

FutureBuilt Zero - Materialer og Energi

Metodebeskrivelse

Eirik Resch, Inger Andresen, Eivind Selvig, Marianne Wiik,
Lars Gunnar Tellnes, Stein Stoknes

Versjon 2
Juni 2021

Sammendrag

FutureBuilt Zero introduserer kriterier for netto klimagassutslipp over hele byggets levetid. Kriteriene strammes gradvis inn over tid for å bidra til at Norge når sine klimamål. FutureBuilt ønsker insentiver for valg av tiltak som vil føre til lavest klimapåvirkning fra alle aspektene ved bygninger. Det introduseres derfor en helhetlig metode som også tar hensyn til tidspunktene for utslipp i byggets levetid, og hvordan det påvirker bidraget til global oppvarming. Både direkte og indirekte utslipp inkluderes; energibruk i drift, materialfremstilling og transport av materialer til byggeplass, utslipp fra byggeplass, avfallshåndtering (forbrenning) gjennom levetiden. I tillegg inkluderes effekter av biogent karbonopptak, karbonatisering av sement, gevinster ved potensial for ombrukbarhet og eksportert energi. I dette dokumentet beskrives metoden, det faglige grunnlaget samt prinsippene og logikken som ligger bak de valg som er tatt.

Innhold

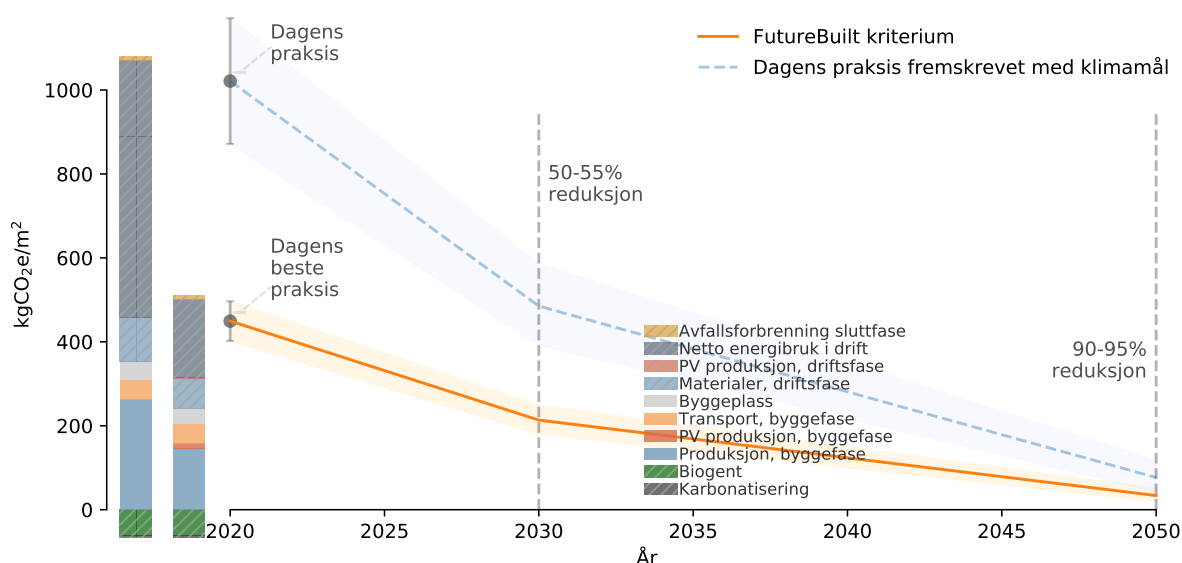
1	Kriterienivå og hovedtrekkene i metoden	2
1.1	Kriterienivå	2
1.2	Metodeomfang og systemgrenser	3
1.3	Beregningsmetode	4
2	Tidspunkt for utslipp og teknologiutvikling	5
2.1	Tidsvektning	6
2.2	Teknologivektning	7
3	Energibruk i drift	9
3.1	Elektrisitet	9
3.2	Fjernvarme	9
3.3	Bioenergi	10
4	Utslipp fra materialbruk	11
4.1	Produksjon og transport	11
4.2	Byggeplass	12
4.3	Avfallsforbrenning	12
5	Karbonopptak	13
5.1	Biogent karbon	13
5.2	Karbonatisering av sement	16
6	Avvergede utslipp	17
6.1	Ombruk	17
6.2	Ombrukbarhet	18
6.3	Eksportert energi	18
A	Vedlegg	20
A.1	Kriterier	20
A.2	Fastsettelse av kriterier	21
A.3	Sammenlikning med NS 3720	22

1 Kriterienivå og hovedtrekkene i metoden

1.1 Kriterienivå

FutureBuilt Zero angir kriterier for maksimale utslipp for en bygnings bidrag til global oppvarming gjennom levetiden, og inkluderer potensielle utslippsgevinster av karbonbinding, ombruk av materialer, materialgjenvinning og eksport av energi. Kriteriene vektlegger utslippsreduksjoner tidlig i byggets levetid, men gir også incentiver til å forebygge framtidige utslipp ved å inkludere potensielle gevinster etter endt levetid for bygningen.

Dagens klimagassutslipp må reduseres raskt for å nå de nasjonale klimamålene. Figur 1 viser klimagassutslipp for bygninger i dag, 'dagens praksis' og 'dagens beste praksis', samt fremskrevet med reduksjon i henhold til de nasjonale klimamålene. For eksempel må utslippene fra en bygning som bygges i 2030 være minimum 50-55 prosent lavere enn dagens praksis for å være i overensstemmelse med de nasjonale klimamålene. Startpunktet for FutureBuilt kriteriet er

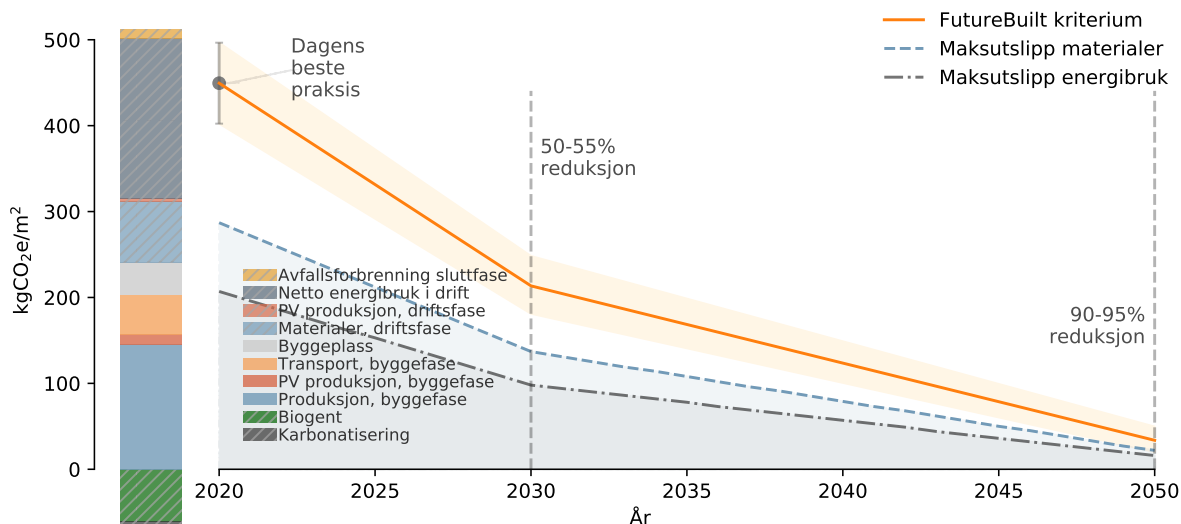


Figur 1: FutureBuilt hovedkriterium for hvert år frem mot 2050. Klimagassutslipp for 'dagens praksis' og 'dagens beste praksis', med fremskrivninger basert på klimamål. For startverdiene vises også et 95% usikkerhetsintervall, som er fremskrevet på lik måte. I søylene er fremtidige utslipp og opptak skravert.

'dagens beste praksis'¹, hvor utslippene er basert på et nesten-nullenergibygg [1], klimagassutslipp fra materialbruk tilsvare erfaringstall fra de 25% beste innsamlede eksempelbygg [2, 3], og som har egenproduksjon av energi (elektrisitet) fra solceller på et areal som tilsvare 10% av oppvarmet bruksareal (BRA). Hovedkriteriet strammes inn hvert år, slik at det er 50-55% lavere i 2030 og 90-95% lavere i 2050 sammenlignet med 2020-nivået for 'dagens beste praksis'. Kriteriet gjelder per oppvarmet bruksareal (BRA)² over en levetid på 60 år. Kriteriene gjelder for året for planlagt ferdigstillelse av bygningen eller året det settes i drift. For å sikre en viss fleksibilitet, men også at det gjøres tiltak innenfor materialer og energi, stilles separate kriterier til maksimale utslipp fra energibruk i drift og materialer i bygningen. Maksimale utslipp for materialer inkluderer alle utslippskilder utenom energibruk i drift. Figur 2 viser kriterienivåene samlet og separat for materialer og energi. Tallverdier er presentert i vedlegg, tabell A1.

¹Se vedlegg A.2 for detaljer rundt fastsetting av startverdier på kurvene.

²Det er ikke mulighet for å ta med parkeringskjeller i BRA, uavhengig av om den er varmet opp.



Figur 2: Klimagassutslipp for ‘dagens beste praksis’, og fremskrivninger basert på klimamål. Dagens beste praksis er utgangspunktet for FutureBuilt Zero hovedkriteriet, som gradvis blir strammet inn. For startverdien vises også et 95% usikkerhetsintervall, som er fremskrevet på lik måte. I tillegg vises separate kriterier for materialbruk og for energibruk i drift. I søylen er fremtidige utslipp og opptak skravert.

1.2 Metodeomfang og systemgrenser

Hovedkriteriet omfatter klimagassutslipp relatert til energibruk i drift (B_6)³, produksjon av bygningsmaterialer (A_{1-3}), transport av materialer til byggeplass (A_4), energibruk på byggeplass og materialsvinn (produksjon, transport) på byggeplass (A_5), og produksjon og transport av materialer ved fremtidige utskiftninger (B_{2-5})⁴ (kap. 4.1-4.2). Utslipp fra avfallsforbrenning av kapp og svinn, utskiftninger, og avfall i slutfase er inkludert i A_5 , B_{2-5} , og C_3 (kap. 4.3).

I tillegg kommer avvergede og negative utslipp til fratrekk i regnskapet, og kan kompensere for forårsakede klimagassutslipp: De negative utslippene inkluderer opptak av karbon i ny trevekst i byggets levetid og tilordnes modulen B_1 . Forutsetningen er bruk av materialer fra bærekraftig høstet trevirke (kap. 5.1). Negative utslipp inkluderer også binding av karbon i sementprodukter i byggets levetid som også tilordnes modulen B_1 (kap. 5.2). Ombrukte produkter gis en fast reduksjon av klimagassutslipp sammenliknet med produksjon av tilsvarende nye materialer, modul A_{1-3} (kap. 6.1). Det gis også et fratrekk, en utslippsreduksjon, hvis det dokumenteres tilrettelegging for fremtidig ombruk av bygningsmaterialer ($D_{\text{ombrukbarhet}}$). Begrunnelsen for dette er at ombrukbarhet vil avverge forbrenning ved riving/demontering og vil substituere fremtidig produksjon av tilsvarende nye materialer/bygningsdeler (kap. 6.2). Det er videre gitt utslippsgevinst for eksport av lokalt produsert energi som erstatter tilsvarende mengde energi fra energinettet (D_{energi}), dvs. det forutsettes at eksportert energi avverger utslipp fra annen mer forurensende energiproduksjon (kap. 6.3). Kriterier for utslipp fra transport i drift (B_8) er gitt i et separat dokument, FutureBuilt Zero-Transport.

Bygningsmaterialene som skal tas med i regnskapet for kriteriet er de som inngår i bygningsdelene 22-29 (selve bygget), og 49 (energiproduserende systemer), og følger dermed ‘NS 3720 basis uten lokalisering’. Dette inkluderer materialbruk til faktisk antall kjelleretasjer for prosjektet⁵. Merk også at bunnplate skal med (bygningssel ‘252 - Gulv på grunn’). Materialbruk til tomtebearbeidelse (bygningssdel ‘21 - Grunn og fundamenter’) inngår ikke i kriteriet, men er

³Klimagassutslippene deles inn i livsløpsmodulene A-D, og nummererte undermoduler, etter standarden NS-EN 15978 [4], som også brukes i NS 3720 ‘Metode for klimagassberegninger for bygninger’ [5].

