt innprentet at nyere betyr bedre, og at gammelt betyr slitent og utdatert. Det tar tid å endre holdninger, og et er ikke lenge siden mange ville tenkt seg om to ganger før de kjøpte brukte klær eller møbler. Her har imidlertid trendene snudd, og én etter én har profilerte personer konkurrert om å bidra mest til å normalisere ombruk – selv om selvfølgelig kles- og møbeltrender ikke er entydige. Likevel har ombruk av klær og møbler blitt en reell konkurrent til nyproduksjon i alle lag av befolkningen.

Det samme har ikke skjedd i byggebransjen ennå, og holdningen om at nye bygg, og i hvert fall bygningskomponenter, er bedre enn gamle er ganske seiglivet i dag til tross for at det er mye som tyder på at det ikke alltid stemmer. Nye bygg er gjerne ikke beregnet å vare mer enn 50 år, mens det finnes nok av bygninger bygget for over 100, 200 eller 300 år siden som fortsatt kan brukes på grunn av den robuste og holdbare måten de er bygget på. Ofte har byggene kun fått en kledelig patina, mens det samme knapt kan sies om mange av byggene som er av nyere dato. Det stemmer at en stor del av bygningskomponentene som er produsert etter krigen er av dårlig kvalitet, og det er ikke alle brukte bygningskomponenter man vil ha i nye hus. Men det finnes også mange skatter der ute, som kanskje bare har gått av moten i en kort periode, eller har blitt offer for «gode tider» og dertil hørende oppussingshysteri. Enn så lenge er altså negative holdninger til brukte bygningskomponenter en barriere mot mer ustrakt ombruk i de fleste ledd av verdikjeden.

4.4.6.1. **Utvinning av brukte bygningskomponenter (urban mining)**

Holdninger om at det er enklere og billigere å rive og kaste enn å bruke på nytt bidrar til at mange byggeiere ikke en gang undersøker potensialet for ombruk av bygningskomponenter.

Tiltak for å redusere de holdningsmessige barrierene mot utvinning av brukte bygningskomponenter

- *Tiltak for å øke kunnskapen om verdien bundet i materialer og komponenter i eksisterende bygg, som materialpass (material passports) eller bygningsmasseanalyser (BAS), vil kunne endre holdninger til maskinell riving kontra demontering for ombruk*

4.4.6.2. Oppsirkulering av brukte bygningskomponenter

Holdninger om at brukte og oppsirkulerte produkter er «annenrangs» er ikke uvanlig. Hvis man ser på brukmarkedet for møbler og klær har holdningene endret seg betydelig de siste årene, og det er naturlig at det samme vil kunne skje med oppsirkulerte bygningskomponenter etter hvert som flere får øynene opp for mulighetene som finnes og verdien av ombruk i bygg.

Tiltak for å redusere de holdningsmessige barrierene mot oppsirkulering av brukte bygningskomponenter

- *Tiltak for å øke kunnskapen om mulighetene for og verdien av ombruk vil kunne bidra til mer positive holdninger til oppsirkulering av brukte bygningskomponenter*

4.4.6.3. Omsetning og logistikk

Holdninger om at man ikke vil få avsetning på brukte bygningskomponenter kan gjøre at færre velger å satse på å utvikle gode logistikkløsninger for ombrukskomponenter.

Tiltak for å redusere de holdningsmessige barrierene mot omsetning og logistikk av brukte bygningskomponenter

- *Tiltak for å øke kunnskapen om mulighetene for og verdien av ombruk vil kunne bidra til å skape mer positive holdninger til ombruk i omsetnings-/logistikkledet*

4.4.6.4. Prosjektutvikling

Holdninger om at det er dyrt og tungvint å inkludere ombrukskomponenter i nye bygg, og om at sluttbrukerne ikke er interesserte i, eller kanskje til og med vil mislike brukte bygningskomponenter, kan hindre flere i å satse på dette i Norge i dag.

Tiltak for å redusere de holdningsmessige barrierene mot omsetning og logistikk av brukte bygningskomponenter

- *Tiltak for å øke kunnskapen om mulighetene for og verdien av ombruk vil kunne bidra til å skape mer positive holdninger til ombruk blant prosjektutviklere*

4.4.6.5. Prosjektering med brukte bygningskomponenter

Holdninger om at å inkludere ombrukskomponenter er for krevende, gir et utilfredsstillende estetisk resultat eller ikke er like bra som nye komponenter, kan være et hinder mot at flere prosjekterende arbeider for å inkludere ombrukskomponenter i sine design. De siste årene har imidlertid interessen for ombruk blant prosjekterende gått fra å være noe for spesielt interesserte til å bli mer «mainstream» i tråd med et stadig økende fokus på klima- og miljøproblematikken i byggebransjen og internasjonale prestisjeprosjekter som viser potensialet i ombruk av bygningskomponenter.

Tiltak for å redusere de holdningsmessige barrierene mot prosjektering med brukte bygningskomponenter

- *Flere eksempler på ombruk i nye prosjekter som får positiv oppmerksomhet i og utenfor fagmiljøer vil trolig gi økt interesse og mer positive holdninger blant prosjekterende. Dette er allerede en utvikling man ser i dag.*
- *Tiltak for å øke kunnskapen om mulighetene for og verdien av ombruk vil kunne bidra til å skape mer positive holdninger til ombruk blant prosjekterende*

4.4.6.6. **Montering/bygging**

Negative holdninger til bygging med brukte bygningskomponenter, om det handler om at det er for tungvint, regelverket for komplisert, eller brukte komponenter ikke er like bra som nye komponenter, kan være et hinder mot mer utstrakt ombruk. I privatmarkedet har utførende ofte mye å si for hvilke løsninger som velges, og dersom for eksempel en snekker eller murer anbefaler ombrukskomponenter vil nok langt flere velge det.

Tiltak for å redusere de holdningsmessige barrierene mot bygging med brukte bygningskomponenter

- *Tiltak som f.eks. pilotprosjekter som bidrar til å bygge erfaring med ombruk blant utførende vil kunne øke aksepten for å velge ombrukskomponenter*
- *Tiltak for å øke kunnskapen om mulighetene for og verdien av ombruk vil kunne bidra til å skape mer positive holdninger til ombruk blant utførende*

4.4.6.7. **Salg/utleie**

Det finnes mange holdninger til ombruk som gjør at de som skal kjøpe eller leie bygg kan være negativt innstilt på tross av miljø- og klimagevinsten. Enkelte tenker at ombruk er en bestemt stil som er for spesielt interesserte, at man må ha drivhus med ombrukte vinduer og ulik farge på alle plankene i kledningen for eksempel. Og selv om det er mulig å få til, er det ikke nødvendig. Videre vil noen tenke at et bygg med ombrukte komponenter ikke har like høy kvalitet som et bygg med kun nye komponenter.

Tiltak for å redusere de holdningsmessige barrierene mot salg/utleie av bygg som er bygget med en viss andel brukte bygningskomponenter

- *Som i de andre leddene i verdikjeden handler de holdningsmessige barrierene i salg/utleieleddet mye om fordommer, som vil kunne avlives med mer kunnskap og oppmerksomhet rundt de positive sidene ved ombruk.*
- *I tillegg vil flere eksempler på ombruk i praksis øke forståelsen for hva det innebærer, og trolig øke etterspørselen etter sirkulære bygg*

4.4.6.8. **Bruk/vedlikehold**

Holdninger om at vedlikehold er unødvendig tidsbruk, og at «vedlikeholdsfrie» alternativer er bedre, det vil si alternativer som gjør opp for manglende mulighet til å vedlikeholdes med lang holdbarhet, kan være negativt for ombruk der man velger å bruke eldre komponenter om igjen.

Tiltak for å redusere de holdningsmessige barrierene mot bruk og vedlikehold av bygg som er bygget med en viss andel brukte bygningskomponenter

- *Kunnskap om verdien av å holde omgivelsene sine vedlike, både psykologisk og praktisk, og ulempene med «vedlikeholdsfrie» alternativer vil kunne endre holdninger til hva som er best av nye og brukte bygningskomponenter*

4.5. **Oppsummering: Viktigste barrierer mot bruk av nyproduserte klimavennlige materialer og ombruk av bygningsprodukter i dagens norske marked**

Det er mange faktorer som hindrer at klimavennlige materialer og ombrukskomponenter velges framfor mer konvensjonelle byggematerialer i Norge i dag. I denne rapporten har vi forsøkt å kategorisere disse barrierene etter type og kobling til verdikjeden for bygningsmaterialer og -komponenter. En oversikt over barrierer mot bruk av nyproduserte klimavennlige materialer finnes i *Tabell 29* og barrierer mot bruk av ombrukskomponenter i *Tabell 31*. Verdikjedetilnærmingen gjør

det lettere å komme med konkrete og målrettede tiltak for å redusere barrierevirkningen. Vi har også foreslått tiltak under de fleste barrierene.

Det er mange likhetstrekk mellom barrierer mot bruk av klimavennlige materialer og ombrukskomponenter. De største barrierene handler i begge tilfeller om høyere kostnader (opplevde eller reelle), manglende tilbud og etterspørsel og lite tilpassede krav og retningslinjer i overordnet regelverk. Siden bruk av klimavennlige materialer og ombrukskomponenter på mange måter fortsatt er nybrottsarbeid det praktiske og tekniske hindre å forsere, men ingen som ikke kan løses. Dette har man begynt å få flere gode eksempler på i dag, som Powerhouse-prosjektene og ombruksprosjektet Kristian Augusts gate 13. Målrettede økonomiske og regulatoriske virkemidler (pisk og gulrot), kombinert med kunnskapsspredning og holdningsskapende arbeid vil trolig bedre markedssituasjonen på sikt, og gjøre det mer lønnsomt å bruke klimavennlige materialer og ombruke bygningskomponenter.

Når det gjelder klimavennlige materialer har det allerede skjedd mye de siste årene, og bildet har begynt å endre seg. Ofte er det like mye inngrodde oppfatninger, manglende kunnskap og negative holdninger enn reelle kostnader som hindrer mer utstrakt bruk. Det er imidlertid fortsatt et stykke å gå før klimavennlige alternativer skal bli så utbredt at skillet mellom klimavennlig og konvensjonell blir meningsløst. Investeringer i nye løsninger, som miljødeklarasjoner for alle nyproduserte bygningsmaterialer, nyskapende teknikker for trebygging eller metoder for karbonfangst koster penger. Her er man avhengig av at myndighetene følger opp med økonomiske støtteordninger og reguleringer som stiller krav til bransjen for at de klimavennlige løsningene skal bli enkle å gjennomføre og konkurransedyktige på pris. Man er også avhengig av at det jobbes med kunnskapsbygging og holdningsskapende arbeid i alle ledd i verdikjeden, og at det gjennomføres pilotprosjekter som kan være gode eksempler både på prosess og resultat, og som kan bidra til å bygge tillit rundt metoder for å vurdere klimavennlig materialbruk og gjør klimavennlige bygg attraktivt for alle aktørene i verdikjeden.

Ombruk har en fordel framfor klimavennlig materialbruk generelt ved at det faktisk er en direkte samfunnsøkonomisk gevinst i andre enden, man kan spare store mengder med ressurser ved å ombruke mer. Siden ombruk av bygningskomponenter i større grad enn bruk av klimavennlige materialer er nybrottsarbeid i Norge har man imidlertid høye investerings- og utviklingskostnader, det er lite kunnskap om mulighetene som finnes og mange har negative holdninger. At ombruk henger litt etter i løypa gjør at mange av barrierene som tidligere gjaldt for klimavennlige materialer er utfordringene som nå må løses for å øke bruken av ombrukskomponenter. Her er det mye å lære av hvordan man har jobbet med klimavennlige materialer for å gjøre barrierene mindre. Ombruk av bygningskomponenter har imidlertid større regulatoriske utfordringer enn bruk av nye klimavennlige materialer, da dagens regelverk knyttet til omsetning og bruk av byggevarer ikke er tilpasset ombruk. Dette må løses eller omgås for at ombruk skal bli et kostnadseffektivt og dermed reelt alternativ i massemarkedet.

Ser man til våre naboland der utviklingen har kommet lenger, særlig Danmark, er det allerede en stigende etterspørsel etter ombrukskomponenter både blant private og offentlige byggherrer, noe som blant annet er tydelig ved at stadig flere ønsker å kjøpe og selge brukte byggevarer. Mens norske Resirqel¹⁴² har under 100 brukte bygningskomponenter på sine hjemmesider har genbyg.dk over 100 000.¹⁴³ Danske arkitektkontor som Lendager Group og Tegnestuen Vandkunsten inkluderer ombruk i mange av sine prosjekter, til stor internasjonal annerkjennelse, og førstnevnte har opprettet Upcycle Studios¹⁴⁴ som satser eksklusivt på å utvikle modeller for ombruk av bygningskomponenter. I Norge derimot har ombruk av bygningskomponenter i stor skala nesten

¹⁴² www.resirqel.no

¹⁴³ www.genbyg.dk

¹⁴⁴ <https://lendager.com/en/architecture/upcycle-studios-en/>

vært glemt de siste tiårene, med enkelte unntak i arkitekturens eksperimentelle randsone, som «Eksperimentboligene på Svartlamon»¹⁴⁵ fra 2017. Når Entras pionerprosjekt, ombruksbygget «Kristian Augusts gate 13»¹⁴⁶ nå står ferdig, ser dette ut til å kunne endre seg, og ombruk av bygningskomponenter kan bli stuerent i Norge også. For å få fart på utviklingen må man imidlertid utarbeide et regelverk tilpasset ombruk av bygningskomponenter i Forskrift for dokumentasjon av byggevarer (DOK) og Teknisk forskrift (TEK), synliggjøre miljøgevinstene og de økonomiske verdiene som kan spares, og stimulere markedet ved å bygge opp kompetanse og støtte pilotprosjekter og utviklingsarbeid.

¹⁴⁵ www.eksperimentboliger.no

¹⁴⁶ <https://www.arkitektur.no/kristian-august-gate-13?pid1=275679>

VEDLEGG 1: BYGNINGSGEOMETRI OG LØSNINGSVALG I MODELLBYGG

Sintefs modellbygg, som også er kjent som "SINTEF-kassa", ble første gang utviklet i 2003, men de ble noe revidert i 2006¹⁴⁷, i forbindelse med arbeidet med å fastsette energirammekrav i revidert TEK 97 (disse kravene omtales ofte som TEK 07, noe som formelt sett ikke er korrekt). I ettertid har disse modellbyggene blitt brukt i noe omarbeidet form for reviderte energikrav i forskriftene (TEK 10, TEK 17), samt i passivhusstandardene (NS 370x) mm.

SINTEF skriver at «Bygningsmodellene lagt til grunn for foreliggende forslag til energirammer er basert på en kompakt og energieffektiv bygningsform».

Følgende inndata gjelder for modellbyggbergingene som er omtalt i denne rapporten.

Bygningskategori	Grunnflate m ²	Antall etasjer	Oppvarmet areal m ²	Bruttoareal* m ²	Arealandel vinduer/dører av oppvarmet areal
Boligblokk	300 (10x30)	3	900	986	25 %
Kontorbygg	1200 (20 x 60)	3	3600	3800	25 %
Skolebygning	1200 (20 x 60)	2	2400	2534	25 %
Forretningsbygning	1200 (20 x 60)	3	3600	3768	25 %
Sykehjem	1200 (20 x 60)	2	2400	2560	25 %
Småhus	80 (10 x 8)	2	160	191	25 %

*Nødvendig areal for å oppnå BRA som for Sintefs modellbygg i Carbon Designer i One Click LCA

Løsningsvalg i kontorbygg

Kontor		Løsningsvalg, One Click LCA og valgte løsninger			Kommentar til løsningsvalg for referansenivå
		Element	One Click LCA	Valgte løsninger	
Bære-systemer	Søyler	Stålsøyler (hulprofil)	80 %	37 %	Betongsøyler og -bjelker i 1 etg, resten stålsøyler og -bjelker. Betongbjelker i 1 etg pga. betongsøyler. Bli 33%/67% betong og stål, siden bygget har tre etasjer
		Betongsøyler	20 %	33 %	
	Bjelker	Stålbjelker (valseprofil)	100 %	67 %	
		Betongbjelker	0 %	33 %	
Ytter-vegger	Bærende yttervegg	Betongvegg 200mm, mineralull, utvendig vindspærre (GU-X), utlekting, maling på innside	250 mm glassull 12% av YOM	250 mm steinull 12% av YOM	Beholdt størrelse på betongvegg konstant selv om glassfasade er lagt inn, så glassfasaden spiser kun av stenderverksvegg
		Lettklinker 200 mm, mineralull, utvendig vindspærre (GU-X), utlekting, dampspærre, mørtel mellom lettklinker, mørtel og maling på innside	250 mm glassull 6 % av YOM	250 mm steinull 6 % av YOM	Beholdt størrelse på lettklinkervegg konstant selv om glassfasade er lagt inn, så glassfasaden spiser kun av stenderverksvegg
	Ikke-bærende yttervegg	Klimavegg m/utvendig vindspærre (GU-X), bindingsverk med trestender og mineralull, dampspærre, 1 lag innvendig gips	250 mm glassull 43 % av YOM	250 mm steinull 33 % av YOM	Litt mindre areal i vår referanse, fordi vi har glassfasader. Byttet glassull til steinull.

¹⁴⁷ SINTEF Byggforsk AS: Nye energikrav - Bygningsmodeller og faste inndata i energirammebergingene - Nye energirammeberginger, 2006

	Glassfaser/vinduer	Glassfasade	0 %	6% av YOM	Glassfasade benyttes ved inngangsparti/1. etg.
		Trevinduer med alukledning, 3 lag	39% av YOM	42% av YOM	25% av BRA = 42 % av YOM
	Utvendig kledning	Tegl, inkl mørtel	43 % av YOM (70% av tettfelt)	35 % av YOM (70% av tettfelt)	Tegl, inkl. mørtel mellom murstein. 0,02 m3 tørr mørtel / m2 murvegg. Isolasjon er ikke med her, dette er med i klimavegg
		Fibersementplate	18 % av YOM (30% av tettfelt)	15 % av YOM (30% av tettfelt)	
Dører	Ytterdører i stål	1% av YOM	1% av YOM		
Innervegger	Bærende innervegger	Betongvegg 150mm	15% av INV	13% av INV	
		Betongvegg 250mm	0% av INV	2% av INV	Betongvegg heissjakt
		Lettklinker	0% av INV	0% av INV	
	Ikke-bærende innervegger	100mm bindingsverksvegg, mineralull, 1 lag gips hver side, stålstender	100 mm glassull 60% av INV	100 mm steinull 60% av INV	Steinull mer vanlig enn glassull.
	Systemvegger, glassfelt	Glass front systemvegg	20% av INV	20% av INV	Som i Isy Calcus. Har lagt inn glass front systemvegg.
	Kledning og overflate	Maling på gips	100% av gipsvegg	100 % av gipsvegg	Sparkel på gipsvegg er ikke inkludert
		Murpuss + maling på betong og lettklinker	100% av betongvegg	100% av betongvegg	
		Kermaisk fli, flislim og membran	8,5% av INV	8,5% av INV	Keramisk flis på toaletter.
	Dører	Tredører	5% av INV	5% av INV	Tredører
	Dekker	Frittstående dekker	265mm betong hulldekke	100% av (BTA-BYA)	100% av (BTA-BYA)
Gulv på grunn		Betong, dampspærre/radonsperre	300mm betong + 250mm EPS 100% av BYA	100mm betong + 200mm EPS 100% av BYA	Benyttet 100 mm bunnplate og 200 mm EPS når det ikke er behov for ekstra fundamentering.
Påstøp		50 mm armert påstøp + 20 mm avrettingsmasse	100% av BTA	100% av (BTA-BYA)	Endret til å ikke inkludere avretting og påstøp på gulv på grunn.
Gulv-overflate		Teppe	70 % av BRA	70 % av BRA	Uendret
		Parkett	15 % av BRA	15 % av BRA	Uendret
		Vinyl	10 % av BRA	10% av BRA	
Kermaisk fli, flislim og membran		5 % av BRA	5 % av BRA		
Faste himlinger og overflatebehandling		Fast gipshimling, malt	50 % av BRA	50 % av BRA	Fast gipshimling, malt
Systemhimlinger	Systemhimling + stålprofiler	20 mm mineralullplater 50% av BRA	20 mm mineralullplater 50% av BRA		
Yttertak	Primærkonstruksjon	265 mm betong hulldekke, dampspærre	300 mm EPS 100% av BYA	250 mm EPS, 50 mm trykkfast steinull 100% av BYA	Endret til 250 mm EPS, 50 mm trykkfast steinull
	Taktekking	Asfalttekking, to lag	100% av BYA	100% av BYA	Asfalttekking, to lag
Trapper og balkonger	Trapper	Betongtrapp			Uendret mengde
	Heissjakt	Betongsjakt	Betong, 250mm	0	Heissjakt er inkludert i innervegger.

Løsningsvalg for boligblokk

Boligblokk	Løsningsvalg, One Click LCA og valgte løsninger			Kommentar til løsningsvalg for referansenivå
	Element	One Click LCA	Valgte løsninger	

Bære-systemer	Søyler	Stålsøyler (hulprofil)	100 %	100 %	Stålsøyler og -bjelker i hele konstruksjonen, alle etasjer like
		Betongsøyler	0 %	0 %	
	Bjelker	Stålbjelker (valseprofil)	80 %	100 %	
		Betongbjelker	20 %	0 %	
Ytter-vegger	Bærende yttervegg	Betongvegg 200mm, mineralull, utvendig vindspærre (GU-X), utlekting, maling på innside	250 mm glassull 14% av YOM	250 mm steinull 14% av YOM	Beholdt størrelse på betongvegg konstant selv om glassfasade er lagt inn, så glassfasaden spiser kun av stenderverksvegg
		Lettklinker 200 mm, mineralull, utvendig vindspærre (GU-X), utlekting, dampspærre, mørtel mellom lettklinker, mørtel og maling på innside	250 mm glassull 7 % av YOM	250 mm steinull 8 % av YOM	Beholdt størrelse på lettklinker konstant selv om glassfasade er lagt inn, så glassfasaden spiser kun av stenderverksvegg
	Ikke-bærende yttervegg	Klimavegg m/utvendig vindspærre (GU-X), bindingsverk med trestender og mineralull, dampspærre, 1 lag innvendig gips	250 mm glassull 48 % av YOM	250 mm steinull 47 % av YOM	Byttet glassull til steinull. Murplate på innsiden av tegl er nødvendig og inkludert i mineralull her
	Glassfaser/vinduer	Glassfasade	0 %	0 %	
		Trevinduer med alukledning, 3 lag	30% av YOM	30% av YOM	25% av BRA = 30 % av YOM
	Utvendig kledning	Tegl, inkl mørtel	48 % av YOM (70% av tettfelt)	48 % av YOM (70% av tettfelt)	Tegl, inkl. mørtel mellom murstein. 0,02 m3 tørr mørtel / m2 murvegg. Isolasjon er ikke med her, dette er med i klimavegg
		Malt trekledning	21 % av YOM (30% av tettfelt)	21 % av YOM (30% av tettfelt)	
	Dører	Ytterdører i stål	1% av YOM	1% av YOM	
Inner-vegger	Bærende innervegger	Betongvegg 150mm	20% av INV	19% av INV	
		Betongvegg 250mm	0% av INV	3% av INV	Betongvegg heissjakt
		Lettklinker	8% av INV	7% av INV	
	Ikke-bærende innervegger	100mm bindingsverksvegg, mineralull, 1 lag gips hver side, stålstender	100 mm glassull 55% av INV	100 mm steinull 54% av INV	Steinull mer vanlig enn glassull.
	Systemvegger, glassfelt	Glass front systemvegg	0% av INV	0% av INV	
	Kledning og overflate	Maling på gips	100% av gipsvegg	100 % av gipsvegg	Sparkel på gipsvegg er ikke inkludert
		Murpuss + maling på betong og lettklinker	100% av betongvegg	100% av betongvegg	
		Kermaisk flis, flislim og membran	15% av INV	15% av INV	Keramisk flis på toaletter.
Dører	Tredører	17% av INV	5% av INV	Tredører	
Dekker	Frittstående dekker	265mm betong hulldekke	80% av (BTA-BYA)	100% av (BTA-BYA)	Endret til 100% hulldekke i betong. Ekstra lag 20 mm glassull lå inne i One Click, dette er fjernet
		Trebjelkelag, 225mm glassull	20% av (BTA-BYA)	0% av (BTA-BYA)	
	Gulv på grunn	Betong, dampspærre/radonsperre	300mm betong + 250mm EPS 100% av BYA	100mm betong + 200mm EPS 100% av BYA	Benyttet 100 mm bunnplate og 200 mm EPS når det ikke er behov for ekstra fundamentering.
	Påstøp	50 mm armert påstøp + 20 mm avrettingsmasse	100% av BTA	100% av (BTA-BYA)	Endret til å ikke inkluderer avretting og påstøp på gulv på grunn.
	Gulv-overflate	Teppe	0 % av BRA	0 % av BRA	
		Parkett	60 % av BRA	60 % av BRA	
	Vinyl	20% av BRA	20% av BRA		

		Kermaisk fli, flislim og membran	20 % av BRA	20 % av BRA	
	Faste himlinger og overflatebehandling	Fast gipshimling, malt	100 % av BRA	100 % av BRA	Fast gipshimling, malt
	Systemhimlinger	Systemhimling + stålprofiler	20 mm mineralullplater 0% av BRA	20 mm mineralullplater 0% av BRA	
Yttertak	Primærkonstruksjon	265 mm betong hulldekke, dampspærre	300 mm EPS 100% av BYA	250 mm EPS, 50 mm trykkfast steinull 100% av BYA	Endret til 250 mm EPS, 50 mm trykkfast steinull
	Taktekking	Asfalttecking, to lag	100% av BYA	100% av BYA	Asfalttecking, to lag
Trapper og balkonger	Trapper	Betongtrapp			Uendret mengde
	Heissjakt	Betongsjakt	Betong, 250mm	0	Heissjakt er inkludert i innervegger.