⁴I praksis er det vanskelig å skille B_2 , B_3 , B_4 , og B_5 , disse kan derfor rapporteres samlet. Ofte betegnes denne modulen som kun B_4 ; her inkluderes også B_2 , B_3 , og B_5 i betegnelsen.

⁵Ved beregninger av eksempelbygg for fastsettelse av kriterieverdier er det medregnet én etasje kjeller.

omfanget av et separat reduksjonskrav, se 1.2.1.

Utslipp fra resterende bygningsdeler skal dokumenteres, men er ikke inkludert i kriteriet grunnet manglende erfaringstall. Dokumentasjonskravet gjelder også minimum fem tekniske komponenter. Flere bygningsdeler vil bli inkludert og kriteriet justert etter hvert som erfaringstall foreligger.

Byggets levetid er satt til 60 år. Det tas i metoden hensyn til en forventet teknologiutvikling, som vil føre til lavere utslipp fra fremtidig produksjon, transport og avfallsforbrenning av materialer, samt fra fremtidig energiproduksjon og bruk i drift. Metoden inkluderer en tidsvektning av alle utslippene og opptakene. Fremtidige utslipp tillegges en lavere vekt - klimapåvirkning - enn utslipp i dag (ved byggetidspunkt). Begrunnelsen for dette er at tidspunktet for utslipp og opptak er essensielt for å nå klimamålene som er fastsatt for 2030 og 2050 gjennom internasjonale, europeiske og norske klimapolitiske avtaler.

1.2.1 Utslippsreduksjon for grunn og fundamenter

I kriterieverdiene for bygningen inngår ikke bygningsdel '21 - Grunn og fundamenter'. Årsaken er at ulike tomter kan ha svært stor variasjon i behovet for stabilisering av grunnen og omfanget av fundamentering. Systemgrensen for kriteriene er derfor satt slik at de er uavhengig av tomtens beskaffenhet.

Reduksjonskrav for utslipp fra bygningsdel '21 - Grunn og fundamenter':

FutureBuilt Zero prosjekter skal ha 50 prosent lavere utslipp enn beregnet referanseverdi.

Referanseverdien beregnes basert på de stedsspesifikke/tomtespesifikke grunnforhold og stabiliseringsbehov samt et normalt/standard materialvalg. Avgjørende faktorer er dybde med løsmasser over fjell, og type løsmasser (sand, myr, kvikkleire, etc.). Hva som anses som standard materialvalg styres normalt av egenskaper som svarer til behovet (funksjon) til lavest mulig pris. Prosjektet skal selv beregne og dokumentere referanseverdien og oppnådd reduksjon. Tiltaksløsningene kan være en kombinasjon av redusert materialmengde og valg av materialtype, produkt og produsent.

1.3 Beregningsmetode

Metoden følger i hovedsak NS 3720 'Metode for klimagassberegninger for bygninger'. NS 3720 angir mulige omfang for beregningene, men gir samtidig fleksibilitet til å avgrense systemgrensene til å samsvare med formålet for beregningen, og gir rom for vurdering av ulike scenarier. FutureBuilt Zero er som sådan et spesifikt scenario under NS 3720, men introduserer flere metodiske tillegg. I hovedsak handler tilleggene om å vektlegge tidspunktet for når utslipp og opptak skjer, inkludere midlertidig lagring av biogent karbon, og inkludere potensielle gevinster både i driftsfasen men også etter endt levetid. For en gjennomgang av overenstemmelse med NS 3720, se kapittel A.3 Den kontinuerlige teknologiutvikling som pågår blir hensyntatt ved å introdusere *teknologifaktorer*. Det er også introdusert et hensyn om at utslippsreduksjonene må skje innenfor et gitt tidsrom for å nå klimamålene. Det er gjort ved bruk av *tidsfaktorer* som vektet utslipp og opptak som skjer i fremtid, lavere enn det som skjer i dag. Utslipp, positive og negative, fra karbonopptak i skog ved bruk av trevirke, karbonopptak i sementprodukter gjennom karbonatisering, avfallsforbrenning, ombruk og ombrukbarhet, er alle implementert ved bruk av faktorer for å forenkle beregningene. I tillegg er utslippsintensiteter (utslippsfaktorer) for energibruk i drift (elektrisitet og avfallsforbrenning) oppgitt for alle fremtidige år.

Samlet sett gir dette et mer komplett budsjett/regnskap som både gir incentiver til løsninger og tiltak med utslippsvirkning i dag, på kort sikt, men også løsninger som sikrer vedvarende og langsiktige klimagassreduksjoner.

Følgende likning viser hvilke utslippsbærende poster som er med i regnskapet, og hvilke deler som teknologivektes og tidsvektes. Teknologifaktorer og tidsfaktorer er beskrevet i kapittel 2, og oppsummert i tabell 2 sammen med totalfaktorene. Beregning av karbonopptak er beskrevet i kapittel 5, avvergede utslipp i kapittel 6, og avfallsforbrenning i kapittel 4.3.

$$E_{\text{tot}} = E_{A_{1-3}} + E_{A_4} + E_{A_5} + \underbrace{E_{B_{2-5}} + E_{B_6} + E_{D_{\text{energi}}} + E_{B,C_{\text{forbr.}}} + E_{D_{\text{ombruk}}}}_{\text{teknologivektes}} + E_{B_{\text{biog.}}} + E_{B_{\text{karb.}}} \quad (1)$$

tidsvektes

Klimagassberegningene utføres i praksis for hvert enkelt material. Beregningene gjøres på normal måte for produksjons- og transportutslipp, som deretter vektet med *totalfaktorene* gitt i tabell 1. Utslipp fra ombrukte materialer/bygningsdeler og fra tilrettelegging for ombrukbarhet beregnes også ut fra produksjonsutslippene ved å multipliseres med estimert utslippsreduksjon. Karbonopptak og avfallsforbrenning beregnes ved å gange materialets vekt med totalfaktorene. Utslipp fra energibruk på byggeplass og bygget i drift beregnes fra utslippsfaktorer for energivarer som benyttes, i henholdsvis byggeåret og gjennomsnittet over driftsårene. Totalfaktorene samler flere viktige effekter i *ett tall*, og inneholder både teknologiutvikling, tidsvekting, og utslipps- og opptaksfaktorer.

Tabell 1: FutureBuilt Zero totalfaktorer til bruk i beregninger.

Materialer	Byggefase (A ₁₋₅)	Bruksfase (B ₁₋₆)	Slutfase (C ₃)	Annet (D)	Enhet	Ganges med produktets
Produksjon og transport	1	0.57	–	–	–	Utslipp [kgCO ₂ e]
Produksjon, PV	1	0.25	–	–	–	Utslipp [kgCO ₂ e]
Ombruk	0.2	–	–	–	–	Utslipp i A ₁₋₃ [kgCO ₂ e]
Ombrukbarhet	–	–	–	0.1	–	Utslipp i A ₁₋₃ [kgCO ₂ e]
Karbonopptak i sement	–	-0.06	–	–	kgCO ₂ /kg	Vekt [kg] · Sement [%]
Karbonopptak i skog*	–	-1.27/-0.71	–	–	kgCO ₂ /kg	Vekt [kg] · Tre [%]
Avfallsforbrenning, tre	0.92	0.52	0.24	–	kgCO ₂ /kg	Vekt [kg] · Tre [%] · Forbr.[%]
Avfallsforbrenning, fossilt	1.47	0.84	0.39	–	kgCO ₂ /kg	Vekt [kg] · Fossilt[%]·Forbr.[%]
						Forbrenning [%] er gitt i tabell 6.
Energi						<i>Ganges med bygningens</i>
Elektrisitet	tabell 3	tabell 3	–	tabell 3	kgCO ₂ e/kWh	Energi, levert/eksportert [kWh]
Fjernvarme, avfall	tabell 4	tabell 4	–	–	kgCO ₂ e/kWh	Energi, levert [kWh]

*Begrensning: Biogent karbonopptak kan maksimalt kompensere for produksjon og avfallshåndtering, ikke for transport og materialsvinn. Opptaksfaktor -1.27 gjelder for trebruk i byggefase, mens -0.71 gjelder for trebruk under utskiftninger.

2 Tidspunkt for utslipp og teknologiutvikling

For å oppnå de nasjonale klimamålene om å begrense den globale oppvarmingen vil tidspunktet for utslipp og opptak av klimagasser være avgjørende. Det vil være fordelaktig å utsette utslipp så lenge som mulig. Årsaken er at utslipp som skjer i dag vil innen 2050 ha lengre tid i atmosfæren enn utslipp som skjer lengre frem i tid. Lenger tid i atmosfæren øker oppvarmingsbidraget. Alle utslipp og opptak vektet derfor etter hvor langt frem i tid de skjer.

I løpet av den lange levetiden til bygninger er det en rekke forhold og prosesser som har innflytelse på byggets klimapåvirkning, og følgende er vurdert som sentrale og er hensyntatt:

- Teknologiutvikling vil føre til lavere utslipp fra produksjon og transport av materialer som skiftes ut i fremtiden.
- Teknologiutvikling vil også føre til lavere utslippsintensitet fra elektrisitet, både fra nett og egenprodusert, så vel som fra annen energi som anvendes i bygget.

- Anvendelse av treprodukter fører til tilvekst av ny skog og dermed karbonopptak gjennom fotosyntese, og vil samtidig føre til midlertidig karbonlagring i bygningens treprodukter.
- Både tre og plast inneholder karbon, og utslipp fra forbrenning av disse produktene blir utsatt så lenge de er i bruk i bygningen. Det vil også være mulig å forhindre at utslipp fra avfallsforbrenning slippes ut i atmosfæren etter hvert som teknologi for karbonfangst og lagring utvikles.
- Eksponert betong fører til opptak og binding av karbon.
- Tilrettelegging for ombrukbarhet kan føre til at materialer i bygningen kan erstatte fremtidig produksjon av tilsvarende produkter.

Disse prosessene skjer gjennom hele levetiden til bygget, og som tidligere understreket er tidspunktet for utslipp av betydning. I FutureBuilt Zero introduseres derfor en rekke faktorer for å justere de beregningsresultatene. Metoden er forenklet for å redusere antall regneoperasjoner og gjøre anvendelsen så enkel som mulig. Tabell 2 viser utslippsbærende poster med tilhørende faktorer for teknologi- og tidsvektning. Det er kun totalfaktorene som skal brukes for å justere klimagassberegningene. Prinsippet, grunnlaget, og logikken bak tids- og teknologifaktorene beskrives i de neste delkapitlene.

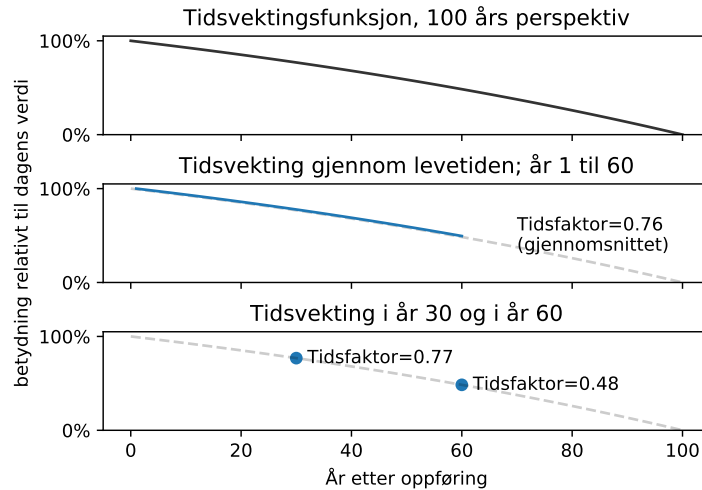
Tabell 2: Teknologi og tidsfaktorer for alle utslippsposter. Det er kun totalfaktor som skal brukes i beregninger (samme som i tabell 1).