Løsningsvalg i skolebygg

Skole		Løsningsvalg, One Click LCA og valgte løsninger			Kommentar til løsningsvalg for referansenivå	
		Element	One Click LCA	Valgte løsninger		
Bære-systemer	Søyler	Stålsøyler (hulprofil)	80 %	50 %	Betongsøyler og -bjelker i 1 etg, resten stålsøyler og -bjelker. Betongbjelker i 1 etg pga. betongsøyler. Blir altså 50/50 betong og stål, siden bygget har to etasjer	
		Betongsøyler	20 %	50 %		
	Bjelker	Stålbjelker (valseprofil)	100 %	50 %		
		Betongbjelker	0 %	50 %		
Ytter-vegger	Bærende yttervegg	Betongvegg 200mm, mineralull, utvendig vindspærre (GU-X), utlekting, maling på innside	250 mm glassull 5,7 % av YOM	250 mm steinull 5,7 % av YOM	Beholdt størrelse på betongvegg konstant selv om glassfasade er lagt inn, så glassfasaden spiser kun av stenderverksvegg	
		Lettklinker 200 mm, mineralull, utvendig vindspærre (GU-X), utlekting, dampspærre, mørtel mellom lettklinker, mørtel og maling på innside	250 mm glassull 5,7 % av YOM	250 mm steinull 5,7 % av YOM	Beholdt størrelse på lettklinker konstant selv om glassfasade er lagt inn, så glassfasaden spiser kun av stenderverksvegg	
	Ikke-bærende yttervegg	Klimavegg m/utvendig GU, bindingsverk med trestender og glassull, 1 lag innvendig gips	150 mm isolasjon 45,5 % av YOM	250 mm isolasjon 38,3 % av YOM	Litt mindre i vår referanse, fordi vi har glassfasader. Byttet glassull til steinull, og 250 mm iso istedenfor 150 mm. 38,3 % av YOM (resterende av bindingsverksvegg etter lettklinker og betongvegg er trukket fra)	
	Glassfasader/vinduer	Glassfasade		0 %	7,1% av YOM	Glassfasade benyttes ofte ved inngangsparti/1. etg, ref kommentar fra Preben. (andel kommer fra Isy Calcus, som hadde 5 % for barneskole og 14 % for ungdomsskole, valgte en middelvei)
		Trevinduer med alukledning, 3 lag	34% av YOM		41,4% av YOM	25% av BRA = 41,38 % av YOM
	Utvendig kledning	Tegl	38 % av YOM		30 % av YOM	Tegl, inkl. mørtel mellom murstein. 0,02 m ³ tørr mørtel / m ² murvegg. Isolasjon er ikke med her, dette er med i klimavegg
		Trekledning	25,3 % av YOM,		20 % av YOM	
	Dører	Ytterdører i stål	1,72% av YOM		1,72% av YOM	
	Inner-vegger	Bærende innervegger	Betongvegg 150mm	12% av INV	12% av INV	
			Betongvegg 250mm	0% av INV	3% av INV	Betongvegg heissjakt
Lettklinker			10% av INV	10 % av INV		
Ikke-bærende innervegger		100mm gipsplatevegg 1 lag gips hver side, stålstender	100 mm glassull 70% av INV	100 mm steinull 63% av INV	Steinull mer vanlig enn glassull. Andel er lavere i vår referanse fordi 7 % går til tykkere betongvegger (heissjakter) og glassvegger	
Systemvegger, glassfelt		Glass front systemvegg	0% av INV	4% av INV	Som i Isy Calcus. Har lagt inn glass front systemvegg.	
Kledning og overflate		Maling på gips	100% av gipsvegg		100 % av gipsvegg	
		Murpuss + maling på betong	100% av betongvegg		100% av betongvegg	
		Våtromsvinyl	0 % av INV		8,5% av INV	Vinyl på toaletter.
Dører	Tredører	8% av INV		8% av INV	Tredører	
Dekker	Frittstående dekker	265mm betong hulldekke	100% av (BTA-BYA)	100% av (BTA-BYA)	Ekstra lag 20 mm glassull lå inne i one click, dette er fjernet	
	Gulv på grunn	Betong, dampspærre/radonsperre	300mm betong + 250mm EPS 100% av BYA	100mm betong + 200mm EPS 100% av BYA	Mer vanlig med 100 mm bunnplate når det ikke er behov for ekstra fundamentering.	
	Påstøp	50 mm armert påstøp + 20 mm avrettingsmasse	100% av (BTA-BYA)	100% av (BTA-BYA)	Uendret	
	Gulv-overflate	Linoleum	80 % av BRA		80 % av BRA	Uendret

		Parkett	7 % av BRA	7 % av BRA	Uendret
		Vinyl	7 % av BRA	15% av BRA	Vinyl på toaletter istedenfor keramisk flis, da det ikke er hensiktsmessig eller kostnadseffektivt med flis på skoler pga. vedlikehold, slitasje, osv.
		Keramisk flis	6 % av BRA	0 % av BRA	
	Faste himlinger og overflatebehandling	Fast gipshimling, malt	30 % av BRA	30 % av BRA	Fast gipshimling, malt
	Systemhimlinger	Systemhimling + stålprofiler	20 mm mineralullplater 70% av BRA	40 mm mineralullplater 70% av BRA	20 mm byttet ut med 40 mm pga akustiske krav i skoler
Yttertak	Primærkonstruksjon	265 mm betong hulldekke, dampsperre	300 mm EPS 100% av BYA	250 mm EPS, 50 mm trykkfast steinull 100% av BYA	Endret til 250 mm EPS, 50 mm trykkfast steinull
	Taktekking	Asfalttekking, to lag	100% av BYA	100% av BYA	Asfalttekking, to lag
Trapper og balkonger	Trapper	Betongtrapp			Uendret mengde
	Heissjakt	Betongsjakt	Betong, 250mm	0	Heissjakt er inkludert i innervegger.

Løsningsvalg i forretningsbygg

Forretning		Løsningsvalg, One Click LCA og valgte løsninger			Kommentar til løsningsvalg for referansenivå
		Element	One Click LCA	Valgte løsninger	
Bære-systemer	Søyler	Stålsøyler (hulprofil)	50 %	67 %	Betongsøyler og -bjelker i 1 etg, resten stålsøyler og -bjelker. Betongbjelker i 1 etg pga. betongsøyler. Bli 33%/67% betong og stål, siden bygget har tre etasjer
		Betongsøyler	50 %	33 %	
	Bjelker	Stålbjelker (valseprofil)	80 %	67 %	
		Betongbjelker	20 %	33 %	
Ytter-vegger	Bærende yttervegg	Betongvegg 200mm, mineralull, utvendig vindspærre (GU-X), utlekting, maling på innside	250 mm glassull 13% av YOM	250 mm steinull 11% av YOM	Beholdt størrelse på betongvegg konstant selv om glassfasade er lagt inn, så glassfasaden spiser kun av stenderverksvegg
		Lettklinker 200 mm, mineralull, utvendig vindspærre (GU-X), utlekting, dampspærre, mørtel mellom lettklinker, mørtel og maling på innside	250 mm glassull 13 % av YOM	250 mm steinull 10 % av YOM	Beholdt størrelse på lettklinker konstant selv om glassfasade er lagt inn, så glassfasaden spiser kun av stenderverksvegg
	Ikke-bærende yttervegg	Klimavegg m/utvendig vindspærre (GU-X), bindingsverk med trestender og mineralull, dampspærre, 1 lag innvendig gips	250 mm glassull 38 % av YOM	250 mm steinull 27 % av YOM	Byttet glassull til steinull. Murplate på innsiden av tegl er nødvendig og inkludert i mineralull her
		Glassfaser/vinduer	Glassfasade	0 % av YOM	9 % av YOM
	Trevinduer med alukledning, 3 lag		36% av YOM	41% av YOM	25% av BRA = 41 % av YOM
	Utvendig kledning	Tegl, inkl mørtel	32 % av YOM (50% av tettfelt)	32 % av YOM (50% av tettfelt)	Tegl, inkl. mørtel mellom murstein. 0,02 m3 tørr mørtel / m2 murvegg. Isolasjon er ikke med her, dette er med i klimavegg
		Fibersementplate	32 % av YOM (50% av tettfelt)	32 % av YOM (50% av tettfelt)	
	Dører	Ytterdører i stål	1% av YOM	1% av YOM	
Inner-vegger	Bærende innervegger	Betongvegg 150mm	0% av INV	0% av INV	
		Betongvegg 250mm	0% av INV	0% av INV	
		Lettklinker	30% av INV	30% av INV	
	Ikke-bærende innervegger	100mm bindingsverksvegg, mineralull, 1 lag gips hver side, stålstender	100 mm glassull 60% av INV	100 mm steinull 60% av INV	Steinull mer vanlig enn glassull.
		Systemvegger, glassfelt	Glass front systemvegg	5% av INV	5% av INV
	Kledning og overflate		Maling på gips	100% av gipsvegg	100 % av gipsvegg
		Murpuss + maling på lettklinker	100% av betong og lettklinkervegg	100% av betong og lettklinkervegg	
Dører	Tredører	5% av INV	5% av INV	Tredører	
Dekker	Frittstående dekker	265mm betong hulldekke	100% av (BTA-BYA)	100% av (BTA-BYA)	Ekstra lag 20 mm glassull lå inne i One Click, dette er fjernet
	Gulv på grunn	Betong, dampspærre/radonsperre	300mm betong + 250mm EPS 100% av BYA	100mm betong + 200mm EPS 100% av BYA	Benyttet 100 mm bunnplate og 200 mm EPS når det ikke er behov for ekstra fundamentering.
	Påstøp	50 mm armert påstøp + 20 mm avrettingsmasse	100% av BTA	100% av (BTA-BYA)	Endret til å ikke inkluderer avretting og påstøp på gulv på grunn.
	Gulv-overflate	Teppe	0 % av BRA	0 % av BRA	
Parkett		30 % av BRA	30 % av BRA		

		Vinyl	10 % av BRA	10 % av BRA	
		Keramisk fli, flislim og membran	60 % av BRA	60 % av BRA	
	Faste himlinger og overflatebehandling	Fast gipshimling, malt	30 % av BRA	50 % av BRA	Fast gipshimling, malt
	Systemhimlinger	Systemhimling + stålprofiler	20 mm mineralullplater 70% av BRA	20 mm mineralullplater 5% av BRA	
Yttertak	Primærkonstruksjon	265 mm betong hulldekke, dampspærre	300 mm EPS 100% av BYA	250 mm EPS, 50 mm trykkfast steinull 100% av BYA	Endret til 250 mm EPS, 50 mm trykkfast steinull
	Taktekking	Asfalttecking, to lag	100% av BYA	100% av BYA	Asfalttecking, to lag
Trapper og balkonger	Trapper	Betongtrapp			Uendret mengde
	Heissjakt	Betongsjakt	Betong, 250mm	0	Heissjakt er inkludert i innervegger.

Løsningsvalg for småhus

Småhus		Løsningsvalg, One Click LCA og valgte løsninger			Kommentar til løsningsvalg for referansenivå
		Element	One Click LCA	Valgte løsninger	
Bære-systemer	Søyler	Stålsøyler (hulprofil)	0 %	0 %	
		Betongsøyler	0 %	0 %	
		Limtre	100 %	100 %	
	Bjelker	Stålbjelker (valseprofil)	10 %	10 %	
		Betongbjelker	0 %	0 %	
		Trebjelker	90 %	90 %	
Ytter-vegger	Bærende yttervegg	Betongvegg 200mm, mineralull, utvendig vindsperre (GU-X), utlekting, maling på innside	0 %	0 %	
		Lettklinker 200 mm, mineralull, utvendig vindsperre (GU-X), utlekting, dampsperre, mørtel mellom lettklinker, mørtel og maling på innside	250 mm glassull 16,5 % av YOM	250 mm steinull 4 % av YOM	Redusert størrelse vegg av lettklinker
	Ikke-bærende yttervegg	Klimavegg m/utvendig vindsperre (GU-X), bindingsverk med trestender og mineralull, dampsperre, 1 lag innvendig gips	250 mm glassull 66 % av YOM	250 mm steinull 80 % av YOM	Byttet glassull til steinull, økt areal klimavegg
	Glassfasader/vinduer	Glassfasade	0 % av YOM	0 % av YOM	
		Trevinduer med alukledning, 3 lag	16,5% av YOM	15% av YOM	25% av BRA = 15 % av YOM.
	Utvendig kledning	Tegl, inkl mørtel	30% av tettfelt	0% av tettfelt	
		Malet trekledning	70% av tettfelt	100% av tettfelt	Endret til 100% trekledning
Dører	Ytterdører i stål	2,2% av YOM	2,2 % av YOM		
Inner-vegger	Bærende innervegger	Betongvegg 150mm	0% av INV	0% av INV	
		Betongvegg 250mm	0% av INV	0% av INV	
		Lettklinker	30% av INV	7% av INV	
	Ikke-bærende innervegger	100mm bindingsverksvegg, mineralull, 1 lag gips hver side, stålstender	100 mm glassull 60% av INV	100 mm steinull 840% av INV	Steinull mer vanlig enn glassull.
	Systemvegger, glassfelt	Glass front systemvegg	0% av INV	0% av INV	
	Kledning og overflate	Maling på gips	100% av gipsvegg	100 % av gipsvegg	Sparkel på gipsvegg er ikke inkludert
		Murpuss + maling på lettklinker	100% av betong og lettklinkervegg	100% av betong og lettklinkervegg	
		Kermaisk fli, flislim og membran	0% av INV	26% av INV	Keramisk flis på bad
	Dører	Tredører	10% av INV	9% av INV	Tredører
	Dekker	Frittstående dekker	265mm betong hulldekke	0% av BTA	0% av BTA
Trebjelkelag			225 mm glassull 100% av BTA	225 mm steinull 100% av BTA	
Gulv på grunn		Betong, dampsperre/radonsperre	300mm betong + 250mm EPS 100% av BYA	100mm betong + 200mm EPS 100% av BYA	Benyttet 100 mm bunnplate og 200 mm EPS når det ikke er behov for fundamentering.

	Påstøp	50 mm armert påstøp + 20 mm avrettingsmasse	0% av BTA	0% av BTA	
	Gulv-overflate	Teppe	0 % av BRA	0 % av BRA	
		Parkett	70 % av BRA	70 % av BRA	
		Vinyl	15 % av BRA	15 % av BRA	
		Kermamisk fli, flislim og membran	15 % av BRA	15 % av BRA	
	Faste himlinger og overflate-behandling	Fast gipshimling, malt	100 % av BRA	100 % av BRA	Fast gipshimling, malt
	System-himlinger	Systemhimling + stålprofiler	20 mm mineralullplater 0% av BRA	20 mm mineralullplater 0% av BRA	
Yttertak	Primær-konstruksjon	Trebjelkelag, sponplate, OSB plate, PVC undertak	100% av BYA	100% av BYA	Isolasjon er i dekket
	Taktekking	Takstein	100% av BYA	100% av BYA	
Trapper og balkonger	Trapper	Betongtrapp	100% betong	0% limtre	
		Trapp, limtre	0% limtre	100% betong	Endret til trapp av limtre
	Heissjakt	Betongsjakt	0 %	0 %	