	Modul	År for utslipp	Teknologi	Tid	Totalfaktor	Enhet
Oppføring av bygg	A ₁₋₅	0	1	1	1	–
Utskiftning av materialer	B _{2-5,22-29}	1-60	0.75	0.76	0.57	–
Utskiftning av PV	B _{2-5,49}	30	0.33	0.77	0.25	–
Ombruk	A ₁₋₃	0	1	1	0.2	–
Ombrukbarhet	D _{ombrukbarhet}	1-60	0.75	0.76	-0.1	–
Karbonopptak i sement	B ₁	1-60	1	0.83	-0.06	kgCO ₂ /kg
Karbonopptak i skog (trebruk byggefase)	B ₁	1-60	1	0.83	-1.27	kgCO ₂ /kg
Karbonopptak i skog (trebruk bruksfase)	B ₁	30-60	1	0.65	-0.71	kgCO ₂ /kg
Avfallsforbrenning, tre (byggefase)	A ₅	0	1	1	0.92	kgCO ₂ /kg
Avfallsforbrenning, tre (bruksfase)	B ₂₋₅	1-60	0.75	0.76	0.52	kgCO ₂ /kg
Avfallsforbrenning, tre (slutfase)	C ₃	60	0.55	0.48	0.24	kgCO ₂ /kg
Avfallsforbrenning, fossil (byggefase)	A ₅	0	1	1	1.47	kgCO ₂ /kg
Avfallsforbrenning, fossil (bruksfase)	B ₂₋₅	1-60	0.75	0.76	0.84	kgCO ₂ /kg
Avfallsforbrenning, fossil (slutfase)	C ₃	60	0.55	0.48	0.39	kgCO ₂ /kg
Energibruk i drift	B ₆ , D _{energi}	1-60	tab. 3&4	0.76	tab. 3&4	kgCO ₂ e/kWh

2.1 Tidsvektning

FutureBuilt ønsker å bidra til at de klimapolitiske målene nås, og da vil tidspunkt for utslipp, positive og negative (opptak), være avgjørende. Klimagasser varmer opp atmosfæren over tid, og jo lenger tid de er i atmosfæren jo mer oppvarming. I et uendelig tidsperspektiv vil effekten av å utsette utslipp jevnes ut, men i den begrensede tiden frem mot målene, vil tidspunktet være avgjørende. Alle fremtidige utslipp vektet derfor avhengig av hvilket år utslippene skjer. Dette gjelder positive, så vel som negative og avvergede utslipp. Figur 3 viser tidsvektingsfunksjonen og beregning av tidsfaktorer. Utslipp for hvert enkelt material i gjeldende utslippsmoduler vektet med tidsvektingsfaktorene presentert i tabell 2. I år null, byggetidspunkt, er faktoren 1, og ved utskiftninger i år 30 vil den være 0,77.

Utslipp som skjer frem i tid vil i et 100 års perspektiv ha kortere tid på seg til å varme opp atmosfæren enn utslipp som skjer i dag. Den avtagende betydningen av utslipp beskrives her av funksjonen $2 - e^{0.00693t}$ (øverst i figur 3), som gradvis gir fremtidige utslipp mindre betydning



Figur 3: Tidsvektingsfunksjon (øverst), beregning av gjennomsnittsfaktor (midten), og verdien i utvalgte år frem i tid (nederst).

basert på oppvarmingspotensialet i perioden, og ender til slutt opp på null etter 100 år.⁶ For en bygning med lang levetid der flere utslippsposter gir utslipp hvert år gjennom hele levetiden, er det metodisk inkonsekvent å ikke ta hensyn til disse tidsaspektene, da indikatoren GWP_{100} allerede har tidsaspektet innbakt for andre klimagasser enn karbondioksid. Dette er godt beskrevet i artikkelen [6], som metoden her er bygget på. Klimagasser vil gradvis brytes ned i atmosfæren, og har derfor gradvis avtakende oppvarmingspotensial. Funksjonen anvendt her tar hensyn til dette.

Med antakelse om at utslippene/opptaket skjer jevnt over levetiden, fra år 1-60, kan en anvende gjennomsnittet av denne kurven til å vekte totalen over denne perioden. En får da en tidsfaktor $f_{\text{tid, år 1-60}}$ som ganges med totalen. Å anvende denne gjennomsnittsfaktoren er en forenkling, siden utslipp/opptak i virkeligheten ikke skjer helt jevnt over levetiden. For høyere presisjon kan en velge å anvende tidsvektingsfunksjonen direkte til å vekte utslipp i hvert enkelt år der utslippene skjer, eller anvende en gjennomsnittsfaktor som er vektet med tidspunkt og størrelse på de enkelte utslipp/opptak (se [7, 8] for detaljer). For de fleste formål vil likevel gjennomsnittsfaktoren være tilstrekkelig nøyaktig⁷. For utslipp som ikke skjer over en periode, men som skjer i enkeltår, kan en anvende faktoren for det spesifikke året. Faktorene for år 30 (utskifting av solcellesystemer) og år 60 (avfallshåndtering) er presentert under, sammen med gjennomsnittsfaktoren.

$$f_{\text{tid, år 1-60}} = \frac{1}{60} \sum_{t=1}^{60} [2 - e^{-0.00693t}] = 0.76 \quad (2)$$

$$f_{\text{tid, år 30}} = 2 - e^{-0.00693 \cdot 30} = 0.77 \quad (3)$$

$$f_{\text{tid, år 60}} = 2 - e^{-0.00693 \cdot 60} = 0.48 \quad (4)$$

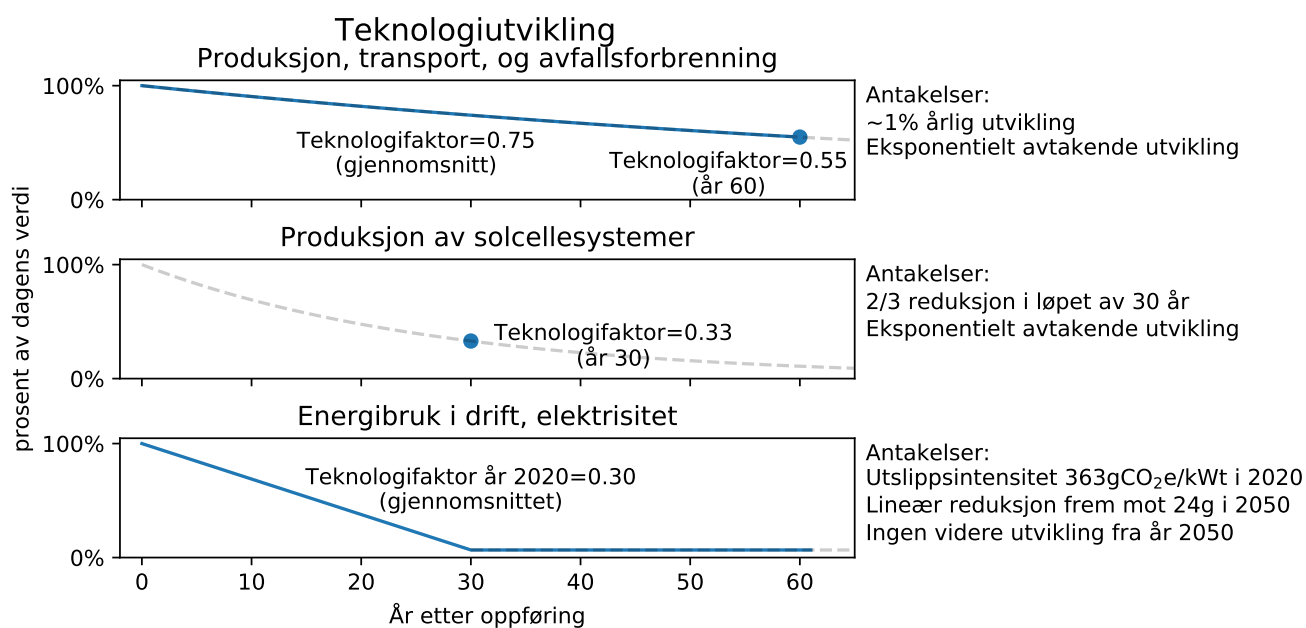
2.2 Teknologivekting

Over tid kan det forventes en reduksjon av utslipp relatert til produksjon av materialer på grunn av teknologisk utvikling i blant annet materialteknologi, produksjonsteknologi, gjenvinningsrate,

⁶Funksjonen er basert på den dynamiske LCA metoden presentert i [6], og den forenklete analytiske tilnærmingen til metoden som er publisert i [7]. Baseres på indikatoren Global Warming Potential 100.

⁷Siden teknologit utviklingen fører til lavere fremtidige utslipp, vil ikke utslippene skje jevnt over levetiden, de vil avta. Det blir her ignorert at tidsfaktoren er en funksjon av teknologifaktoren. Bruk av den mer nøyaktige, årlige tidsvektningen vil føre til en tidsvektingsfaktor som ligger ~ 3 –18% høyere enn disse gjennomsnittsfaktorene.

transportteknologi, og elektrifisering sammen med en dekarbonisering av energinettet. Fremtidige utslipp fra materialproduksjon vektes derfor avhengig av hvilket år byggevaren skiftes ut. Utviklingen i utslippsintensitet fra materialproduksjon vil avhenge av materialtyper, men det er her gjort en forenkling basert på historisk utvikling i norsk industri som har ligget på omtrent 1% årlig forbedring [9]. Denne utviklingen anvendes for alle bygningsmaterialer, med unntak av energiproduserende utstyr (solcellesystemer) hvor reduksjonen kan antas å være større. Det er for disse forutsatt 2/3 reduksjon før utskiftning skjer etter 30 år [10]. Tilsvarende som for produksjon, anvendes en 1% årlig teknologiutvikling for transport av materialer (dekarbonisering og effektivisering) og for avfallsforbrenning (effektivisering og karbonfangst og lagring). Figur 4 viser antatt teknologiutvikling og beregning av teknologifaktorer. Fremtidige utslipp vektes med disse teknologifaktorene, som også er presentert i tabell 2.



Figur 4: Teknologivæktning for materialproduksjon, transport, solcellesystemer, og for elektrisitet.

Fremtidige utslipp fra energibruk vektes med teknologifaktor for energi, som i takt med Europeiske målsetninger endres frem mot 2050. Utviklingen i utslippsintensitet for energibruk i drift avhenger av energikilde. For elektrisitet er det antatt lineær reduksjon fra dagens verdi frem mot 2050, og som deretter forblir uendret⁸. Utslippsfaktorer, teknologifaktorer, og gjennomsnittlige utslippsfaktorer for elektrisitet fra nett for hvert år frem mot 2050 er å finne i tabell 3. For fjernvarme benyttes en liknende metode, med faktorer for avfallsforbrenningsandelen oppgitt i tabell 4.

På lik linje med tidsvekting kan det også for teknologiutvikling antas at utslippene skjer jevnt over levetiden, med en gjennomsnittsfaktorer for år 1-60; dette er for å forenkle anvendelse av metoden, og vil være tilstrekkelig nøyaktig. For høyere presisjon kan en velge å anvende teknologifunksjonene direkte til å vekte utslipp i hvert enkelt år der utslippene skjer, eller anvende en gjennomsnittsfaktor som er vektet med tidspunkt og størrelse på de enkelte utslipp/opptak (se [7, 8] for detaljer). Teknologifaktorene for byggematerialer og for solcellesystemer er beregnet

⁸Tilsvarende scenario 2 (EU28+NO) i NS 3720 [5].

slik

$$f_{\text{teknologi, materialer, år 1-60}} = \frac{1}{60} \sum_{t=1}^{60} e^{-0.01t} = 0.75 \quad (5)$$

$$f_{\text{teknologi, materialer, år 60}} = e^{-0.01 \cdot 60} = 0.55 \quad (6)$$

$$f_{\text{teknologi, solcellesystemer}} = e^{-0.037 \cdot 30} = 0.33, \quad (7)$$

hvor de eksponentielt avtagende funksjonene sørger for at teknologifaktorene er de samme for alle fremtidige år.