Løsningsvalg for sykehjem

Sykehjem		Løsningsvalg, One Click LCA og valgte løsninger			Kommentar til løsningsvalg for referansenivå
		Element	One Click LCA	Valgte løsninger	
Bæresystemer	Søylar	Stålsøylar (hulprofil)	80 %	100 %	Endre til stålsøylar i hele bygget, siden det antas at det ikke er så stor forskjell på de 2 etg.
		Betongsøylar	20 %	0 %	
	Bjelker	Stålbjelker (valseprofil)	80 %	100 %	
		Betongbjelker	20 %	0 %	
Yttervegger	Bærende yttervegg	Betongvegg 200mm, mineralull, utvendig vindsperre (GU-X), utlekting, maling på innside	250 mm glassull 6,7% av YOM	250 mm steinull 6,7% av YOM	Beholdt størrelse på betongvegg lik som i referansebygget.
		Lettklinker 200 mm, mineralull, utvendig vindsperre (GU-X), utlekting, dampsperre, mørtel mellom lettklinker, mørtel og maling på innside	250 mm glassull 6,7 % av YOM	250 mm steinull 6,7 % av YOM	Beholdt størrelse på betongvegg lik som i referansebygget.
	Ikke-bærende yttervegg	Klimavegg m/utvendig vindsperre (GU-X), bindingsverk med trestender og mineralull, dampsperre, 1 lag innvendig gips	250 mm glassull 54 % av YOM	250 mm steinull 49 % av YOM (801 m2)	Byttet glassull til steinull. Murplate på innsiden av tegl er nødvendig og inkludert i mineralull her. Redusert areal pga økt areal vindu.
	Glassfasader/vinduer	Glassfasade	0 % av YOM	0 % av YOM	25% av BRA = 36 % av YOM. 600 m2
		Trevinduer med alukledning, 3 lag	31% av YOM	36% av YOM	
	Utvendig kledning	Tegl, inkl mørtel	47 % av YOM (70% av tettfelt)	47 % av YOM (70% av tettfelt)	Tegl, inkl. mørtel mellom murstein. 0,02 m3 tørr mørtel / m2 murvegg. Isolasjon er ikke med her, dette er med i klimavegg
		Malt trekledning	20 % av YOM (30% av tettfelt)	20 % av YOM (30% av tettfelt)	
Dører	Ytterdører i stål	1,6% av YOM	1,6% av YOM		
Innervegger	Bærende innervegger	Betongvegg 150mm	10% av INV	10% av INV	Lagt til betongvegg heissjakt. 84 m2
		Betongvegg 250mm	0% av INV	3% av INV	

		Lettklinker	0% av INV	0% av INV	
	Ikke-bærende innervegger	100mm bindingsverksvegg, mineralull, 1 lag gips hver side, stålstender	100 mm glassull 80% av INV	100 mm steinull 80% av INV	Steinull mer vanlig enn glassull.
	Systemvegger, glassfelt	Glass front systemvegg	3% av INV	3% av INV	
	Kledning og overflate	Maling på gips	100% av gipsvegg	100 % av gipsvegg	Sparkel på gipsvegg er ikke inkludert
		Murpuss + maling på betong og lettklinker	100% av betong og lettklinkervegg	100% av betong og lettklinkervegg	
		Kermaisk fli, flislim og membran	0% av INV	15% av INV	Keramisk flis på toaletter.
	Dører	Tredører	7% av INV	7% av INV	Tredører
Dekker	Frittstående dekker	265mm betong hulldekke	100% av (BTA-BYA)	100% av (BTA-BYA)	Ekstra lag 20 mm glassull lå inne i One Click, dette er fjernet
		Trebjelkelag, 225mm glassull	0%	0%	
	Gulv på grunn	Betong, dampsperre/radonsperre	300mm betong + 250mm EPS 100% av BYA	100mm betong + 200mm EPS 100% av BYA	Benyttet 100 mm bunnplate og 200 mm EPS når det ikke er behov for fundamentering.
	Påstøp	50 mm armert påstøp + 20 mm avrettingsmasse	100% av BTA	100% av (BTA-BYA)	Endret til å ikke inkluderer avretting og påstøp på gulv på grunn.
	Gulv-overflate	Teppe	0 % av BRA	0 % av BRA	
		Parkett	0 % av BRA	0 % av BRA	
		Vinyl	95 % av BRA	95 % av BRA	
		Kermamisk fli, flislim og membran	5 % av BRA	5 % av BRA	
Faste himlinger og overflatebehandling	Fast gipshimling, malt	50 % av BRA	50 % av BRA	Fast gipshimling, malt	
System-himlinger	Systemhimling + stålprofiler	20 mm mineralullplater 50% av BRA	20 mm mineralullplater 50% av BRA		
Yttertak	Primærkonstruksjon	265 mm betong hulldekke, dampsperre	300 mm EPS 100% av BYA	250 mm EPS, 50 mm trykkfast steinull 100% av BYA	Endret til 250 mm EPS, 50 mm trykkfast steinull
	Taktekking	Asfalttekking, to lag	100% av BYA	100% av BYA	Asfalttekking, to lag
Trapper og balkonger	Trapper	Betongtrapp			Uendret mengde
	Heissjakt	Betongsjakt	Betong, 250mm	0%	Heissjakt er inkludert i innervegger.

Løsningsvalg for kjeller, oppvarmet og uoppvarmet

Kjeller		Løsningsvalg, One Click LCA og valgte løsninger				Kommentar til løsningsvalg for referansenivå
		Element	One Click LCA	Valgte løsninger oppvarmet	Valgte løsninger ikke oppvarmet	
Bæresystemer	Søyler	Stålsøyler (hulprofil)	80 %	100 %	100 %	Betongsøyler og -bjelker i hele konstruksjonen, alle etasjer like
		Betongsøyler	20 %	0 %	0 %	
	Bjelker	Stålbjelker (valseprofil)	100 %	100 %	100 %	
		Betongbjelker	0 %	0 %	0 %	
Yttervegger	Bærende yttervegg	Betongvegg, sandwich, 90mm+80mm, vanntett bitumenplate, 190 mm EPS	100% av YUM	100% av YUM	100% av YUM	

Inner- vegger	Innervegger	Betongvegg 150mm	0 %	1750 m2 INV	175,0 m2 INV	For oppvarmet bygg er det lagt til samme mengde innervegger som for kontorbygg over bakken. Alle innervegger er endret til 150 mm betongvegger. For ikke oppvarmet kjeller er det antatt 10% av innervegger for kontorbygg over bakken.	
	Kledning og overflate	Maling på gips	100% av gipsvegg	100 % av gipsvegg	100 % av gipsvegg	Sparkel på gipsvegg er ikke inkludert	
		Murpuss + maling på betongvegg	100% av betongvegg	100% av betongvegg	100% av betongvegg		
Dekker	Frittstående dekker	265mm betong hulldekke	100% av (BTA-BYA)	100% av (BTA-BYA)	100% av (BTA-BYA)	Ekstra lag 20 mm glassull lå inne i One Click, dette er fjernet	
	Gulv på grunn	Betong, dampsperre/radonsperre	ikke inkludert	ikke inkludert	ikke inkludert	Gulv på grunn er ikke inkludert for kjeller. Gulv på grunn er inkludert for kontor, boligblokk, skole og forretningsbygg.	
	Påstøp	50 mm armert påstøp + 20 mm avrettingsmasse	100% av dekker	100% av dekker	100% av dekker	Endret til å ikke inkludere avretting og påstøp på gulv på grunn.	
	Gulv-overflate	Teppe		70 % av BRA	70 % av BRA	7 % av BRA	
		Parkett		15 % av BRA	15 % av BRA	1 % av BRA	
		Vinyl		10 % av BRA	10% av BRA	1% av BRA	
		Kermaisk fli, flislim og membran		5 % av BRA	5 % av BRA	1 % av BRA	
		Ubehandlet betong		0 %	0 %	90 % av BRA	Ikke oppvarmet kjeller har 90% ubehandlet betong
Faste himlinger og overflate-behandling	Fast gipshimling, malt		50 % av BRA	50 % av BRA	50 % av BRA	Fast gipshimling, malt	
System-himlinger	Systemhimling + stålprofiler		20 mm mineralullplater 50% av BRA	20 mm mineralullplater 50% av BRA	20 mm mineralullplater 50% av BRA		

VEDLEGG 2: MATERIALENES BIDRAG TIL MASSE OG KLIMAGASSUTSLIPP I MODELLBYGG

Kontorbygg, 3800 bta	MASSE	
	Andel	Akk.
Huldekker av prefabrikkert betong	45 %	
Betong, plasstøpt	37 %	82 %
Teglstein	2.6 %	85 %
Avrettingsmasse	2.4 %	87 %
Gipsplate, standard	2.4 %	89 %
Konstruksjonsstål	2.1 %	92 %
Armeringsstål	1.4 %	93 %
Vinduer med tre- og aluminiumsprofil	1.0 %	94 %
Mineralull (glassull og steinull)	0.8 %	95 %
Mørtel	0.8 %	96 %
Lettklinkerblokk (type leca)	0.6 %	96 %
Glassvegg, inne	0.6 %	97 %
Keramiske fliser inkludert flislim	0.4 %	97 %
Taktekking og takbelegg (bitumen/PVC)	0.4 %	98 %
EPS og XPS	0.3 %	98 %
Konstruksjonsvirke, tre	0.3 %	98 %
Dører (innvendige og ytterdører)	0.3 %	99 %
Himlingsplater	0.2 %	99 %
Parkett og tregulv	0.2 %	99 %
Fasadeplate, sementkompositt	0.2 %	99 %
Glassfasadesystem	0.2 %	99 %
Vindsperre (gips - GU-X)	0.2 %	100 %
Gulvteppe	0.2 %	100 %
Murpuss	0.1 %	100 %
Opphengssystem himlingsplater	0.0 %	100 %
Innendørs maling	0.0 %	100 %
Dampsperre i plast	0.0 %	100 %
Våtromsmembran	0.0 %	100 %
Belegg (linoleum og vinyl)	0.0 %	100 %

Kontorbygg, 3800 bta	UTSLIPP	
	Andel	Akk.
Huldekker av prefabrikkert betong	23 %	
Betong, plasstøpt	16 %	39 %
Konstruksjonsstål	15 %	54 %
Glassvegg, inne	6.2 %	61 %
Vinduer med tre- og aluminiumsprofil	6.1 %	67 %
EPS og XPS	5.7 %	72 %
Mineralull (glassull og steinull)	4.9 %	77 %
Avrettingsmasse	3.4 %	81 %
Armeringsstål	2.7 %	84 %
Gulvteppe	2.2 %	86 %
Teglstein	2.2 %	88 %
Taktekking og takbelegg (bitumen/PVC)	2.0 %	90 %
Gipsplate, standard	1.9 %	92 %
Glassfasadesystem	1.7 %	94 %
Mørtel	1.4 %	95 %
Keramiske fliser inkludert flislim	0.8 %	96 %

Dører (innvendige og ytterdører)	0.7 %	96 %
Fasadeplate, sementkompositt	0.7 %	97 %
Himlingsplater	0.6 %	98 %
Parkett og tregulv	0.5 %	98 %
Opphengssystem himlingsplater	0.4 %	99 %
Lettklinkerblokk (type leca)	0.3 %	99 %
Murpuss	0.2 %	99 %
Belegg (linoleum og vinyl)	0.2 %	99 %
Innendørs maling	0.2 %	100 %
Dampspærre i plast	0.2 %	100 %
Vindspærre (gips - GU-X)	0.1 %	100 %
Konstruksjonsvirke, tre	0.1 %	100 %
Våtromsmembran	0.1 %	100 %

Boligblokk, 986 BTA	MASSE	
	Andel	Akk.
Betong, plasstøpt	44 %	
Hulldykker av prefabrikkert betong	33 %	76 %
Teglstein	3.6 %	80 %
Gipsplate, standard	3.5 %	83 %
Konstruksjonsstål	2.5 %	86 %
Lettklinkerblokk (type leca)	2.4 %	88 %
Avrettingsmasse	1.8 %	90 %
Armeringsstål	1.6 %	92 %
Mørtel	1.3 %	93 %
Dører (innvendige og ytterdører)	1.2 %	94 %
Keramiske fliser inkludert flislim	1.1 %	95 %
Mineralull (glassull og steinull)	0.8 %	96 %
Murpuss	0.8 %	97 %
Vinduer med tre- og aluminiumsprofil	0.7 %	98 %
Parkett og tregulv	0.6 %	98 %
Konstruksjonsvirke, tre	0.5 %	99 %
Vindspærre (gips - GU-X)	0.3 %	99 %
Taktekking og takbelegg (bitumen/PVC)	0.3 %	99 %
EPS og XPS	0.2 %	100 %
Kledning, trevirke	0.2 %	100 %
Våtromsmembran	0.1 %	100 %
Innendørs maling	0.1 %	100 %
Dampspærre i plast	0.0 %	100 %
Belegg (linoleum og vinyl)	0.0 %	100 %
Utendørs maling	0.0 %	100 %

Boligblokk, 986 BTA	UTSLIPP	
	Andel	Akk.
Konstruksjonsstål	19 %	
Hulldykker av prefabrikkert betong	19 %	39 %
Betong, plasstøpt	18 %	57 %
Mineralull (glassull og steinull)	5.3 %	62 %
Vinduer med tre- og aluminiumsprofil	5.1 %	67 %
EPS og XPS	4.7 %	72 %
Teglstein	3.3 %	75 %
Dører (innvendige og ytterdører)	3.2 %	79 %
Gipsplate, standard	3.0 %	82 %
Armeringsstål	2.9 %	85 %

Avrettingsmasse	2.8 %	87 %
Keramiske fliser inkludert flislim	2.5 %	90 %
Mørtel	2.5 %	92 %
Murpuss	1.6 %	94 %
Taktekking og takbelegg (bitumen/PVC)	1.6 %	96 %
Parkett og tregulv	1.5 %	97 %
Lettklinkerblokk (type leca)	1.2 %	98 %
Belegg (linoleum og vinyl)	0.4 %	99 %
Innendørs maling	0.3 %	99 %
Vindspærre (gips - GU-X)	0.3 %	99 %
Konstruksjonsvirke, tre	0.2 %	100 %
Våtromsmembran	0.2 %	100 %
Dampspærre i plast	0.2 %	100 %
Utendørs maling	0.0 %	100 %

Skole, 2534 m2 BTA	MASSE	
	Andel	Akk.
Hulldykker av prefabrikkert betong	46 %	
Betong, plasstøpt	33 %	80 %
Avrettingsmasse	3.5 %	83 %
Konstruksjonsstål	3.0 %	86 %
Teglstein	2.4 %	89 %
Gipsplate, standard	1.9 %	90 %
Lettklinkerblokk (type leca)	1.6 %	92 %
Armeringsstål	1.2 %	93 %
Vinduer med tre- og aluminiumsprofil	1.1 %	94 %
Mineralull (glassull og steinull)	0.9 %	95 %
Mørtel	0.9 %	96 %
Taktekking og takbelegg (bitumen/PVC)	0.6 %	97 %
Konstruksjonsvirke, tre	0.5 %	97 %
Murpuss	0.5 %	98 %
EPS og XPS	0.4 %	98 %
Belegg (linoleum og vinyl)	0.4 %	98 %
Dører (innvendige og ytterdører)	0.3 %	99 %
Himlingsplater	0.3 %	99 %
Glassfasadesystem	0.3 %	99 %
Vindspærre (gips - GU-X)	0.2 %	100 %
Kledning, trevirke	0.2 %	100 %
Parkett og tregulv	0.1 %	100 %
Glassvegg, inne	0.1 %	100 %
Opphengssystem himlingsplater	0.1 %	100 %
Innendørs maling	0.0 %	100 %
Dampspærre i plast	0.0 %	100 %
Utendørs maling	0.0 %	100 %