3 Energibruk i drift

3.1 Elektrisitet

For elektrisitet endres teknologifaktoren fra år til år⁹ og en må benytte faktor for det året bygningen settes i drift. Teknologifaktor for elektrisitet beregnes slik

$$f_{\text{teknologi, elektrisitet}}(y) = \frac{\text{gj.snitt. utslippsintensitet fra år } y \text{ til } y+60}{\text{utslippsintensitet i år } y} \quad (8)$$

$$= \frac{\frac{1}{60} \sum_{t_0=y}^{y+60} \begin{cases} 363 - \frac{363-24}{30} \cdot t & , \text{ når } t \text{ er for år } < 2050 \\ 24 & , \text{ når } t \text{ er for år } \geq 2050 \end{cases}}{\begin{cases} 363 - \frac{363-24}{30} \cdot y & , \text{ når } y \text{ er for år } < 2050 \\ 24 & , \text{ når } y \text{ er for år } \geq 2050, \end{cases}}$$

hvor y er første driftsår i antall år etter 2020. Under gjennomføring av klimagassberegningene behøver en ikke å eksplisitt benytte teknologifaktoren for elektrisitet (likning (8)), da det vil være mer naturlig å benytte seg direkte av den oppgitte gjennomsnittlige utslippsintensiteten (faktoren) for den kommende 60 års perioden med startpunkt i året bygget settes i drift ('Vektete utslipp' i tabell 3). Denne har teknologifaktoren innbakt.¹⁰ Denne fremstillingen av elektrisitetsfaktoren er likevel pedagogisk og metodisk viktig da den står parallelt med de andre teknologifaktorene.

3.2 Fjernvarme

For fjernvarme (FV) skal utslippsfaktor beregnes ut fra det konkrete FV-systemet man er tilknyttet. Det vil si at fordelingen av innfyrte energivarer som anvendes i varmeproduksjonen, distribusjonstapet fram til bygget, og systemvirkningsgraden internt i bygget, skal medregnes. Når avfall inngår som en energivare i FV-systemet benyttes det en utslippsfaktor på 0,121 kgCO₂e/kWh per innfyrte avfall for år 2020. Faktoren er basert på Avfall Norge 2019 [11], som forutsetter ca. 20% plast i restavfallet som går til energigjenvinning frem til 2035 og konstant energiinnhold i avfallet på 11,5 GJ/tonn. Videre er det benyttet en 50/50 allokering av utslipp til energigjenvinning/slutthåndtering av avfall, iht. Europakommisjonens PEF og OEF guide¹¹. Tidspunkt for opptak av biogent karbon er hensyntatt i faktoren.

Det er forutsatt en forventet fremtidig teknologiutvikling for avfallsforbrenning gjennom reduksjon av prosessutslipp og systemtap, endringer i gjenvinning, og karbonfangst, som gir 1% årlig reduksjon. Figur 5 viser denne årlige utviklingen. Dette fører til årlige utslippsverdier gitt i

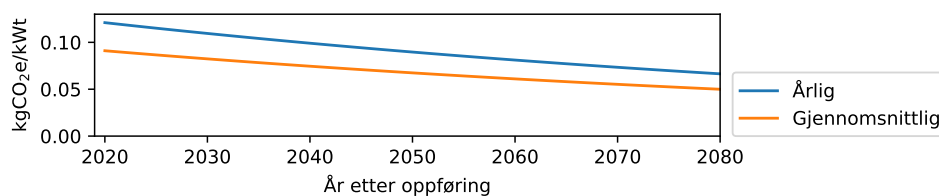
⁹Funksjonen endres brått i år 2050, og er ikke-deriverbar

¹⁰Gjennomsnittlig utslippsintensitet over levetiden er ekvivalent med utslippsintensiteten i år y ganget med teknologifaktoren i år y .

¹¹<https://simapro.com/2015/pef-series-end-of-life/>

Tabell 3: Utslippsintensitet for elektrisitet fra nett. Kolonnene viser fremskrevne utslippsintensitetsverdier per år, teknologi- og tidsfaktorer, totalfaktorer (teknologi og tid), og utslippsintensiteter vektet med totalfaktorer, for alle år frem mot 2050. Det er vektete utslipp som skal brukes i beregninger.

	Utslipp [kgCO ₂ e/kWh]	Teknologifaktor –	Tidsfaktor –	Totalfaktor –	Vektete utslipp [kgCO ₂ e/kWh]
2020	0.36	0.3	0.76	0.23	0.084
2021	0.35	0.3	0.76	0.23	0.08
2022	0.34	0.29	0.76	0.22	0.075
2023	0.33	0.29	0.76	0.22	0.071
2024	0.32	0.28	0.76	0.21	0.068
2025	0.31	0.28	0.76	0.21	0.064
2026	0.29	0.27	0.76	0.21	0.061
2027	0.28	0.27	0.76	0.2	0.057
2028	0.27	0.26	0.76	0.2	0.054
2029	0.26	0.26	0.76	0.19	0.051
2030	0.25	0.25	0.76	0.19	0.048



Figur 5: Utviklingen i utslippsintensiteten fra avfallsforbrenningsandelen i fjernvarme.

tabell 4, for forbrenning av avfall som energivare i fjernvarmesystemet. Deretter teknologivektes den årlige verdien og gir gjennomsnittlig verdi vist i figur 5. I tillegg skal utslippene tidsvektes og det gir samlet vektete utslippsintensiteter, se tabell 4.

Tabell 4: Utslippsintensitet for den andelen av fjernvarme som kommer fra avfallsforbrenning. Kolonnene viser fremskrevne utslippsintensitetsverdier per år, teknologi- og tidsfaktorer, totalfaktorer (teknologi og tid), og utslippsintensiteter vektet med totalfaktorer, for alle år frem mot 2050. Det er vektete utslipp som skal brukes i beregninger.

	kgCO ₂ e/kWh	Teknologifaktor	Tidsfaktor	Totalfaktor	Vektete utslipp
2020	0.12	0.75	0.76	0.57	0.069
2021	0.12	0.75	0.76	0.57	0.068
2022	0.12	0.75	0.76	0.57	0.068
2023	0.12	0.75	0.76	0.57	0.067
2024	0.12	0.75	0.76	0.57	0.066
2025	0.12	0.75	0.76	0.57	0.066
2026	0.11	0.75	0.76	0.57	0.065
2027	0.11	0.75	0.76	0.57	0.065
2028	0.11	0.75	0.76	0.57	0.064
2029	0.11	0.75	0.76	0.57	0.063
2030	0.11	0.75	0.76	0.57	0.063

3.3 Bioenergi

Bioenergi har klimagassutslipp ved forbrenning, og karbonopptak under ny tilvekst av biomasse. Utslipp knyttet til bruk av bioenergi på byggeplass og i bygningens drift behandles med lik metodikk som for bruk av treprodukter i bygningen, som beskrevet i kapittel 6. Tidspunktene for biogent opptak og utslipp fra forbrenning er avgjørende for oppvarmingseffekten ved bruk av bioenergi.

Til forskjell fra bruk av treprodukter i bygningen har ikke bioenergi en lagringseffekt, siden forbrenning skjer kort tid etter (samme år) trærne/vekstene ble høstet, og CO₂ bundet i biomassen blir sluppet tilbake til atmosfæren nærmest umiddelbart.

Tidspunkt for biogent opptak gjennom tilvekst av ny skog eller andre vekster avgjøres av rotasjonsperioden, dvs. tiden mellom høstingspunkt. For bruk av bioenergi skal det skilles mellom ulike rotasjonsperioder. Utslippsfaktor for bioenergi fra restprodukter fra skogbruk (ved, flis, pellets, osv.) har samme lange rotasjonsperiode som materialbruk, 100 år. Utslippsfaktor for slike produkter er oppgitt her. For andre bioenergiprodukter skal det brukes en tilsvarende metodikk.

For lang rotasjonsperiode (100 år) er opptaket ved tilvekst gjennom de neste 60 årene -1.27 kgCO₂/kg biomasse i materialer som inngår i bygget (byggefase), og -0.71 kgCO₂/kg biomasse i materialer ved utskiftning i driftsfase. Andel av avfallet som blir forbrent (Forbrenning [%]) og “Treinnhold [%]” er alltid 100% for bioenergi, som gjør at en kan benytte avfallsforbrenningsfaktorene for trevirke direkte, men faktorene må ganges med 2 siden utslipp fra bioenergi ikke skal allokere etter 50/50 prinsippet. For å få utslippsfaktor for bioenergi kan en bruke differansen av det biogene opptaket og forbrenningsutslippet ($2 \cdot 0.92 - 1.27 = 0.57$ kgCO₂/kg for byggefase, og $2 \cdot 0.52 - 0.71 = 0.33$ kgCO₂/kg for bruksfase) og deretter dele på energiinnholdet i biomassen (antatt 5 kWh/kg per biomasse). Disse utslippene er kun for selve forbrenningen, og utslipp fra transport og produksjon knyttet til disse energivarene må også inkluderes. Det er brukt et gjennomsnittlig transport og produksjonsutslipp på 8.7 gCO₂e/kWh¹², som tidsvektes med faktor 0.83 i bruksfasen og blir 7.2 gCO₂e/kWh. Til sammen gir dette utslippsfaktorer som gitt i tabell 5. Utslippsfaktorene er for innfyrt energi, for å regne endelige utslipp fra bioenergi må en i tillegg ta hensyn til virkningsgraden i forbrenningsanlegget.

Tabell 5: Utslippsfaktorer for biobrensel med rotasjonstid 100 år, for eksempel ved, flis, pellets, og liknende.

	Byggefase (A ₅)	Bruksfase (B ₂₋₅)
Lang rotasjonstid (per kg)	0.61 kgCO ₂ /kg	0.37 kgCO ₂ /kg
Lang rotasjonstid (per kWh)	0.12 kgCO ₂ /kWh	0.073 kgCO ₂ /kWh

4 Utslipp fra materialbruk

4.1 Produksjon og transport

Produksjon av materialer (A₁₋₃, A₅, B₂₋₅) og transport fra fabrikk til byggeplass (A₄, A₅, B₂₋₅) beregnes iht. NS 3720, og vektes deretter med teknologi og tidsfaktorer.

Det understrekes at det også beregnes utslipp fra kapp og svinn, dvs. produksjon og transport på lik linje med det som blir stående av materialer i bygget. I byggefase tilhører utslipp fra kapp og svinn modul A₅, og i bruksfasen modul B₂₋₅.

Beregning av produksjonsutslipp for ombrukte materialer er beskrevet i kapittel 6.1. Det gis et standardfratrekk for ombruk. En kan velge å bruke standardfratrekket eller å gjøre mer utfyllende analyser selv.

For transportutslipp skal det brukes avstander fra fabrikkport til byggeplass. I enkelte programvarer brukes som standard (default-verdi) avstand fra et *engro/mellomlager*, vær da påpasselig med å endre avstandene til å gjelde fra *fabrikkport*. Videre skal utslippsfaktoren for transport i utgangspunktet være 0.166 kgCO₂e/tkm for alle produkter utenom betong, asfalt, pukk, og andre lokale materialer. Vær oppmerksom på at det også kan være nødvendig å manuelt justere utslippsfaktoren som brukes i programvaren.

¹²Gjennomsnittet av GROT og stubber, skogflis, RT-flis, bark og spon, pellets og trepulver, og briketter, fra rapporten “Klimaregnskap for fjernvarme 2020” fra Norsk Energi [12].

4.2 Byggeplass

Utslipp fra byggeplass (A_5) inkluderer produksjon, transport, og avfallsforbrenning av kapp og svinn i byggefasen. I tillegg skal all direkte energibruk på byggeplass medregnes, inkludert energi brukt til tomtebearbeidelse, anleggsmaskiner, byggtørk, og annet. Det stilles krav til at minst halvparten av energibruken skal være utslippsfri på byggeplassen¹³. Fra 2025 skal all energibruk være utslippsfri på byggeplassen. Fra 2025 skal også massetransport gjøres uten direkte utslipp. Utslippsfaktorer for energikildene skal være for året for ferdigstilling, *ikke* gjennomsnittsfaktorer over levetiden. Disse utslippsfaktorene er gitt i første kolonne av tabell 3 for elektrisitet, og første kolonne i tabell 4 for avfallsforbrenningsandelen av fjernvarme.

4.3 Avfallsforbrenning

Utslipp skal beregnes for avfallsforbrenning av alle brennbare/organiske materialer, hvor det ikke er dokumentert ombrukbarhet (tilrettelegging for ombruk). For alle fasene gjelder følgende likning for å beregne disse utslippene

$$E_{\text{avfallsforbrenning}} = m_{\text{avfall}} \cdot f_{\text{tre/fossilinnhold}} \cdot f_{\text{energigjenvinning}} \cdot f_{\text{avfallsforbrenning}}, \quad (9)$$

hvor m_{avfall} er vekten avfall for produktet. Avfallet er kapp og svinn i byggefasen, utskiftninger inkl. kapp og svinn i bruksfasen, og avfall i slutfasen.

Faktoren $f_{\text{tre/fossilinnhold}}$ er andelen av produktet som består av brennbart materiale, altså hvor stor andel av produktet som er enten trevare eller fossilt material. En treplanke vil ha 100% treinnhold, mens et vindu med trekarmer vil ha et lavere treinnhold. En fuktsperre av plast vil ha 100% fossilinnhold, mens et vindu med plastkarmer vil ha et lavere fossilinnhold.

Videre er $f_{\text{energigjenvinning}}$ andelen avfall som *ikke* blir materialgjenvunnet, og er oppgitt for fremtidige år i tabell 6. Det vil i årene som kommer stilles sterke krav til sirkularitet i økonomien som vil øke andelen som går til materialgjenvinning, og dermed redusere andelen som blir avfallsforbrent. Det er antatt en lineær reduksjon fra 100% i 2020 til 20% i 2080, som forblir konstant deretter. I byggefasen har prosjektet mulighet til å påvirke andelen kapp og svinn som går til materialgjenvinning, som da må dokumenteres, og kan erstatte verdi for byggefase i tabell 6. I bruksfasen og slutfasen har ikke prosjektet mulighet til å påvirke denne andelen utover å tilrettelegge for ombrukbarhet. For bruksfasen benyttes gjennomsnitt av alle driftsår. For slutfasen benyttes 80% materialgjenvinning uavhengig av byggeår, siden det alltid vil være noe avfall som ikke kan gjenvinnes.

Tabell 6: Andelen avfall som ikke blir materialgjenvunnet, og som da går til avfallsforbrenning med energigjenvinning ($f_{\text{energigjenvinning}}$). Faktorene gjelder for årstallet bygget blir satt i drift.

	Byggefase (A_5)	Bruksfase (B_{2-5})	Slutfase (C_3)
2020	1.00	0.60	0.2
2021	0.99	0.59	0.2
2022	0.97	0.57	0.2
2023	0.96	0.56	0.2
2024	0.95	0.55	0.2
2025	0.93	0.54	0.2
2026	0.92	0.52	0.2
2027	0.91	0.51	0.2
2028	0.89	0.50	0.2
2029	0.88	0.49	0.2
2030	0.87	0.48	0.2

Produktet av disse tre parametrene ($m_{\text{avfall}} \cdot f_{\text{tre/fossilinnhold}} \cdot f_{\text{energigjenvinning}}$) gir vekten av tre/fossilinnholdet i avfallet som går til forbrenning. Denne vekten ganges til slutt med

¹³Med "utslippsfri på byggeplassen" menes at det ikke er direkte utslipp ved bruk av energikilden. Energikilden kan likevel ha utslipp lenger opp i verdikjeden, for eksempel under produksjon av elektrisitet fra nett.

$f_{\text{avfallsforbrenning}}$ som er FutureBuilt Zero faktoren for avfallsforbrenning, og som gir et fast utslipp per vekt brennbart. Det er én slik faktor for byggefasen, én for bruksfasen, og én for slutfasen. Disse faktorene endres ikke, og kan benyttes direkte fra tabell 7. Vekten brennbart materiale som går til forbrenning ganges med avfallsforbrenningsfaktorene for å få utslippene fra forbrenning gjennom levetiden. Faktorene har blitt beregnet som følger:

$$f_{\text{avfallsforbrenning}} = 3.67 \cdot f_{\text{karboninnhold}} \quad [\text{kgCO}_2/\text{kg brennbart}] \quad (10) \\ \cdot f_{\text{allokering}} \cdot f_{\text{teknologi}} \cdot f_{\text{tid}},$$

hvor 3.67 konverterer fra karbon til karbondioksid¹⁴.

$f_{\text{karboninnhold}}$ er gjennomsnittlig karboninnhold i hhv. tre og fossilt material. Karboninnholdet er $\sim 50\%$ for trematerial og $\sim 80\%$ for oljebasert material, per tørrvekt. Karboninnhold vil i realiteten variere, men disse tallene kan brukes. Om det spesifikke karboninnholdet til produktene er kjent (ofte oppgitt i produktets EPD), kan en ved behov justere faktorene deretter.

$f_{\text{allokering}}$ allokerer halvparten av utslippene til bygningen (avfallssektoren) og den resterende halvparten til produksjon av fjernvarme. Allokeringfaktoren er 0.5 og er alltid lik.

Til slutt er $f_{\text{teknologi}}$ teknologiutviklingsfaktor for avfallsforbrenning (fremtidig utslippsreduksjon av prosessutslipp, karbonfangst, mm.), og f_{tid} er tidsfaktor.

Teknologi og tidsfaktorene ($f_{\text{teknologi}}$, f_{tid}) varierer mellom bygge-, bruks-, og slutfase. Teknologiutvikling for avfallsforbrenning skjer gjennom fremtidig utslippsreduksjon av prosessutslipp, karbonfangst, mm. I byggefase (år 0) er disse lik 1, altså ingen teknologiutvikling og ingen tidsutsettelse. I bruksfasen (år 1-60) er teknologifaktoren 0.75 og tidsfaktoren 0.76, som til sammen blir en faktor 0.57. I slutfase (år 60) er teknologifaktoren 0.55 og tidsfaktoren er 0.48, som til sammen blir en faktor 0.27. Fra likning 10 får vi da faktorer som vist i tabell 7.

Tabell 7: Avfallsforbrenningsfaktorer ($f_{\text{avfallsforbrenning}}$) beregnet med likning 10 [kgCO₂/kg brennbart]. Disse totalfaktorene ganges med vekten avfall og tre/fossilinnholdet.

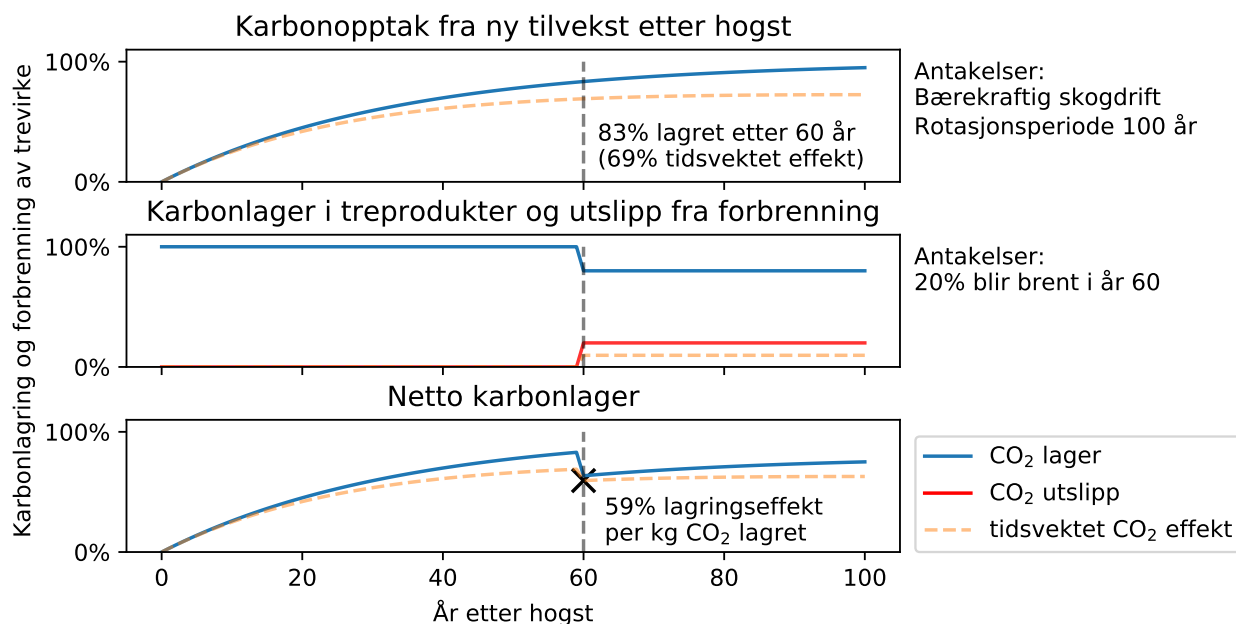
	Byggefase (A ₅)	Bruksfase (B ₂₋₅)	Slutfase (C ₃)
Trebaserte produkter	0.92	0.52	0.24
Fossilbaserte produkter	1.47	0.84	0.39

5 Karbonopptak

5.1 Biogent karbon

Effekten av biogent karbon ved bruk av trebaserte materialer er todelt. For det første fører tilvekst av ny skog til karbonopptak, i det nye trær vokser opp i området der de ble kuttet ned. Dette karbonopptaket skjer i løpet av driftsfasen til bygningen. For det andre vil treproduktene i bygget avfallshåndteres ved endt levetid, og noe av karbonet lagret i produktene vil da oksideres og tilbakeføres til atmosfæren. Begge disse effektene og den samlede effekten er fremstilt i figur 6. Karbonopptaket i skog skjer i løpet av levetiden til bygget, uavhengig av om produktet ble produsert i byggefasen eller bruksfasen, og karbonopptak rapporteres derfor i B₁-modul. Avfallsforbrenning skjer i alle moduler (A₅, B₂₋₅, C₃) og rapporteres i de respektive moduler. For materialer med kortere levetid enn bygget vil utslipp fra forbrenning være høyere fordi forbrenning av utskiftninger kommer i tillegg. Materialsvinn gir umiddelbare utslipp fra forbrenning. Her beskrives disse prosessene og metoden som ligger til grunn.

¹⁴Forholdet mellom den molekylære vekten til karbondioksid og karbon er $44/12 \approx 3.67$.



Figur 6: Effekten av biogent karbon for et treprodukt som brennes etter 60 år.

5.1.1 Karbonopptak i skog

Under produksjon av byggevarer av tre hogges det ned skog. Så lenge skogdriften forvaltes bærekraftig¹⁵ vil nye trær vokse opp og erstatte hogst. Tilveksten av nye trær binder over tid CO₂ fra atmosfæren, som lagres som karbon, C, i trevirke. Denne tilveksten fører til karbonopptak gjennom byggets levetid, hvor karbonen lagres i de nyvokste trærne inntil de på nytt hogges. Hvor mye karbon som tas opp i tilveksten i løpet av levetiden til bygget er avhengig av mange faktorer, blant annet trærnes vekstfunksjon. Fordi utslipp og opptak tidsvektes vil det også være av betydning når i byggets levetid opptaket skjer. I vitenskapelig litteratur argumenteres det for å bruke en dynamisk metode for å på en best mulig måte hensynta denne effekten, se f.eks. [14]. Den dynamiske metoden anvendt i FutureBuilt Zero er beskrevet her.

Det antas her en forenklet vekstfunksjon lik $1 - e^{-0.03t}$ (øverst i figur 6), hvor t er antall år etter hogst. Denne funksjonen er basert på en rotasjonsperiode på 100 år, som her antas å være representativ for norsk gran [15]. Ved $t = 100$, den antatte rotasjonsperioden, har trærne vokst tilbake til størrelsen de hadde ved hogst¹⁶. Ved slutten av byggets levetid vil 83% av mengden karbon lagret i byggevarene ($f_{\text{karbonopptak } 60 \text{ år}}$) være tatt opp i nye trær, siden bygningens levetid på 60 år er kortere enn rotasjonsperioden på 100 år¹⁷. Karboninnholdet $f_{\text{karboninnhold}}$ varierer mellom treprodukter men ligger rundt $\sim 50\%$ per tørrvekt, som er verdien som anvendes her. Når karbon oksideres og blir til karbondioksid øker også vekten på grunn av de to oksygenatomene, og hvert kg karbon blir til 3.67 kg karbondioksid. Totalfaktoren for biogent karbonopptak under

¹⁵For at skogsdriften skal betraktes som bærekraftig stilles dokumentasjonskrav iht. NPCR015 [13]. Dette er samme krav som stilles til EPD for utvalgte produktgrupper i EPD-Norge. Dokumentasjonen kan ifølge [13] være 'chain-of-custody' sertifiseringer som FSC og PEFC. Hvis slik sertifisering ikke er tilgjengelig, skal det dokumenteres samsvarserklæring med EUTR 995/2010.

¹⁶Den nøyaktige verdien for den anvendte formelen er 95% av størrelsen de hadde ved hogst.