Skole, 2534 m2 BTA	UTSLIPP	
	Andel	Akk.
Hulldykker av prefabrikkert betong	23 %	
Konstruksjonsstål	20 %	43 %
Betong, plasstøpt	13 %	56 %
EPS og XPS	7.9 %	64 %
Vinduer med tre- og aluminiumsprofil	6.3 %	71 %
Mineralull (glassull og steinull)	5.6 %	76 %
Avrettingsmasse	4.6 %	81 %
Taktekking og takbelegg (bitumen/PVC)	2.9 %	84 %

Glassfasadesystem	2.2 %	86 %
Armeringsstål	2.2 %	88 %
Teglstein	1.9 %	90 %
Mørtel	1.4 %	91 %
Gipsplate, standard	1.4 %	93 %
Belegg (linoleum og vinyl)	1.3 %	94 %
Himlingsplater	1.1 %	95 %
Glassvegg, inne	0.9 %	96 %
Dører (innvendige og ytterdører)	0.9 %	97 %
Murpuss	0.8 %	98 %
Lettklinkerblokk (type leca)	0.7 %	99 %
Opphengssystem himlingsplater	0.5 %	99 %
Parkett og tregulv	0.2 %	99 %
Dampsperre i plast	0.2 %	99 %
Konstruksjonsvirke, tre	0.2 %	100 %
Vindsperre (gips - GU-X)	0.2 %	100 %
Innendørs maling	0.1 %	100 %
Utendørs maling	0.0 %	100 %

Forretning, 3768 m2 BTA	MASSE	
	Andel	Akk.
Hulldekker av prefabrikkert betong	46 %	
Betong, plasstøpt	33 %	79 %
Lettklinkerblokk (type leca)	3.7 %	83 %
Avrettingsmasse	2.3 %	85 %
Gipsplate, standard	1.9 %	87 %
Teglstein	1.9 %	89 %
Keramiske fliser inkludert flislim	1.8 %	91 %
Armeringsstål	1.3 %	92 %
Konstruksjonsstål	1.1 %	93 %
Murpuss	1.1 %	94 %
Vinduer med tre- og aluminiumsprofil	1.0 %	95 %
Mørtel	1.0 %	96 %
Mineralull (glassull og steinull)	0.5 %	97 %
Parkett og tregulv	0.4 %	97 %
Konstruksjonsvirke, tre	0.4 %	98 %
Taktekking og takbelegg (bitumen/PVC)	0.4 %	98 %
Fasadeplate, sementkompositt	0.3 %	98 %
EPS og XPS	0.3 %	99 %
Glassfasadesystem	0.3 %	99 %
Himlingsplater	0.2 %	99 %
Vindsperre (gips - GU-X)	0.2 %	99 %
Dører (innvendige og ytterdører)	0.2 %	100 %
Våtromsmembran	0.1 %	100 %
Glassvegg, inne	0.1 %	100 %
Opphengssystem himlingsplater	0.0 %	100 %
Innendørs maling	0.0 %	100 %
Dampsperre i plast	0.0 %	100 %
Belegg (linoleum og vinyl)	0.0 %	100 %

Forretning, 3768 m2 BTA	UTSLIPP	
	Andel	Akm.
Hulldekker av prefabrikkert betong	27 %	
Betong, plasstøpt	13 %	40 %
Konstruksjonsstål	8.7 %	49 %

EPS og XPS	7.3 %	56 %
Vinduer med tre- og aluminiumsprofil	7.1 %	63 %
Keramiske fliser inkludert flislim	4.3 %	68 %
Mineralull (glassull og steinull)	4.2 %	72 %
Avrettingsmasse	3.7 %	76 %
Glassfasadesystem	3.5 %	79 %
Murpuss	2.3 %	81 %
Taktekking og takbelegg (bitumen/PVC)	2.3 %	84 %
Mørtel	2.1 %	86 %
Armeringsstål	2.0 %	88 %
Lettklinkerblokk (type leca)	2.0 %	90 %
Teglstein	1.8 %	92 %
Gipsplate, standard	1.7 %	93 %
Fasadeplate, sementkompositt	1.3 %	94 %
Glassvegg, inne	1.2 %	96 %
Parkett og tregulv	1.1 %	97 %
Himlingsplater	0.7 %	97 %
Dører (innvendige og ytterdører)	0.6 %	98 %
Opphengssystem himlingsplater	0.5 %	99 %
Våtromsmembran	0.4 %	99 %
Belegg (linoleum og vinyl)	0.3 %	99 %
Dampsperre i plast	0.2 %	99 %
Innendørs maling	0.2 %	100 %
Vindsperre (gips - GU-X)	0.2 %	100 %
Konstruksjonsvirke, tre	0.2 %	100 %

Småhus, 191 m2 BTA	MASSE	
	Andel	Akk.
Betong, plassenstøpt	31 %	
Gipsplate, standard	13 %	43 %
Konstruksjonsvirke, tre	11 %	54 %
Takstein	7.2 %	61 %
Lettklinkerblokk (type leca)	5.3 %	67 %
Bygningsplater (OSB, spon, MDF)	5.0 %	72 %
Mineralull (glassull og steinull)	4.3 %	76 %
Avrettingsmasse	3.6 %	80 %
Kledning, trevirke	3.1 %	83 %
Keramiske fliser inkludert flislim	2.9 %	86 %
Limtre	1.9 %	88 %
Vindsperre (gips - GU-X)	1.9 %	89 %
Parkett og tregulv	1.9 %	91 %
Vinduer med tre- og aluminiumsprofil	1.8 %	93 %
Dører (innvendige og ytterdører)	1.2 %	94 %
Murpuss	1.2 %	96 %
Armeringsstål	1.2 %	97 %
Konstruksjonsstål	0.7 %	98 %
EPS og XPS	0.7 %	98 %
Mørtel	0.7 %	99 %
Terrassebord utvendig, ulike typer	0.3 %	99 %
Taktekking og takbelegg (bitumen/PVC)	0.2 %	99 %
Våtromsmembran	0.2 %	100 %
Innendørs maling	0.1 %	100 %
Dampsperre i plast	0.1 %	100 %
Utendørs maling	0.1 %	100 %
Belegg (linoleum og vinyl)	0.1 %	100 %

Småhus, 191 m2 BTA	UTSLIPP	
	Andel	Akk.
Mineralull (glassull og steinull)	15 %	
EPS og XPS	11 %	26 %
Betong, plasstøpt	10 %	37 %
Vinduer med tre- og aluminiumsprofil	8.4 %	45 %
Gipsplate, standard	8.0 %	53 %
Keramiske fliser inkludert flislim	4.9 %	58 %
Kledning, trevirke	4.4 %	62 %
Takstein	4.1 %	66 %
Avrettingsmasse	4.0 %	70 %
Bygningsplater (OSB, spon, MDF)	3.9 %	74 %
Konstruksjonsstål	3.7 %	78 %
Konstruksjonsvirke, tre	3.3 %	81 %
Parkett og tregulv	3.3 %	84 %
Dører (innvendige og ytterdører)	2.6 %	87 %
Lettklinkerblokk (type leca)	2.0 %	89 %
Taktekking og takbelegg (bitumen/PVC)	1.8 %	91 %
Armeringsstål	1.7 %	93 %
Murpuss	1.7 %	94 %
Vindsperre (gips - GU-X)	1.1 %	95 %
Limtre/massivtre	1.1 %	97 %
Mørtel	0.9 %	97 %
Dampsperre i plast	0.7 %	98 %
Innendørs maling	0.5 %	99 %
Belegg (linoleum og vinyl)	0.5 %	99 %
Utendørs maling	0.4 %	100 %
Våtromsmembran	0.4 %	100 %

Sykehjem, 2560 m2 BTA	MASSE	
	Andel	Akk.
Huldekker av prefabrikkert betong	45 %	
Betong, plasstøpt	32 %	77 %
Teglstein	3.8 %	81 %
Gipsplate, standard	3.4 %	85 %
Konstruksjonsstål	3.1 %	88 %
Armeringsstål	2.2 %	90 %
Avrettingsmasse	1.7 %	92 %
Mineralull (glassull og steinull)	1.3 %	93 %
Mørtel	1.2 %	94 %
Vinduer med tre- og aluminiumsprofil	1.0 %	95 %
Lettklinkerblokk (type leca)	0.8 %	96 %
Keramiske fliser inkludert flislim	0.7 %	97 %
Konstruksjonsvirke, tre	0.6 %	97 %
Taktekking og takbelegg (bitumen/PVC)	0.5 %	98 %
EPS og XPS	0.5 %	98 %
Dører (innvendige og ytterdører)	0.4 %	99 %
Vindsperre (gips - GU-X)	0.3 %	99 %
Fasadeplate, sementkompositt	0.3 %	99 %
Himlingsplater	0.2 %	99 %
Belegg (linoleum og vinyl)	0.2 %	100 %
Murpuss	0.2 %	100 %

Glassvegg, inne	0.1 %	100 %
Innendørs maling	0.1 %	100 %
Opphengssystem himlingsplater	0.0 %	100 %
Våtromsmembran	0.0 %	100 %
Dampspærre i plast	0.0 %	100 %

Sykehjem, 2560 m2 BTA	UTSLIPP	
	Andel	Akk.
Hulldekker av prefabrikkert betong	21 %	
Konstruksjonsstål	21 %	43 %
Betong, plasstøpt	12 %	55 %
EPS og XPS	7.9 %	63 %
Mineralull (glassull og steinull)	7.0 %	70 %
Vinduer med tre- og aluminiumsprofil	5.7 %	75 %
Armeringsstål	3.7 %	79 %
Teglstein	2.9 %	82 %
Taktekking og takbelegg (bitumen/PVC)	2.7 %	85 %
Gipsplate, standard	2.5 %	87 %
Avrettingsmasse	2.2 %	89 %
Belegg (linoleum og vinyl)	2.0 %	91 %
Mørtel	1.8 %	93 %
Keramiske fliser inkludert flislim	1.3 %	95 %
Dører (innvendige og ytterdører)	1.1 %	96 %
Glassvegg, inne	1.0 %	97 %
Fasadeplate, sementkompositt	0.9 %	98 %
Himlingsplater	0.5 %	98 %
Opphengssystem himlingsplater	0.4 %	98 %
Lettklinkerblokk (type leca)	0.3 %	99 %
Murpuss	0.3 %	99 %
Vindspærre (gips - GU-X)	0.2 %	99 %
Innendørs maling	0.2 %	100 %
Konstruksjonsvirke, tre	0.2 %	100 %
Dampspærre i plast	0.2 %	100 %
Våtromsmembran	0.1 %	100 %

Kjeller. 2534 BTA	MASSE	
	Andel	Akm.
Betong, plasstøpt	62 %	
Hulldekker av prefabrikkert betong	31 %	93 %
Armeringsstål	2.6 %	96 %
Avrettingsmasse	2.4 %	98 %
Gipsplate, standard	0.4 %	99 %
Utvendig vanntetting, kjeller	0.4 %	99 %
Murpuss	0.2 %	99 %
Himlingsplater	0.2 %	99 %
Parkett og tregulv	0.2 %	100 %
EPS og XPS	0.1 %	100 %
Gulvteppe	0.1 %	100 %
Keramiske fliser inkludert flislim	0.1 %	100 %
Opphengssystem himlingsplater	0.0 %	100 %
Innendørs maling	0.0 %	100 %
Belegg (linoleum og vinyl)	0.0 %	100 %
Våtromsmembran	0.0 %	100 %
Dampspærre i plast	0.0 %	100 %

Kjeller. 2534 BTA	UTSLIPP	
	Andel	Akk.
Betong, plasstøpt	45 %	
Huldekker av prefabrikkert betong	28 %	73 %
Armeringsstål	8.1 %	81 %
Avrettingsmasse	5.6 %	87 %
Utvendig vanntetting, kjeller	3.8 %	91 %
EPS og XPS	3.2 %	94 %
Gulvteppe	2.6 %	96 %
Himlingsplater	0.7 %	97 %
Gipsplate, standard	0.6 %	98 %
Parkett og tregulv	0.6 %	98 %
Murpuss	0.5 %	99 %
Opphengssystem himlingsplater	0.5 %	99 %
Keramiske fliser inkludert flislim	0.4 %	99 %
Belegg (linoleum og vinyl)	0.3 %	100 %
Innendørs maling	0.2 %	100 %
Våtromsmembran	0.0 %	100 %
Dampspærre i plast	0.0 %	100 %

Kjeller, uoppvarmet	MASSE	
	Andel	Akk.
Betong, plasstøpt	54 %	
Huldekker av prefabrikkert betong	39 %	93 %
Avrettingsmasse	3 %	96 %
Armeringsstål	2 %	98 %
Gipsplate, standard	1 %	99 %
Utvendig vanntetting, kjeller	1 %	99 %
Himlingsplater	0 %	100 %
EPS og XPS	0 %	100 %
Opphengssystem himlingsplater	0 %	100 %
Murpuss	0 %	100 %
Parkett og tregulv	0 %	100 %
Innendørs maling	0 %	100 %
Gulvteppe	0 %	100 %
Keramiske fliser inkludert flislim	0 %	100 %
Belegg (linoleum og vinyl)	0 %	100 %
Våtromsmembran	0 %	100 %
Dampspærre i plast	0 %	100 %

Kjeller, uoppvarmet	UTSLIPP	
	Andel	Akk.
Betong, plasstøpt	40 %	
Huldekker av prefabrikkert betong	34 %	74 %
Armeringsstål	7.4 %	82 %
Avrettingsmasse	7.0 %	89 %
Utvendig vanntetting, kjeller	4.7 %	93 %
EPS og XPS	3.9 %	97 %
Himlingsplater	0.8 %	98 %
Gipsplate, standard	0.7 %	99 %
Opphengssystem himlingsplater	0.6 %	99 %
Gulvteppe	0.3 %	100 %
Innendørs maling	0.1 %	100 %

Parkett og tregulv	0.1 %	100 %
Murpuss	0.1 %	100 %
Keramiske fliser inkludert flislim	0.0 %	100 %
Belegg (linoleum og vinyl)	0.0 %	100 %
Våtromsmembran	0.0 %	100 %
Dampsperre i plast	0.0 %	100 %

VEDLEGG 3: JUSTERINGER I MODELLBYGG FRA ONE CLICK LCA

Hulldekker

OneClick LCA

Type: Hulldekker, generisk, B30, C30/37 (4400/5400 PSI), 0% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m³), incl. reinforcement

Beskrivelse:

- Tykkelse: 265mm
- 300 kg/m³ Portland sement og tilslag.
- Armeringsstål: 5 kg/m².
- Vekt: 371 kg/m² 265 mm tykkelse

Original fra OneClick LCA har hulldekker et utslippstall (A1-A3) på: **40,52 kg CO₂ ekv/m²**.