¹⁷Det er altså kun karbonopptaket gjennom byggets levetid som medregnes, på lik linje med alle andre utslippskilder. Hva som skjer med trærne etter endt levetid er dermed utenfor regnskapet.

tilvekst av trær blir da

$$\begin{aligned}
 f_{\text{biogent}} &= -f_{\text{karbonopptak } 60 \text{ år}} \cdot f_{\text{tid,1-60}} \cdot f_{\text{karboninnhold}} \cdot 3.67 \\
 &= - (0.83 \cdot 0.83) \cdot (0.50 \cdot 3.67) \\
 &= - 0.69 \cdot 1.84 \\
 &= - 1.27,
 \end{aligned}
 \tag{11} \quad [\text{kgCO}_2\text{kg}^{-1}]$$

som vil si at hvert kilogram trevirke i bygningen fører til opptak av 1.27 tidsvektede kilogram karbondioksid i løpet av byggets levetid. Her er tidsfaktoren beregnet basert på årene for opptak i vekstkurven.

For utskiftninger av treprodukter brukes samme metode som overfor, med en antakelse om at en gjennomsnittlig utskiftning skjer halveis ut i byggets levetid, år 30. Dette gir 30 års veksttid og 59% tilvekst i løpet av gjenværende levetid. Gjennomsnittlig tidsfaktor for år 30-60, basert på årene for opptak, er 0.65. Totalfaktoren for biogent karbonopptak for utskiftninger blir produktet av disse

$$\begin{aligned}
 f_{\text{biogent, utskiftninger}} &= f_{\text{karbonopptak } 30 \text{ år}} \cdot f_{\text{tid,30-60}} \cdot (f_{\text{karboninnhold}} \cdot 3.67) \\
 &= - 0.59 \cdot 0.65 \cdot 1.84 \\
 &= - 0.71.
 \end{aligned}
 \tag{12} \quad [\text{kgCO}_2\text{kg}^{-1}]$$

Det er imidlertid begrensninger for hvor mye av dette karbonopptaket som *godskrives* i regnskapet. Effekten av biogent karboninnhold gjelder kun for trevirke med opphav fra bærekraftig skogdrift. Det er en begrenset mengde tre tilgjengelig i verdens skoger, altså er det en ressursknapphet som må tas hensyn til. Det har under utvikling av metoden vært en bekymring at et for stort fratrekk i regnskapet for trevirke kan føre til mindre fokus på å redusere materialmengder, og dermed økt materialforbruk. Siden overforbruk er uønsket for en begrenset ressurs, er det i FutureBuilt Zero kun mulig å oppnå en delvis kompensasjon fra klimaeffekten av biogent opptak fra fremstilling og avfallsforbrenning av trevirke. Det biogenet opptaket rapporteres i modul B₁ og begrenses slik at det maksimalt kan være av samme størrelse som summen av (1) utslipp fra avfallshåndtering av treproduktet og (2) 75% av utslipp fra materialfremstilling. Transportutslipp kan ikke kompenseres for med biogent opptak. Utslipp fra materialsvinn kan heller ikke kompenseres for siden disse utslippene ikke vil ha effekten av midlertidig lagring. I mange tilfeller vil dette føre til at trevirke ender opp med 25% av produksjonsutslippene, i tillegg til utslipp fra materialsvinn og transport. Etter materialsvinn og transportutslipp er tatt inn i regnskapet vil treproduktet ha større positive utslipp. Dokumentert ombrukbarhet (avsnitt 6.2) vil fortsatt føre til fratrekk fra produksjonsutslippene i D_{ombrukbarhet}.

5.1.2 Utslipp fra avfallsforbrenning av treprodukter

Utslipp fra avfallsforbrenning er beskrevet i avsnitt 4.3, og skal medregnes for alle brennbare produkter, ikke bare trevirke. Det gis her en grundigere bakgrunn spesifikt til avfallsforbrenning av treprodukter.

Treprodukter i bygg lagrer karbon inntil de en gang i fremtiden avfallshåndteres. Det er mulighet for at noe av avfallet brennes, og det lagrede karbonet i treproduktet vil da oksideres og bli til CO₂ som slippes ut i atmosfæren. Treavfallet i Norge går i dag hovedsakelig til energigjenvinning, og fra 2020 stiller EUs rammedirektiv krav om materialgjenvinning av treavfall fra bygge- og anleggsvirksomhet [16]. Altså vil det være rimelig å anta substitusjonseffekter for forbrenning av trevirke selv om det er uvisst hva som skjer med slikt avfall i fremtiden; det er i dag ikke mulig å si hvor stor andel som vil brennes, og det er en mulighet for at en slik eventuell forbrenning vil foregå med karbonfangst og lagring i fremtiden. I byggefasen har en mulighet til å direkte påvirke hvor mye av kapp og svinn som går til materialgjenvinning. Materialgjenvinning

vil forhindre (forsinke) forbrenningsutslipp. Materialgjenvinning av svinn i byggefasen hensyntas i metoden, som beskrevet i kapittel 4.3. Vekten av treprodukt som går til avfallsforbrenning ganges med avfallsforbrenningsfaktorene for trevirke, også beskrevet i kapittel 4.3. Faktorene allokterer utslipp fra avfallsforbrenning 50/50 mellom avfallssektoren og fjernvarmeproduksjon, som fører til at halvparten av forbrenningsutslippene tilskrives bygningen.

Biogent karbon lagret i treprodukter i bygningen blir først sluppet ut i atmosfæren igjen når treproduktet blir brent eller råtner en gang i fremtiden. I B-modulen skjer dette i verste fall i takt med utskiftningene, dvs. at de vektet med tidsfaktor for år 1-60. Dette er en konservativ implementering av lagringseffektene, da forbrenning ofte ikke vil skje samtidig som utskiftningene, men heller senere, og forråtnelse også vil føre til delvis lagret karbon over lengre tid.

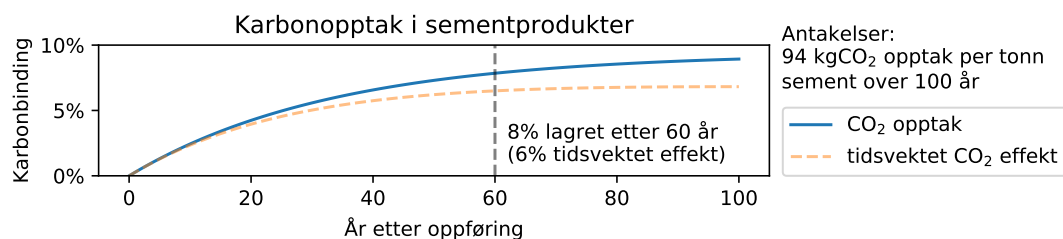
5.1.3 Forenklinger

Ved utvikling av denne forenklete beregningsmetoden har noen kompliserende faktorer ved fremstilling av trevirke blitt utelatt. Kun deler av treet ender i virkeligheten opp som byggevarer. Greiner og topper (GROT) blir ofte etterlatt i skogen. Betydelige deler av treet bli værende igjen i form av røtter under bakken. Karbon fra disse delene av treet går dels inn i jordsmonnets karbonlager og blir dels oksidert gjennom forråtnelsesprosesser som gir utslipp fra skogbunn og jordsmonn. Oksidering av den biogene karbonen i restproduktene, altså i hvor stor grad den biogene karbonen går tilbake til atmosfæren i form av karbondioksid, er ikke med i metoden.

En annen effekt som ikke er hensyntatt er at skogsdrift kan øke albedoeffekten fra boreal skog (nordlige skoger). I litteraturen har det blitt vist sterkt varierende effekter, fra $-0.18 \text{ kgCO}_2\text{e/kgCO}_{2,\text{lagret}}$ [15] og opp til positive tall; dette er derfor ikke hensyntatt her.

5.2 Karbonatisering av sement

Sementprodukter vil over tid binde karbondioksid fra luften; en prosess som kalles *karbonatisering*. Disse negative utslippene kan i løpet av byggets levetid kompensere for deler av utslippene fra produksjon av materialene. En forenklet modell for opptaket over en 100 års periode er fremstilt i figur 7. Her er det antatt et opptak 94 kg CO_2 per tonn sement etter en brukstid på 100 år [17]. Det vil være mest opptak de første årene, og opptaket vil deretter avta eksponentielt. Den approksimerte funksjonen brukt her er $0.094(1 - e^{-0.03t})$ per kg sement. Etter 25 år vil omtrent halvparten av opptaket som skjer over en 100 års periode ha funnet sted, hvorav kun det opptaket som skjer i årene som inngår i byggets levetid tillegges bygget. Tidsfaktoren er beregnet basert på årene for opptak i karbonopptakskurven frem til år 60. Videre vil det



Figur 7: Effekten av karbonatisering i sementprodukter.

kunne skje et forhøyet opptak om sementproduktet etter levetiden knuses opp og i høyere grad eksponeres for luft; denne effekten kan ikke tillegges bygget, men snarere den eventuelle videre bruken av materialene.

Mengden opptak i løpet av byggets levetid per kg sement er gitt av totalfaktoren

$$\begin{aligned} f_{\text{opptak år 1-60}} &= f_{\text{opptak per vekt 100 år}} \cdot f_{\% \text{ opptak 60 år}} \cdot f_{\text{tid, 1-60}} \\ &= 0.094 \cdot 0.83 \cdot 0.83 \\ &= 0.06, \end{aligned} \quad [\text{kgCO}_2\text{kg}^{-1}] \quad (13)$$

hvor $f_{\text{opptak per vekt 100 år}}$ er mengden karbonopptak per kg sement i en 100 års bruksfase, og $f_{\% \text{ opptak 60 år}}$ er andelen av dette som tas opp de første 60 årene. Totalfaktoren ganges med andelen sement i produktet $f_{\% \text{ sement}}$

$$f_{\text{karb,B}} = f_{\% \text{ sement}} \cdot f_{\text{opptak år 1-60}}, \quad [\text{kgCO}_2\text{kg}^{-1}] \quad (14)$$

som gir karbonopptaket per kg betong eller annet sementprodukt i bygningen.

5.2.1 Faglig bakgrunn for karbonatisering

Karbonatisering er en kjemisk prosess som oppstår når en betongflate er i kontakt med luft. Luften diffunderer langsomt inn i betongen. Karbondioksid fra luften (CO_2) og vann (H_2O) reagerer kjemisk med kalsiumhydroksid i betongen ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), slik at det dannes kalsiumkarbonat (CaCO_3).

Karbonatiseringsdybden kan beskrives av en versjon av Fick's lov, som $x_{\text{CO}_2} = k\sqrt{t}$, der k er en karbonatiseringsfaktor avhengig av ulike material- og miljøfaktorer, og t er tid.

Karbonatiseringshastigheten er avhengig av tettheten i betongen, i tillegg til fasthetsklassen (v/c-tall og materialvalg), utstøpning, herdevilkår og etterbehandling, rissvidder og miljø (fukt, temperatur, luftkvalitet, mm). Vanntettet eller helt tørr betong karbonatiserer ikke. I en rapport fra SINTEF Byggforsk [17] er det beregnet at årlig mengde CO_2 -opptak i betongvarer i Norge er 111 kg CO_2 per tonn sement. Dette er med forutsetning om 100 års brukstid og deretter 100 års gjenbruksfase. I løpet av brukstiden, fant studien at 94 kg CO_2 per tonn sement ble bundet i betongen. I rapporten finnes det også eksempler på beregninger av GWP for ulike bygningskomponenter. For en innervegg av ubehandlet betong som er eksponert på begge sider, er det beregnet et GWP på 9,2 kg CO_2e per m^2 i løpet av 60 års brukstid. For 100 års brukstid er opptaket beregnet til 11,9 kg CO_2e per m^2 . Opptaket etter endt levetid er estimert til å være 0,12 kg CO_2e per m^2 for veggen med 60 års levetid, og 0,8 kg CO_2e per m^2 for veggen med 100 års levetid. Det ble antatt at 10% rives etter endt levetid, og at 90% av dette knuses.

Karbonopptaket for et hulldekke er estimert til å være henholdsvis 7,7 kg CO_2e per m^2 overflate i bruksfasen for en levetid på 60 år og 10 kg CO_2e per m^2 for en levetid på 100 år [17]. Eksemplene over viser at karbonatisering gir et opptak av CO_2 tilsvarende 8-13% reduksjon av utslippet i produksjonsfasen, når karbonatiseringen skjer i løpet av 60 års brukstid, per m^2 eksponert betong. I [18] er det gitt et formelverk med tilhørende karbonatiseringsfaktorer for beregning av CO_2 -opptak i ulike betongprodukter avhengig av fasthetsklasser og bruksforhold (utendørs eksponert, innendørs, malt eller umalt, etc.). Dette kan eventuelt benyttes for å estimere karbonopptak i ulike typer bygg. I FutureBuilt Zero kriteriene har vi imidlertid valgt å bruke et forenklet estimat for CO_2 -opptak i sementprodukter, gitt av likning 13 og 14.

6 Avvergede utslipp

6.1 Ombruk

Produkter som i byggefasen blir ombrukt fra tidligere bruk i et annet bygg eller liknende, vil ha unngåtte utslipp fra avfallshåndtering og fra produksjonsfasen. Ved ombruk av materialer i byggefasen har vi forenklet angitt at 80% av produksjonsutslippene (A_{1-3}) kan trekkes fra produksjonsutslippene fra et tilsvarende produkt som ellers ville blitt brukt i bygningen. Om

en ønsker kan en gjøre mer nøyaktige beregninger for de produkter som ombrukes og benytte slike tall i stedet for en generell 80% reduksjon. Gevinsten fra ombruk gjelder kun opprinnelig materialbruk, ikke utskiftninger.

$$E_{A_{1-3}, \text{ dokumentert ombruk}} = 0.2 \cdot E_{A_{1-3}, \text{ tilsvarende produkt}} \quad [\text{kgCO}_2\text{e}] \quad (15)$$

6.2 Ombrukbarhet

Bygningsprodukter som helt eller delvis kan brukes på nytt i fremtiden vil kunne erstatte produksjon av tilsvarende produkter, og dermed ha en klimagevinst. Det er vanskelig å forutsi hva som vil skje med materialer i dagens bygninger langt frem i tid, men en kan likevel tilrettelegge for ombruk slik at sannsynligheten for ombruk øker. Materialer med dokumentert ombrukbarhet (tilrettelegging for ombruk) etter FutureBuilt's kriterier for sirkulære bygg [19] kan derfor tillegges en fremtidig negativ klimaeffekt på 10% av dagens produksjonsutslipp for disse materialene. Denne verdien er allerede inkludert teknologiutvikling og tidsvektning. Det skal ikke beregnes utslipp fra forbrenning fra materialer med dokumentert ombrukbarhet. Gevinsten fra ombrukbarhet gjelder kun opprinnelig materialbruk, ikke utskiftninger.

$$E_{D_{\text{ombrukbarhet}}} = -0.1 \cdot E_{A_{1-3}, \text{ dokumentert ombrukbarhet}} \quad [\text{kgCO}_2\text{e}] \quad (16)$$

6.3 Eksportert energi

Netto eksportert selvprodusert energi kompenseres for tilsvarende mengde energi fra energinettet, og kommer til fratrekk i D_{energi} . Utslippsfaktorer for elektrisitet, tabell 3, og avfallsforbrenning i fjernvarme, tabell 4, brukes i beregningen.

Fornybar elektrisitet skal produseres lokalt, dvs. være integrert i bygningsmassen eller på tomte/eiendommen, men energivarer som benyttes til produksjon av fornybar energi på stedet kan være produsert annensteds (f.eks. biobrensel). Termisk fornybar energiproduksjon kan skje på eller utenfor tomte. Fornybar elektrisitet som er produsert på tomte og som leveres inn på nettet, kommer til fratrekk i energiregnskapet med samme "verdi" som import av elektrisitet fra nettet, dvs. 1 kWh eksportert til nettet = 1 kWh importert fra nettet. Eksport av fornybar varme kan også krediteres energiregnskapet, men begrenset slik at "inntektsført" eksportert fornybar varme over året ikke kan overstige årlig importert varme. [1]

Referanser

- [1] Kriterier for nZEB for FutureBuilt prosjekter. Revisjon des-2018. *Inger Andresen, Tor Helge Dokka, Vegard Skregelid Johansen*. Tekn. rapp. FutureBuilt, 2018. URL: <https://www.futurebuilt.no/content/download/13879/94163>.
- [2] Marianne Wiik mfl. "GHG emission requirements and benchmark values for Norwegian buildings". I: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Bd. 0. 0. IOP Publishing. 2020, s. 0.
- [3] Marianne Wiik mfl. "Klimagasskrav til materialbruk i bygninger. Utvikling av grunnlag for å sette absolutte krav til klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygninger." I: *ZEN Report* (2020).
- [4] EN 15978:2011. "Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method". I: *European Committee for Standardization*. Brussels, Belgium, 2012.
- [5] NS3720::2018. "Metode for klimagassberegninger for bygninger". I: *Standard Norge*. Oslo, Norway, 2018.
- [6] Annie Levasseur mfl. "Considering time in LCA: dynamic LCA and its application to global warming impact assessments". I: *Environmental science & technology* 44.8 (2010), s. 3169–3174.
- [7] Eirik Resch mfl. "Estimating dynamic climate change effects of material use in buildings—Timing, uncertainty, and emission sources". I: *Building and Environment* 187 (2021), s. 107399. ISSN: 0360-1323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107399>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132320307642>.

- [8] Eirik Resch mfl. “An analytical method for evaluating and visualizing embodied carbon emissions of buildings”. I: *Building and Environment* 168 (2020), s. 106476. ISSN: 0360-1323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106476>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132319306882>.
- [9] Norsk Industri, Enova. “Potensial for energieffektivisering i norsk landbasert industri”. I: *Enova*. Oslo, Norway, 2009.
- [10] Atse Louwen mfl. “Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development”. I: *Nature Communications* 7.1 (2016), s. 1–9.
- [11] Avfall Norge. “Avfallsmengder frem mot 2035. Energigjenvinningens rolle i sirkulærøkonomien. Rapport nr. 07/2019”. I: *Avfall Norge*. Oslo, Norway, 2019.
- [12] Klimaregnskap for fjernvarme 2020 - Felles utslippsfaktorer for den norske fjernvarmebransjen – Oppdatering 2020. *Stine Belgum Torstensen*. Tekn. rapp. Norsk Energi, 2020. URL: <https://www.futurebuilt.no/content/download/13879/94163>.
- [13] *NPCR 015:2019 Part B for wood and wood-based products for use in construction*. URL: <https://www.epd-norge.no/pcr-register/npcr-015-2019-part-b-for-wood-and-wood-based-products-for-use-in-construction-article2113-353.html> (sjekket 24.02.2021).
- [14] Endrit Hoxha mfl. “Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods”. I: (2020).
- [15] Geoffrey Guest mfl. “Consistent quantification of climate impacts due to biogenic carbon storage across a range of bio-product systems”. I: *Environmental Impact Assessment Review* 43 (2013), s. 21–30. ISSN: 0195-9255. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2013.05.002>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019592551300053X>.
- [16] Gry Alfredsen mfl. “Sekundærråstoff fra trebaserte verdikjeder i Norge”. I: *NIBIO Rapport* (2018).
- [17] CJ Engelsen og H Justnes. “CO2 binding by concrete. A summary of the state of the art and an assessment of the total binding in by carbonation in the Norwegian concrete stock. SINTEF Building and Infrastructure”. I: *Construction Technology, Norway* (2014).
- [18] Ronny Andersson mfl. “Calculating CO2 uptake for existing concrete structures during and after service life”. I: *Environmental science & technology* 47.20 (2013), s. 11625–11633.
- [19] FutureBuilt. “FutureBuilt kriterier for sirkulære bygg”. I: *FutureBuilt*. Oslo, Norway, 2019. URL: <https://www.futurebuilt.no/content/download/13987/94674>.

A Vedlegg

A.1 Kriterier

Tabell A1 viser kriterienivåer for FutureBuilt kriterium, i tillegg til maksutslipp materialer, og maksutslipp energi. FutureBuilt kriteriet inkluderer utslipp fra både materialer og energi, som til sammen tilsvarer ‘dagens beste praksis’. Kriteriene er oppgitt i kgCO₂e per m² oppvarmet BRA¹⁸ over en levetid på 60 år.

Maksutslipp materialer inkluderer alle utslipp fra hovedkriteriet unntatt energibruk i drift. Energibruk i drift inngår i maksutslipp energi, og er basert på FutureBuilt nZEB-kriterier [1]. Begge maksutslippene (materialer og energi) er 10% høyere enn de tilsvarende verdiene i hovedkriteriet. Dette gir noe slingringsmonn mellom mellom fokus på materialer og på energi, mens maksutslippsnivåene fortsatt sørger for at en må ha fokus på begge. Noen prosjekter og bygningstyper vil ha noe høyere energibruk, og kan da kompensere med lavere utslipp fra materialer for å oppnå hovedkriteriet. Det samme gjelder andre veien; prosjekter og bygningstyper med høyere utslipp fra materialbruk kan kompensere med lavere energibruk for å oppnå hovedkriteriet.

Tabell A1: Kriterienivåer for alle år frem mot 2050, i kgCO₂e per oppvarmet BRA over levetiden.

	FutureBuilt kriterium	Maksutslipp materialer	Maksutslipp energi
2020	449	287	207
2021	425	271	196
2022	401	256	185
2023	378	241	174
2024	354	226	163
2025	331	211	153
2026	307	196	142
2027	284	181	131
2028	260	166	120
2029	237	151	109
2030	213	136	98
2031	204	130	94
2032	195	125	90
2033	186	119	86
2034	177	113	82
2035	168	107	78
2036	159	102	73
2037	150	96	69
2038	141	90	65
2039	132	85	61
2040	123	79	57
2041	114	73	53
2042	105	67	49
2043	96	62	44
2044	87	56	40
2045	78	50	36
2046	70	44	32
2047	61	39	28
2048	52	33	24
2049	43	27	20
2050	34	21	16

¹⁸Det er ikke mulighet for å ta med parkeringskjeller i BRA, uavhengig av om den er varmet opp.

A.2 Fastsettelse av kriterier

Kriterienivåene for startåret 2020 er beregnet ut fra gjennomsnittlige erfaringstall og antakelser beskrevet under. Anvendte parameterverdier er gitt i teksten under og resultater er gitt i tabell A2. Kriterienivåene for fremtidige år er fremskrevet fra startåret, med en reduksjon som tilsvarer Norges forpliktelse til Paris-avtalen. Kriteriet er beregnet som følger:

- Utslipp fra materialproduksjon er nedre kvartil (dvs. at de 25% gjør det minst så bra) av de 112 kvalifiserende byggene som er hentet fra studiet bekrevet i artikkelen ‘*GHG emission requirements and benchmark values for Norwegian buildings*’ (2020) [2] og ZEN rapporten ‘*Klimagasskrav til materialbruk i bygninger*’ (2020) [3]. Dette inkluderer produksjon av utskiftninger i bruksfasen. Utslipp fra solceller ble trukket fra. Referansenivået for produksjon av materialer gjennom livsløpet ble deretter sammenliknet med verdier fra ‘spydspiss’-nivå i DFØ-rapport, som etter justering fra BTA til BRA ligger på omtrent samme nivå.
- Utslipp fra energiproduserende utstyr, med utgangspunkt i solcellesystem, er beregnet fra en antakelse om et solcelleareal på 10% av BRA (antatt mengde for å oppnå nZEB iht. [1]), og utslippsintensiteter og fremtidig utvikling basert på [10].
- For utslipp fra transport av byggematerialer er det antatt en vektet gjennomsnittlig transportavstand på 280 km, og utslippsintensitet fra Ecoinvent v3.2 på 0.166 kgCO₂e/tkm (lorry 16-32t, RER, Euro5, drivstofforbruk 0.0375 kg diesel/tkm). Dette utslippet samsvarer med tall fra ‘spydspiss’-nivå i DFØ-rapport. Det har også blitt gjort separate beregninger med et gjennomsnittlig materialinventar fra 19 bygg for å kontrollere overensstemmelse.
- Utslipp fra byggeplass er beregnet med antakelse om 5% materialsvinn på byggeplass, og inkluderer materialenes produksjon og transport, og avfallsforbrenning av den brennbare andelen. Energibruk på byggeplass er basert på 44.5 kWh elektrisitet og 22.4 kWh biodiesel.
- Andelen brennbare materialer er basert på erfaringstall for andelen trevirke på 111 kg/m² BRA, som har blitt beregnet basert på et materialinventar fra 19 bygg. Det er videre antatt at trevirke utgjør 2/3 av den totale vekten brennbare materialer.
- Biogent karbonopptak er beregnet med andelen trevirke fra erfaringstall fra 19 bygg, og den gjennomsnittlige utslippsintensiteten til disse materialene på 0.34 kgCO₂e/kg. Opptaket tilsvarer produksjons- og forbrenningsutslipp fra disse inkludert teknologi og tidsvektede utskiftninger, med antakelse om at trevirket er klimanøytralt for disse utslippspostene (se avsnitt 5.1 for begrunnelse). Materialsvinn er utelatt, da disse utslippene ikke vil ha effekten av midlertidig lagring, og derfor ikke kommer til fratrekk.
- Karbonatisering er beregnet med den gjennomsnittlige andelen betong fra erfaringstall fra 19 bygg, som er 946 kg/m², og et sementinnhold i betongen på 10%.
- Utslipp fra energibruk i drift baserer seg på gjennomsnittet av beregnede verdier for nesten-nullenergi boligblokk, kontorbygg, skolebygg, og barnehage. Inkluderer levert energi, med varmepumpe, til romoppvarming og kjøling, ventilasjonsvarme og kjøling, varmtvann, vifter, pumper, belysning, og teknisk utstyr.
- I tillegg er det beregnet omtrentlige 95% konfidensintervaller for 2020-verdiene for ‘dagens praksis’ og ‘dagens beste praksis’ ved å “sample” 22k resultater vha. Saltelli/Sobol metoden. Resultater beregnes da mange ganger med variasjoner i parameterene, som gir et spenn av resultater. Dette gir en tilnærmet normalfordelt sannsynlighetsfordeling, hvor 95% faller inn under konfidensintervallet.