Justering

Ved å regne med samme materialmengde som OneClick LCA og justerte utslippsfaktorer gir dette følgende resultat:

Betong: Lavkarbonbetong bransjereferanse, B35: 330 kg CO₂ ekv/m³

Armeringsstål: Spennarmering: 2,68 kg CO₂ ekv/kg¹⁴⁸

Beregning:

- 371 kg/m² – 5,0 kg armeringsstål = 366 kg betong/m²
- 366 kg betong / 2400 kg/m³ = 0,1525 m³ betong
- 0,1525 m³ betong * 330 kg CO₂ ekv/m³ = 50,3 kg CO₂ ekv/m² hulldekke
- 5,0 kg spennarmering * 2,68 kg CO₂ ekv/kg = 13,4 kg CO₂ ekv/m² hulldekke
- **Sum: 50,3 kg CO₂ e + 13,4 kg CO₂ ekv = 63,7 kg CO₂ ekv/m² hulldekke**

Argumentasjon

Betong:

For betongelementer er det foreløpig mindre utbredt å bruke lavkarbonklasse A og B, som følge av hensyn til produksjonstid (lavkarbonbetong kan ha noe lengre herdetid enn standard betong).

I *Materialveileder, Hvordan jobbe godt med materialvalg i BREEAM-NOR prosjekter*¹⁴⁹ står det følgende om valg av betong i referansebygg.

Definering av referansebygg

Betong i betongelementer: Lavkarbonbetong C definert i Tabell 1 i Publikasjon nr. 37 - Lavkarbonbetong (Norsk Betongforening, 2015)

¹⁴⁸ https://www.epd-norge.no/getfile.php/135913-1469026878/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-326-206-EN_Prestressed-steel-for-reinforcemenet-of-concrete--PC-Strand.pdf

¹⁴⁹ <https://byggalliansen.no/aktuelt/publikasjoner/materialveileder/>

Bransjereferanseverdi for betong (tidligere Lavkarbonbetong klasse C) i ny Publikasjon 37 bør benyttes som standard betongvalg for prefabrikkerte betongelementer.

Armeringsstål:

OneClick LCA har benyttet utslippsfaktorer som kamstål som armering for hulldekke.

Hulldekker er spennarmerte og armeres med spennarmering. Spennarmering har et høyere klimagassutslipp pr kg armering sammenliknet med standard kamstål. Spennarmering har et klimagassutslipp på rundt 2,68 kg CO₂ e/kg spennarmering¹⁵⁰. Det blir derfor ikke riktig å benytte utslippsfaktor som for kamstål i hulldekker.

Planglass

OneClick LCA

Type: Planglass, enkeltglasert, generisk, 3 - 12 mm, 10 kg/m² (for 4 mm), 2500 kg/m³

Beskrivelse:

OneClick LCA beregner utslipp fra glass og aluminiumsprofil separat. Tall vist her er kun for glass.

Original fra OneClick LCA har planglass et utslippstall (A1-A3) på 0,80 kg CO₂ e/kg glass

Justering

Det er gjennomgått ulike EPDer for vinduer med fastkarm. Det er benyttet EPD for vinduer uten aluminiumsprofil.

	NorDan NTech Fixed window 105	Norges vinduetFastkarm vindu	Nordvestvinduet Fastkarm vindu	NorDan NTech Fixed window 105/80	Uldal: Vindu Fastkarm	
A1-A3	119,12	110,52	104,21	124,12	122,6	kg CO ₂ e
Vekt, kg	62,14	59,55	63,93	62,25	65,89	kg
CO ₂ e/m ²	65,4	60,7	57,2	68,2	67,3	kg Co ₂ e/m ²
Vekt/m ²	34,1	32,7	35,1	34,2	36,2	kg /m ²
Info	Triple glazed	(4S-18Ar4-18Ar-S4)	(4es18ar-4-20ar-4es)	Triple glazed	Triple glazed	
Tykkelse glass		4	4			mm
Antall lag	3	3	3	3	3	lag
CO ₂ e/m ² 4mm	21,8	20,2	19,1	22,7	22,4	kg Co ₂ e/m ² 4 mm glass
Vekt pr lag glass	11,4	10,9	11,7	11,4	12,1	kg /m ² 4 mm glass
CO ₂ e/kg vindu	1,92	1,86	1,63	1,99	1,86	kg CO ₂ e/kg vindu
Gjennomsnitt	1,85					kg CO ₂ e/kg vindu
Maksverdi	1,99					kg CO ₂ e/kg vindu

Figur 0-1: utslippsdata fra ulike EPD for vinduer. Tall er for vinduer uten aluminiumsprofil.

¹⁵⁰ https://www.epd-norge.no/getfile.php/135913-1469026878/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-326-206-EN_Prestressed-steel-for-reinforcemenet-of-concrete--PC-Strand.pdf

Resultatene viser at verdier fra norske EPDer gir følgende maks utslippstall for vindu: 1,99 kg CO₂ e/kg vindu

Argumentasjon

Det kan se ut til at ved å kun regne utslipp fra planglass og ikke inkludere beslag, avstandsprofil, argongass og andre komponenter i vinduet blir utslippstall for glass underestimert i OneClick LCA.

Mineralull

OneClick LCA

Type: *Stenull isolasjonsplater, generisk, L= 0.0346 W/mK, 50 kg/m³ (applicable for densities: 25-50 kg/m³)*

Beskrivelse

- Tetthet: 50 kg/m³

Original fra OneClick LCA har *stenull isolasjonsplater, generisk* et utslippstall (A1-A3) på: **50,0 kg CO₂ ekv/m²**.

Justering

Det er gjennomgått ulike EPDer for mineralull:

	kg CO ₂ e/m ³ , A1-A3					
	Glava		Paroc		Rockwool	
Standard mineralull	12,9	Proff 34, 17 kg/m ³	36,8	eXtra, 29 kg/m ³	33,3	A plate
Murplate	21,5	Glava murplate, 28 kg/m ³	55,1	WAS 35tt, 70 kg/m ³	41,6	Murplate
Veggplate	37,0	Glava veggplate 31, 48 kg/m ³	87,1	WAS 50, 70 kg/m ³	72,2	Redair

Mineralull er delt i mineralull for yttervegg og mineralull i innervegg

- Mineralull, innervegg: 35,0 kg CO₂ ekv/m³. Snitt av Paroc og Rockwool (i gult i tabell over)
- Mineralull, yttervegg: 50,0 kg CO₂ ekv/m³. Snitt av Paroc og Rockwool (i blått i tabell over)

Argumentasjon

Utslippsfaktor for mineralull er justert til å være representative verdier og inndelt i innervegg og yttervegg. Mineralull for yttervegg har et høyere utslipp enn mineralull innervegg da det benyttes en andel murplate og isolasjon med økt trykkfasthet i ytterveggen.

Innerdør

OneClick LCA

Type: *Climate door, 809x2053 mm, 42x92 mm frame, 52 mm door leaf (Nordic Dørfabrikk)*

Beskrivelse

Original fra OneClick LCA har *Climate door, 809x2053 mm, 42x92 mm frame, 52 mm door leaf (Nordic Dørfabrikk)* et utslippstall (A1-A3) på: **57,9 kg CO₂ ekv/m²**.

Justering

Ulike EPDer for innerdør er gjennomgått:

Klimadør / innerdør	NEPD-1535-525-NO	33,3	kg CO ₂ ekv/m ²
Innerdør	NEPD--2025-897-NO	25,7	kg CO ₂ ekv/m ²
Snitt		29,5	kg CO ₂ ekv/m ²
Valgt		30,0	kg CO₂ ekv/m²

Argumentasjon

Innerdør er modellert som klimadør og er lagt til grunn for alle innerdører i byggene i One Click LCA. Denne utslippsfaktoren er representativ for ytterdør inn til leiligheter, og ikke for innerdører inne i bygg. Dette ga svært høye utslipp fra innervegger for boligblokk. Utslippsverdi er derfor korrigert til å være representativ for innerdør inne i bygg, til **30,0 kg CO₂ ekv/m²**.

VEDLEGG 4: UTSLIPPSFAKTORER BENYTTET I BEREGNINGER FOR MODELLBYGG

Materiale	Referanse	Enhet	Kommentar	Lavutslipp BAT	Enhet	Kommentar
Armering, spenn	2,68	kg CO ₂ ekv/kg		1,04	kg CO ₂ ekv/kg	
Armeringsstål	0,62	kg CO ₂ ekv/kg		0,36	kg CO ₂ ekv/kg	
Avrettingsmasse	0,47	kg CO ₂ e/kg		0,13	kg CO ₂ e/kg	
Betong, B35	330	kg CO ₂ ekv/m ³	<i>Bransjereferanse</i>	120	kg CO ₂ ekv/m ³	Lavkarbon ekstrem
Betong, B45	360	kg CO ₂ ekv/m ³	<i>Bransjereferanse</i>	130	kg CO ₂ ekv/m ³	Lavkarbon ekstrem
Betong, hulldekke, B35	330	kg CO ₂ ekv/m ³	<i>Bransjereferanse</i>	120	kg CO ₂ ekv/m ³	Lavkarbon ekstrem
EPS, 80, 16 kg/m ³	71,0	kg CO ₂ e/m ³	<i>EPS 80, 16 kg/m³</i>	Ingen endring fra referanse		
Flislim	0,47	kg CO ₂ e/kg		0,00	kg CO ₂ e/kg	<i>Utgår ved overgang til vinyl</i>
Gipsplate, gulv, 13 mm	2,89	kg CO ₂ ekv/m ²		1,59	kg CO ₂ ekv/m ²	
Gipsplate, standard	2,89	kg CO ₂ ekv/m ²		1,59	kg CO ₂ ekv/m ²	
Hulldekke	63,7	kg CO ₂ ekv/m ²	<i>Bransjeref, standard spennarm</i>	23,5	kg CO ₂ ekv/m ²	
Innerdør	30,0	kg CO ₂ e/m ²		Ingen endring fra referanse		
Kjeramisk flis	16,9	kg CO ₂ e/m ²		5,29	kg CO ₂ e/m ²	<i>Overgang til vinyl</i>
Konstruksjonsstål, hulprofil	3,62	kg CO ₂ ekv/kg		2,50	kg CO ₂ ekv/kg	
Konstruksjonsstål, valseprofil	2,08	kg CO ₂ ekv/kg		0,60	kg CO ₂ ekv/kg	
Limtre	43,4	kg CO ₂ e/m ³		Ingen endring fra referanse		
Linoleum	2,89	kg CO ₂ e/m ²		Ingen endring fra referanse		
Massivtre	172	kg CO ₂ e/m ³		Ingen endring fra referanse		
Mineralull, innervegg	35,0	kg CO ₂ ekv/m ³	<i>Snitt av Paroc og Rockwool</i>	12,9	kg CO ₂ ekv/m ³	
Mineralull, trykkfast tak	222	kg CO ₂ ekv/m ³	<i>Steinull, 80 kg/m³</i>	Ingen endring fra referanse		
Mineralull, yttervegg	50,0	kg CO ₂ ekv/m ³	<i>Stenull, 50 kg/m³</i>	14,6	kg CO ₂ ekv/m ³	
Mørtel, tegl	17,3	kg CO ₂ e/m ²		1,99	kg CO ₂ e/m ²	<i>Overgang til trekledning</i>
OSB plate	5,04	kg CO ₂ e/m ²		1,10	kg CO ₂ e/m ²	<i>25mm massivtre</i>
Parkett	9,18	kg CO ₂ e/m ²		2,89	kg CO ₂ e/m ²	<i>Overgang til linoleum</i>
Pukk	3,13E-03	kg CO ₂ e/kg		Ingen endring fra referanse		
Sponplater, 667 kg/m ³	4,31	kg CO ₂ e/m ³	<i>Antar 22 mm tykkelse</i>	1,10	kg CO ₂ e/m ³	<i>25mm massivtre</i>
Takstein	11,1	kg CO ₂ e/m ²		2,08	kg CO ₂ e/m ²	<i>Overgang til tretak</i>
Tegl	31,1	kg CO ₂ e/m ²		1,99	kg CO ₂ e/m ²	<i>Overgang til trekledning</i>
Teppe	9,08	kg CO ₂ e/m ²		3,55	kg CO ₂ e/m ²	

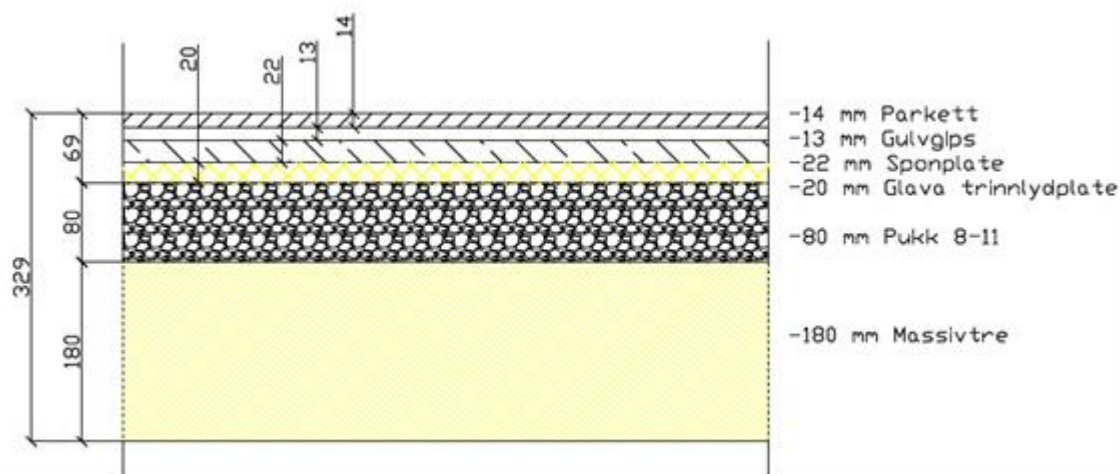
Trinnlydsplate, glassull, 20 mm	1,76	kg CO ₂ e/m ²		Ingen endring fra referanse		
Utvendig GU-X	1,71	kg CO ₂ ekv/m ²		Ingen endring fra referanse		
Utvendig kledning, maling	0,61	kg CO ₂ e/m ²		0	kg CO ₂ e/m ²	<i>Utvendig maling utgår</i>
Utvendig kledning, tre	5,42	kg CO ₂ e/m ²	<i>Antar 21 mm tykkelse</i>	1,99	kg CO ₂ e/m ²	
Vindu	1,99	kg CO ₂ e/kg		Ingen endring fra referanse		
Vinyl	6,75	kg CO ₂ e/m ²		5,29	kg CO ₂ e/m ²	

VEDLEGG 5: DETALJERT BESKRIVELSE AV KONTORBYGGMODELL I BETONG OG TRE

Kontorbyggmodellen i stål og betong er bygget opp med søyler (HUP) og bjelker av stål (IPE, HEB og HSQ), avstivende vegger i plasstøpt betong (200 mm) og med hulldekker i etasjeskillere og tak (HD 265). Etasjeskillerne er modellert med 30 mm avretting.