Tabell A2: Startverdier for utslippsnivåer i kgCO_{2e}/m² BRA.

	A _{1-3,21-29}	A _{1-3,49}	A ₄	A ₅	B _{4,21-29}	B _{4,49}	B ₆	Biogent	Karbonatisering	Avfallsforbrenning C ₃
REF	265	0	46.5	44.3	105	0	617	-61	-5.68	9.66
FB	147	12	46.5	38.3	71.2	3	188	-61	-5.68	9.66

A.3 Sammenlikning med NS 3720

NS 3720 beskriver en beregningsmetode for klimagassberegninger for bygg, og gir i mindre grad faste systemgrenser og fremgangsmåter, slik som FutureBuilt Zero. NS 3720 legger opp til å inkludere mest mulig i omfanget, men gir samtidig fleksibilitet til til å avgrense systemgrensene til å samsvare med formålet for beregningen. For eksempel angir NS 3720 mulige omfang for beregningene, men sier ikke definitivt hva som skal inkluderes eller ikke, og gir i tillegg rom for vurdering av ulike scenarier. Dermed vil omfang og metodikk kunne variere mellom analyser, som gjør det utfordrende å sammenlikne direkte. Det er mer hensiktsmessig å snakke om hva NS 3720 omtaler og angir retningslinjer for, heller enn hva som vil være med og ikke i en analyse.

FutureBuilt Zero er en fast beregningsmetodikk med faste systemgrenser, som bygger på NS 3720. På grunn av de faste systemgrensene vil FutureBuilt Zero i mange tilfeller inkludere flere utslippskilder og livsløpsmoduler enn andre NS 3720 beregninger. FutureBuilt Zero er som sådan et spesifikt scenario under NS 3720. Det er likevel noen avvik i metodikk; FutureBuilt Zero:

- benytter dynamisk LCA. NS 3720 benytter statisk LCA i hovedscenariet, men åpner for å i tillegg vurdere vektning av tidspunkt for utslipp (dynamisk LCA).
- inkluderer kompenserende effekter fra ombrukbarhet og eksportert energi i hovedresultatet, mens NS 3720 betrakter disse som tilleggseffekter i modul D.
- betrakter opptak av biogent karbon i nyvekst som en konsekvens av hogst, mens NS 3720 definerer opptak biogent karbon som å ha skjedd før hogst.
- allokere forbrenningsutslipp i fjernvarmeanlegg (energigjenvinning) mellom avfallsektoren og energisektoren, mens NS 3720 allokere alle utslipp fra energigjenvinning til avfallssektoren.
- inkluderer fremtidig teknologiutvikling for alle utslippskilder, mens NS 3720 kun har teknologiutvikling for elektrisitet.

I resten av kapittelet sammenliknes hvert kapittel fra hovedteksten med NS 3720.

A.3.1 Tidspunkt for utslipp og teknologiutvikling

Tidsvektning omtales i kap. 6.6, 7.6.3, og A.2 av NS 3720

I NS 3720 skal det utføres følsomhetsanalyse for å undersøke hvordan variasjoner i data-grunnlag og valg av forutsetninger påvirker beregningene. Det gis et eksempel på en slik følsomhetsanalyse: “Det kan blant annet undersøkes hvordan andre tidshorisonter for beregning av globalt oppvarmingspotensial eller vektning av tidspunkt for når utslippene skjer i bygningens livsløp, påvirker resultatene.” I FutureBuilt Zero inngår en vektning av tidspunkt for utslipp i hovedscenariet, hvor vektningen skjer iht. det globale oppvarmingspotensialet som konsekvens av utslippene i løpet av en 100 års periode etter byggestart (dynamisk LCA).

Teknologivektning omtales i kap. 6.5 av NS 3720

NS 3720 legger til grunn en teknologisk utvikling for utslippsfaktor for elektrisitet (“el-faktor”), der elektrisitetsnettet går mot nullutslipp i 2050. Den nøyaktig samme metodikken

(Scenario 2: EU28+NO) brukes for å beregne elfaktorene i FutureBuilt Zero, og er oppgitt for hvert fremtidige byggeår. En slik antakelse om fremtidig teknologisk utvikling er i FutureBuilt Zero utvidet til å gjelde også andre energikilder, og produksjon, transport, og avfallshåndtering av materialer. Dette åpner NS 3720 for å gjøre gjennom *scenarier*. I NS 3720 anvendes scenarier til å undersøke antakelser om hva som vil skje frem i tid. Det gis et eksempel på et slikt scenario: “*Alternative scenarier som tar hensyn til teknologisk utvikling i strøm- og varmeproduksjon eller i sammensetningen av kjøretøyparken, kan vurderes der det er hensiktsmessig. Dette vil kunne påvirke blant annet nivå og valg av utslippsfaktorer som ligger til grunn for beregningene av de ulike alternativene.*” og “*Alternative scenarier for teknologisk utvikling i kjøretøyparken kan vurderes.*”.

A.3.2 Energibruk i drift

For elektrisitet til energibruk i drift er teknologifremskrivingen lik. Eneste forskjell fra NS 3720 er tidsvektingen.

For fjernvarme er det en forskjell da det brukes en 50/50 allokering mellom avfallsektoren og fjernvarmeproduksjon, for den delen av energimiksen i fjernvarme som kommer fra avfallsforbrenning. I NS 3720 er alle utslipp allokert til avfallsektor og utslippsfaktor for avfallsforbrenningsandelen i fjernvarme er derfor null. Begge metodene benytter gjennomsnittlig energimiks over levetiden, mens FutureBuilt Zero har en teknologitvilling i tillegg.

For bioenergi er det i FutureBuilt spesifisert en dynamisk LCA metodikk som skal anvendes. NS 3720 henviser til utslippsfaktorer fra *Fornybardirektivet* fra 2009.

A.3.3 Utslipp fra materialbruk

Produksjon og transport omtales i kap. 7.3 av NS 3720

NS 3720 inkluderer transport av avfall til avfallshåndtering (modul C₂), dette er ikke med i FutureBuilt Zero. Det forekommer ingen flere avvik fra NS 3720.

Byggeplass omtales i kap. 7.3 av NS 3720

På lik linje med NS 3720 skal klimagassutslipp som skyldes kapp og svinn på byggeplass tilordnes modul A5, der utslipp knyttet til produksjon, transport og avfallshåndtering inkluderes.

NS 3720 inkluderer “*transport av materialer, masser og utstyr til og fra byggeplass*” hvor FutureBuilt Zero kun inkluderer transport av *materialer, til byggeplass*.

NS 3720 inkluderer “*mobile og stasjonære arbeidsmaskiner inklusive drivstoff brukt på byggeplass*” hvor FutureBuilt Zero kun inkluderer utslipp fra drivstoff brukt av arbeidsmaskiner (i tillegg til all annen energibruk på byggeplass).

NS 3720 inkluderer “*energibruk til oppvarming, kjøling, herding, uttørring, belysning etc. på byggeplass*” som også inkluderes i FutureBuilt Zero.

NS 3720 inkluderer “*produksjon, transport og avfallshåndtering av kapp og svinn, emballasje og annet avfall.*” hvor FutureBuilt Zero kun inkluderer kapp og svinn, ikke emballasje og annet avfall.

Avfallsforbrenning omtales i kap. 6.3 og 7.4 av NS 3720

NS 3720 omtaler avfallshåndtering som helhet, og inkluderer alle aktiviteter fram til avfallet slutter å være avfall. I FutureBuilt Zero er kun *avfallsforbrenning* inkludert.

På lik linje med standarden skal avfallshåndtering også i FutureBuilt Zero belastes den informasjonsmodulen der avfallet oppstår.

NS 3720 sier videre at “*Det skal utarbeides scenarier for sluttbehandling av ulike typer avfall basert på relevant statistikk for behandling av avfall fra byggeaktivitet og dagens teknologi for de ulike typene sluttbehandling.*” FutureBuilt Zero spesifiserer ett slikt scenario som skal benyttes: gjennom bygningens levetid forekommer teknologitvilling på avfallsforbrenningen, en

avtakende andel av avfallet går til avfallsforbrenning, og energigjenvinning godskrives gjennom 50/50 allokering mellom avfallsektor og energisektor.

A.3.4 Karbonopptak

Biogent karbon omtales i kap. 7.4 av NS 3720

NS 3720 beskriver at *“Biogent karbon som er bundet og lagret i produkter, rapporteres i henhold til produktkategoriregler angitt i NS-EN 16485, dvs. i den modulen (A–C) der bindingen skjer, eller der utslipp av lagret karbon skjer. Biogent karbon skal også rapporteres separat.”*

FutureBuilt Zero anvender en annen metodikk der binding skjer som en konsekvens av (altså etter) hogst. I FutureBuilt Zero tas det hensyn til den midlertidige lagringseffekten av biogent karbon i bygningsprodukter. Binding og utslipp rapporteres (på lik linje med standarden) i den modulen der de skjer. Grunnet tidsvektingen i FutureBuilt Zero, og siden utslipp ofte skjer mange år etter binding, vil en ofte ende opp med en positiv klimaeffekt for biogent karbon. Denne positive klimaeffekten begrenses i FutureBuilt Zero.

Karbonatisering av sement omtales i kap. 7.4 av NS 3720

NS 3720 beskriver at *“Karbon som opptas i produktene, slik som ved karbonatisering av sementbaserte produkter, skal inkluderes i beregningene. Opptak beregnes som gitt i NS-EN 16757 for modulene B1, C3 og C4 samt modul D.”* FutureBuilt Zero inkluderer disse effektene kun i byggets levetid, altså i modul B1.

A.3.5 Avvergede utslipp

Ombruk omtales ikke i NS 3720

Ombruk av tidligere brukte bygningsmaterialer omtales ikke av NS 3720. FutureBuilt Zero definerer en enkel metodikk som kan benyttes for å anslå denne effekten.

Ombrukbarhet omtales i kap. 6.3 og 7.4

NS 3720 beskriver at *“Konsekvenser knyttet til ombruk, resirkulering og energigjenvinning utenfor systemgrensen for analysen kan beregnes i modul D, og resultatet i modul D skal rapporteres separat.”*, mens konsekvenser av ombrukbarhet inkluderes i hovedresultatene i FutureBuilt Zero. Ombrukbarhet omtales også indirekte: *“Utslipp fra aktiviteter knyttet til riving/avhending av bygningen beregnes ved å utarbeide scenarioer for hva som kan ombrukes, materialgjenvinnes og energigjenvinnes, og for hva som blir til avfall (deponi), som spesifisert i NS-EN 15978.”* I FutureBuilt Zero spesifiseres krav til dokumentasjon for å betrakte materialer som ombrukbare, og en fremgangsmåte for hvordan en slik miljøgevinst skal beregnes.

Eksportert energi omtales i kap. 7.5.2 av NS 3720

Eksportert energi behandles likt i FutureBuilt Zero, forutenom at fremtidig eksport av energi tillegges mindre vekt gjennom tidsvektning, og inngår i hovedresultatene.