Kontorbyggmodellen i tre er bygget opp med søyler og bjelker i all hovedsak av limtre. Det imidlertid lagt inn 6 hattebjelker i stål i hver etasje for å oppnå enklere føringsveier for ventilasjonskanaler.

Avstivende vegger er i massivtre (CLT, 200 mm) og det er massivtre i etasjeskillere og tak, på henholdsvis 240 mm og 180 mm tykkelse. Øvrig oppbygning av etasjeskillere er som vist i figuren under:



Begge modellene har ringmur, stripefundamenter, punktfundamenter og gulv på grunn av plasstøpt betong. Gulvet og fundamenter er isolert med EPS. Taket på begge bygg er isolert med en blanding av steinull og EPS. Taket på trebygget har noe redusert isolasjonstykkelse siden massivtreet har en lavere varmeledningsevne i forhold til betong.

I trebygget er det for dekker av massivtre forutsatt en kortere spennvidde og derfor har dette bygget to søylerader internt i bygget. Modellen med stål og betong har én søylerad i midten.

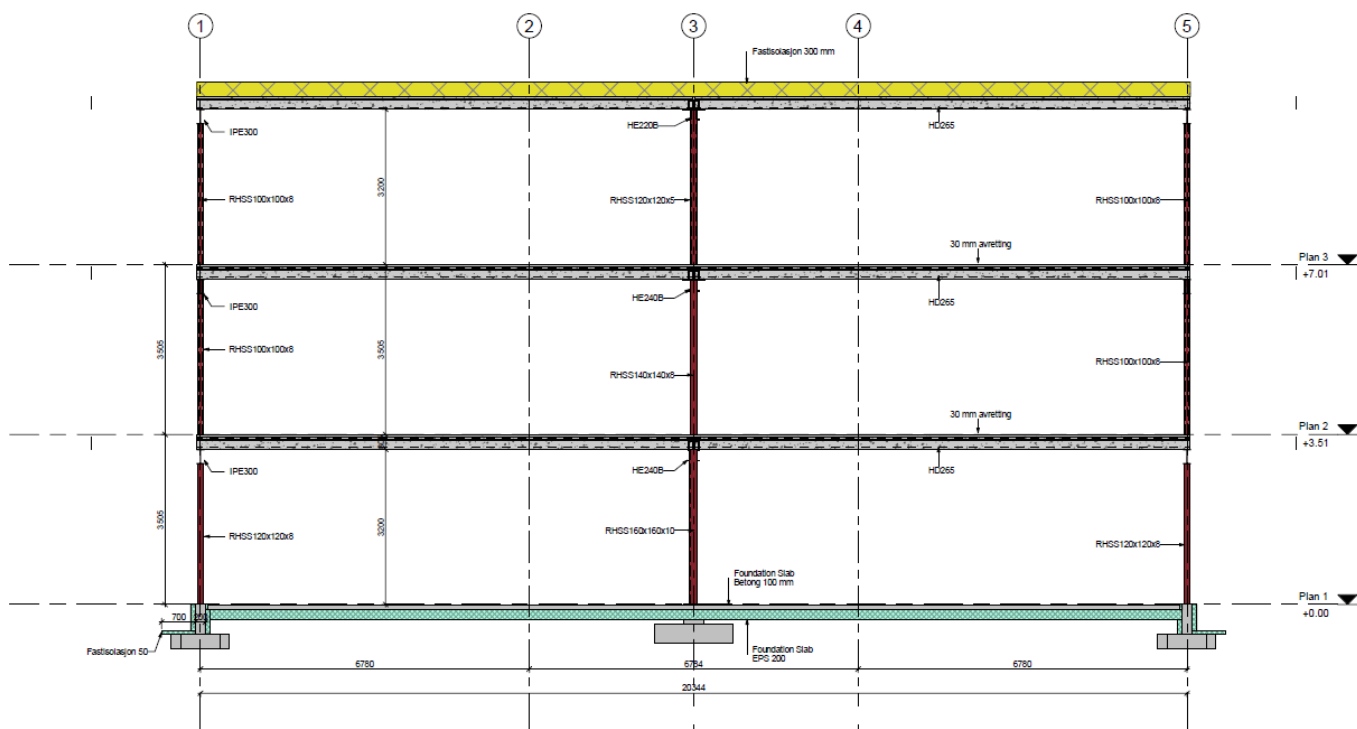
Global stabilitet er vurdert på et overordnet nivå. Det medtatt vegger i et omfang som antas å være tilstrekkelig med tanke på avstivning. Antall meter med avstivende skiver er likt for de to byggene.

De to modellene er ment som et eksempel på to alternative måter å konstruere bæresystemet på i ett konkret bygg. Øvelsen er gjort for å illustrere hvordan utslipp varierer med material- og løsningsvalg. Vi har i de to modellene etterstrebet å velge det vi anser som vanlige løsninger, men det vil naturligvis finnes mange andre løsninger som også vil kunne gi et funksjonelt bæresystem.

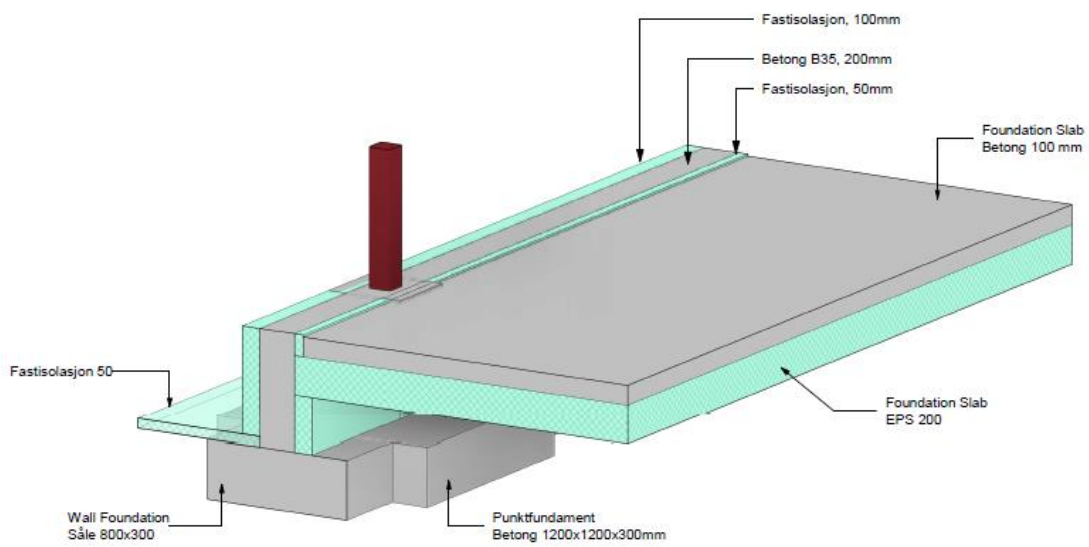
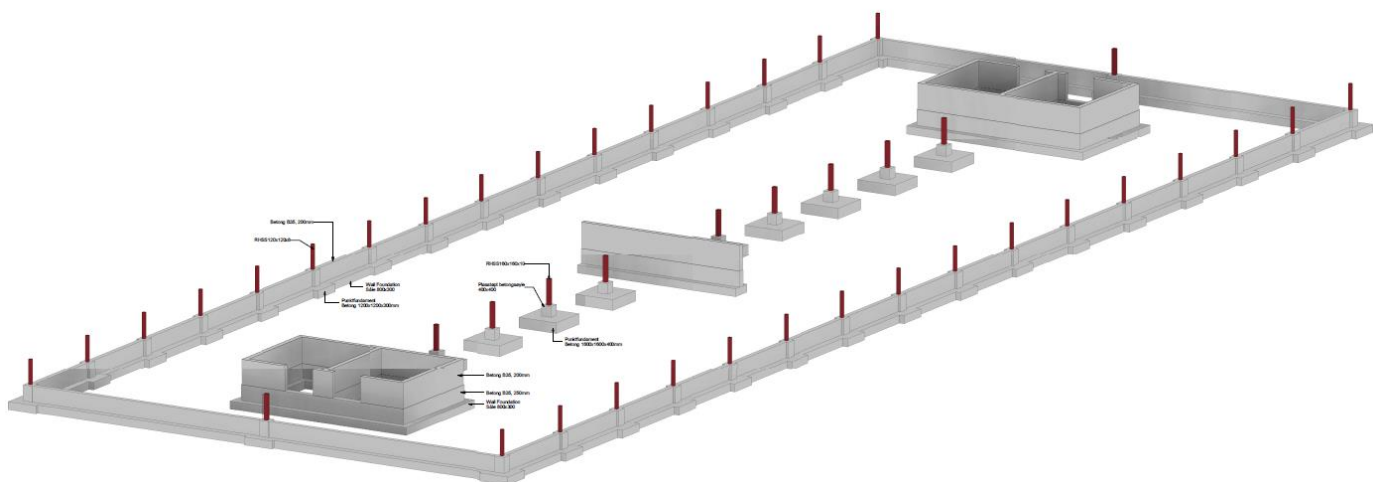
Illustrasjoner av kontorbyggmodell med bærekonstruksjon i stål/betong:



3D - Snitt



Snitt B
1 : 50



3D - Fundamentplan - Detalj

Materialmengder for kontorbyggmodell med bærekonstruksjon i stål/betong:

Bjelker

Type	Materiale	Cut Length	Antall	Material: Volume
HE220B	Stål - S355	3840	1	0.03 m³
HE220B	Stål - S355		9	0.32 m³
HE240B	Stål - S355		20	0.82 m³
IPE300	Stål - S355		60	1.28 m³
IPE300	Stål - S355	60344	2	0.65 m³
THP 185x5 - 200x20 - 460x10	Stål - S355		9	0.36 m³

Bjelker - Sum

Materiale	Material: Volume
Stål - S355	3.46 m³

Fundamenter

Type	Materiale	Antall	Material: Area	Volume
Betong 100 mm	Betong - B35	1	1204 m²	120.37 m³
Betong 1200x1200x300mm	Betong - B35	34	147 m²	14.69 m³
Betong 1600x1600x400mm	Betong - B35	9	69 m²	9.22 m³
EPS 200	EPS	1	1212 m²	242.31 m³
Såle 800x300	Betong - B35	45	410 m²	42.38 m³

Fundamenter - Sum

Materiale	Volume
Betong - B35	186.66 m³
EPS	242.31 m³

Gulv på grunn / Dekker

Type	Materiale	Antall	Areal	Volum	Etasje
30 mm avretting	Betong - B30	2	2354 m²	70.63 m³	
Fastisolasjon 50	EPS	1	115 m²	5.77 m³	Plan 1
Fastisolasjon 300 mm	Fastisolasjon	1	1236 m²	370.87 m³	Takplan

Gulv på grunn / Dekker - Sum

Materiale	Volum
Betong - B30	70.63 m³
EPS	5.77 m³
Fastisolasjon	370.87 m³

Hulldekker

Type	Materiale	Antall	Areal	Etasje
HD-265	HD1200mm	1	1177 m²	Plan 2
HD-265	HD1200mm	1	1177 m²	Plan 3
HD-265	HD1200mm	1	1236 m²	Takplan

Søyler

Type	Materiale	Lengde	Antall	Material: Volume	Etasje
400x400	Betong - B35		43	3.68 m³	Plan 1
				3.68 m³	
RHSS100x100x8	Stål - S355	6.709 m	32	0.60 m³	Plan 2
				0.60 m³	
RHSS120x120x5	Stål - S355	3.200 m	11	0.08 m³	Plan 3
				0.08 m³	
RHSS120x120x8	Stål - S355	2.900 m	32	0.32 m³	Plan 1
				0.32 m³	
RHSS140x140x8	Stål - S355	3.505 m	11	0.16 m³	Plan 2
				0.16 m³	
RHSS160x160x10	Stål - S355	3.505 m	11	0.22 m³	Plan 1
				0.22 m³	

Søyler - Sum

Materiale	Volum
Betong - B35	3.68 m³
Stål - S355	1.37 m³

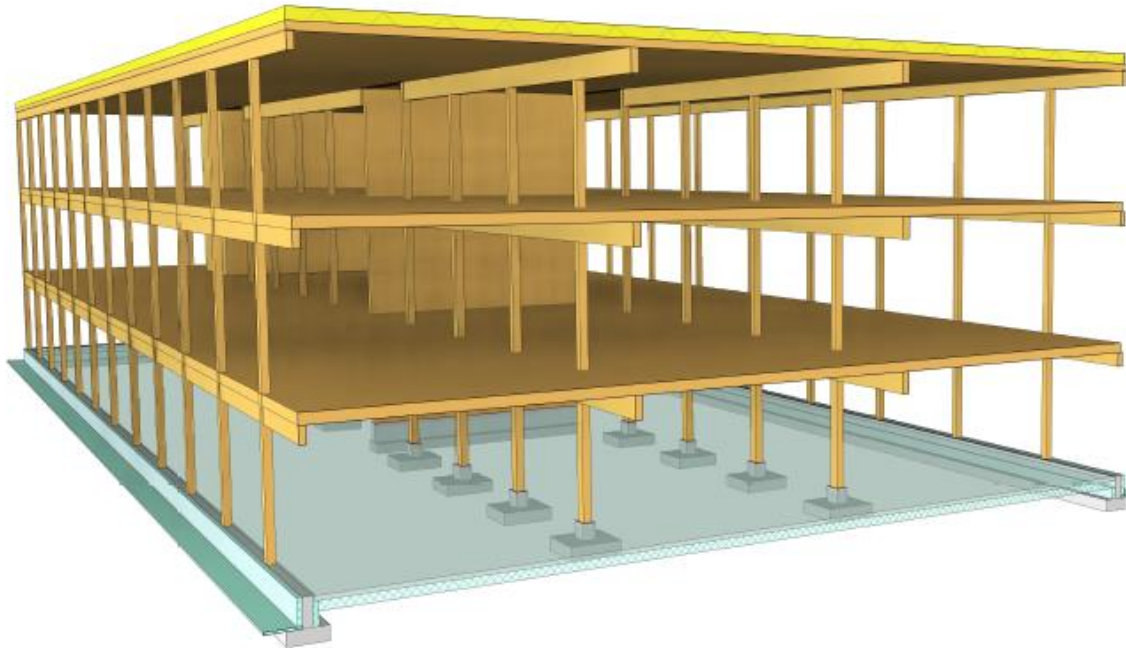
Vegger

Type	Materiale	Lengde	Areal	Volum
Betong B35, 200mm	Betong - B35		646 m²	129.11 m³
			646 m²	129.11 m³
Betong B35, 250mm	Betong - B35		34 m²	8.61 m³
			34 m²	8.61 m³
Fastisolasjon, 50mm	EPS		17 m²	0.86 m³
			17 m²	0.86 m³
Fastisolasjon, 100mm	EPS		136 m²	13.60 m³
			136 m²	13.60 m³

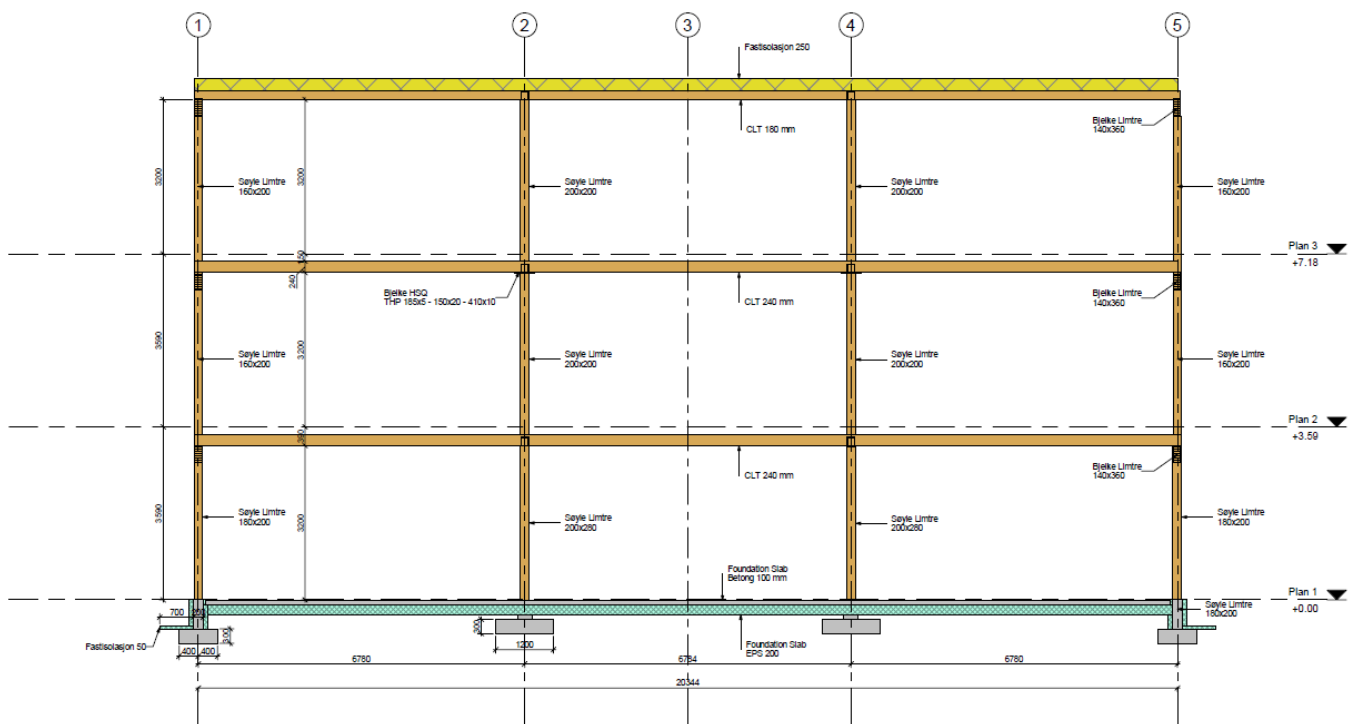
Vegger - Sum

Materiale	Volum
Betong - B35	137.72 m³
EPS	14.46 m³

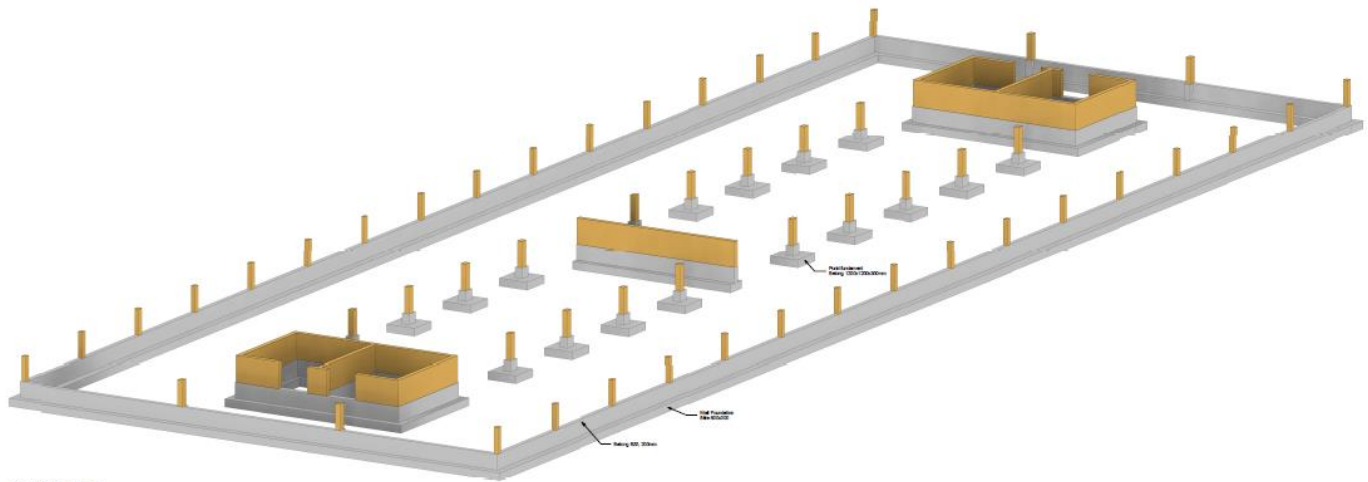
Illustrasjoner av kontorbyggmodell med bærekonstruksjon i tre:



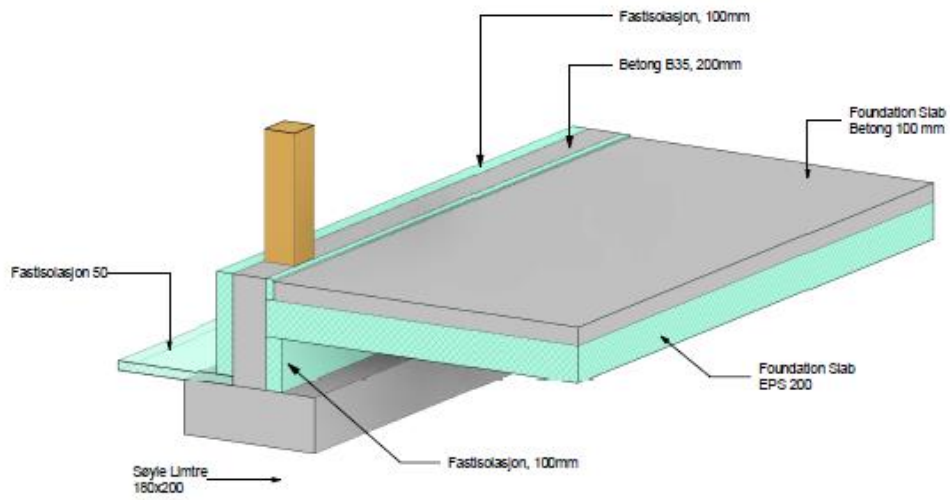
3D - Snitt



Snitt B
1 : 50



3D - Fundamentplan



3D - Fundamentplan - Detalj

Materialmengder for kontorbyggmodell med bærekonstruksjon i tre:

Bjelker

Type	Materiale	Cut Length	Antall	Material: Volume
140x360	Tre - Limtre	3.80 m	52	9.959 m ³
140x360	Tre - Limtre	3.89 m	6	1.178 m ³
140x360	Tre - Limtre	4.07 m	2	0.410 m ³
140x360	Tre - Limtre	60.39 m	2	6.087 m ³
180x520	Tre - Limtre	3.90 m	1	0.365 m ³
180x520	Tre - Limtre		2	0.767 m ³
180x520	Tre - Limtre	4.14 m	2	0.774 m ³
180x520	Tre - Limtre	4.17 m	7	2.732 m ³
180x520	Tre - Limtre	15.80 m	8	11.831 m ³
180x520	Tre - Limtre	15.90 m	2	2.976 m ³
180x520	Tre - Limtre	16.00 m	2	2.995 m ³
THP 185x5 - 150x20 - 410x10	Stål - S355	3.77 m	7	0.236 m ³
THP 185x5 - 150x20 - 410x10	Stål - S355		11	0.386 m ³

Bjelker - Sum

Materiale	Material: Volume
Stål - S355	0.62 m ³
Tre - Limtre	40.08 m ³

Fundamenter

Type	Materiale	Antall	Material: Area	Volume
Betong 100 mm	Betong - B35	1	1204 m ²	120.37 m ³
Betong 1200x1200x300mm	Betong - B35	18	78 m ²	7.78 m ³
EPS 200	EPS	1	1212 m ²	242.31 m ³
Såle 800x300	Betong - B35	15	486 m ²	52.25 m ³

Fundamenter - Sum

Materiale	Volume
Betong - B35	180.40 m ³
EPS	242.31 m ³

Gulv på grunn / Dekker

Type	Materiale	Antall	Areal	Volum	Etasje
CLT 180 mm	Massivtre	1	1236 m ²	222.50 m ³	Takplan
CLT 240 mm	Massivtre	2	2347 m ²	563.21 m ³	
Fastisolasjon 50	EPS	1	115 m ²	5.77 m ³	Plan 1
Fastisolasjon 250	Fastisolasjon	1	1232 m ²	308.04 m ³	Takplan

Gulv på grunn / Dekk...

Materiale	Volum
EPS	5.77 m ³
Fastisolasjon	308.04 m ³
Massivtre	785.70 m ³

Søyler

Type	Materiale	Lengde	Antall	Volum	Etasje
160x200	Tre - Limtre - GL36c	6.600 m	32	6.76 m ³	Plan 2
				6.76 m ³	
180x200	Tre - Limtre - GL36c	3.440 m	32	3.96 m ³	Plan 1
				3.96 m ³	
200x200	Tre - Limtre - GL36c	3.070 m	29	3.56 m ³	
200x200	Tre - Limtre - GL36c	3.110 m	3	0.37 m ³	
200x200	Tre - Limtre - GL36c	3.575 m	5	0.72 m ³	Plan 2
200x200	Tre - Limtre - GL36c	3.579 m	6	0.80 m ³	Plan 3
200x200	Tre - Limtre - GL36c	3.590 m	1	0.14 m ³	Plan 2
				5.60 m ³	
200x280	Tre - Limtre - GL36c	2.680 m	4	0.60 m ³	Plan 1
200x280	Tre - Limtre - GL36c	2.690 m	12	1.81 m ³	Plan 1
200x280	Tre - Limtre - GL36c	3.195 m	5	0.88 m ³	Plan 1
200x280	Tre - Limtre - GL36c	3.210 m	1	0.18 m ³	Plan 1
				3.47 m ³	
250x375	Betong - B35	0.600 m	4	0.08 m ³	Plan 1
				0.08 m ³	
300x450	Betong - B35	0.390 m	18	0.95 m ³	Plan 1
				0.95 m ³	

Søyler - Sum

Materiale	Volum
Betong - B35	1.03 m ³
Tre - Limtre - GL36c	19.79 m ³

Vegger

Type	Materiale	Lengde	Areal	Volum
Betong B35, 200mm	Betong - B35		97 m ²	19.37 m ³
			97 m ²	19.37 m ³
Betong B35, 250mm	Betong - B35		34 m ²	8.61 m ³
			34 m ²	8.61 m ³
CLT 200 mm	Massivtre		566 m ²	113.20 m ³
			566 m ²	113.20 m ³
Fastisolasjon, 50mm	EPS		18 m ²	0.88 m ³
			18 m ²	0.88 m ³
Fastisolasjon, 100mm	EPS		136 m ²	13.59 m ³
			136 m ²	13.59 m ³

Vegger - Sum

Materiale	Volum
Betong - B35	27.98 m ³
EPS	14.48 m ³
Massivtre	113.20 m ³