
RAPPORT

DIREKTORATET FOR BYGGKVALITET

KLIMAGASSUTSLIPP FRA BYGGEMATERIALER

DATO / REVISJON: 15.11.22 / 06

DOKUMENTKODE: 10245392 RAP-RIM-01



Multiconsult

Dette dokumentet har blitt utarbeidet av Multiconsult på vegne av Multiconsult Norge AS eller selskapets klient. Klientens rettigheter til dokumentet er gitt for den aktuelle oppdragsavtalen eller ved anmodning. Tredjeparter har ingen rettigheter til bruk av dokumentet (eller deler av det) uten skriftlig forhåndsgodkjenning fra Multiconsult. Enhver bruk av dokumentet (eller deler av det) til andre formål, på andre måter eller av andre personer eller enheter enn de som er godkjent skriftlig av Multiconsult, er forbudt, og Multiconsult påtar seg intet ansvar for slikt bruk. Deler av dokumentet kan være beskyttet av immaterielle rettigheter og/eller eiendomsrettigheter. Kopiering, distribusjon, endring, behandling eller annen bruk av dokumentet er ikke tillatt uten skriftlig forhåndssamtykke fra Multiconsult eller annen innehaver av slike rettigheter.



RAPPORT

OPPDRAG	10245392 DIBK Beregning av klimagassutslipp	DOKUMENTKODE	10245392 RAP-RIM-01
EMNE	Forutsetninger	TILGJENGELIGHET	Begrenset
OPPDRAGSGIVER	Direktoratet for byggkvalitet	OPPDRAGSLEDER	Anna Marwig
KONTAKTPERSON	Inger Grethe England	UTARBEIDET AV	Simon Utstøl/Anna Marwig
KOPI	Ingunn Marton	ANSVARLIG ENHET	Seksjon Miljøledelse Bygg

SAMMENDRAG

DiBK har behov for bedre kunnskapsgrunnlag for å vurdere om det er grunnlag for å regulere et nivå for klimagassutslipp fra byggematerialer i TEK. Multiconsult er engasjert som rådgiver for DiBK og skal utføre klimagassberegninger som omfatter følgende punkter:

- Kartlegge det bundne klimafotavtrykket (materialer) i referansebyggene utarbeidet av DiBK, herunder enebolig, firemannsbolig, boligblokk og kontorbygg for beregningsperiodene 50 og 60 år samt for bruttoareal og bruksareal.
- Synliggjøre hvordan valg av beregningsverktøy påvirker beregningene ved å benytte minimum to tilgjengelige beregningsverktøy. Verktøy valgt er ISY Calcus, One Click LCA og Reduzer.
- Kartlegge potensiale for reduksjon av klimagassutslipp for referansebyggene i størrelsesorden 10 %, 20 % og 30 % og kostnader knyttet til reduserende tiltak

Beregningene utført i ISY Calcus er begrenset til materialproduksjon (A1-A3) og utskiftning (B4). Beregningene i One Click LCA og Reduzer omfatter i tillegg transport til byggeplass (A4), montering og avfall på byggeplass (A5) samt avfallstransport og behandling på slutten av byggets levetid (C1-C4).

Utslipp knyttet til materialproduksjon (A1-A3) står for i gjennomsnitt 70 % av det totale utslippet for de bundne utslippene for referansebyggene. Utskiftninger av materialer (B4) utgjør i gjennomsnitt 13 % av de bundne utslippene. Transport til byggeplass (A4) og montering og avfall på byggeplass (A5) samt behandling på slutten av byggets levetid (C1-C4) utgjør i gjennomsnitt hhv. 4, 5 og 7 % av de samlede bundne utslippene i referansebyggene. Det totale utslippet for A1-A3 og B4 har en variasjon på 20 % for boligblokk, 32 % for enebolig, 46 % for firemannsbolig og 33 % kontorbygg.

Kartleggingen viser at boligblokk og kontorbygg har et potensial til å redusere utslippet med over 10 % og enebolig og firemannsbolig med over 20 %, kun ved et bevisst materialvalg som tilfredsstiller anbefalte 'terskelverdier', uten noen kostnadskonsekvens. For enebolig og firemannsboliger vil de kostnadskrevende tiltakene, å skifte ut betong til lavkarbonklasse B eller A, redusere utslippet med 1-4 prosentpoeng og ha en merkostnad på 30 til 54 kr/m²BTA for eneboligen og 56 til 102 kr/m²BTA for firemannsboligen. Den ringe effekten er grunnet at betong kun benyttes i gulv på grunn og balkonger for byggene. Allikevel er det mulig å få en total klimagassreduksjon på respektive 29 og 31 % for småhusene. For boligblokk og kontorbygg vil utskiftningen av betongkvalitet til lavkarbonklasse B redusere utslippet med respektive 8 og 6 %, med en merkostnad på respektive 129 og 654 kr/m²BTA. Ved å velge lavkarbonklasse A, vil reduksjonen fra Lavkarbonklasse C være 13 og 9 % og gi en merkostnad på 190 og 923 kr/m²BTA for respektive boligblokk og kontorbygg. Byggene vil da kunne redusere det totale utslippet med respektive 26 og 27 %. I praksis finnes det flere alternative tiltak utover de som vises i denne studien, både mindre tiltak som bruk av ombruksmaterialer og større tiltak som vil ha påvirkning på det konstruktive eller andre funksjonskrav.

06	24.03.23	Sluttrapport komplettert med verktøy Reduzer	Simon Utstøl	Anna Marwig	Anna Marwig
04	22.11.22	Sluttrapport inkludert verktøy ISY Calcus og One Click LCA	Simon Utstøl	Anna Marwig	Anna Marwig
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

INNHALDSFORTEGNELSE

1	Innledning	5
2	Metode og forutsetninger.....	6
2.1	Formål og omfang.....	6
2.2	Spesifikasjon av referansebygg.....	6
2.3	Systemgrenser	7
2.4	Verktøy og fremgangsmåte	8
2.4.1	Scenarier	10
2.5	Beregning av tiltak	10
2.6	Kostnadsvurdering.....	11
3	Resultater	11
3.1	Trinn 1: klimagassberegning referansebygg	11
3.1.1	Sensitivitetsanalyser beregningsperiode og areal.....	18
3.2	Trinn 2: tiltak for klimagassreduksjon.....	19
4	Diskusjon	24
4.1	Systemgrenser	24
4.1.1	Grunn og fundament	24
4.1.2	VVS-anlegg	24
4.1.3	Solceller.....	25
4.1.4	Livsløpsmoduler	25
4.2	Referansestudier.....	26
4.3	Bruk av referansebyggene til andre bygningskategorier	27
4.4	Forutsetninger i LCA-verktøy	28
4.4.1	Lokaliseringsmetode for materialproduksjon	28
4.4.2	Transport til byggeplass	29
4.4.3	Levetid	29
4.4.4	Avfallsbehandling.....	30
5	Vedlegg.....	31
5.1	Systemgrense bygningsdeler i ulike krav/sertifiseringer	31
5.2	Systemgrense livsløpsmoduler i ulike krav/sertifiseringer	31

1 Innledning

Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) har fått i oppdrag fra Kommunal- og distriktsdepartementet (KDD) å vurdere hvordan utslipp fra bygging kan reduseres, og gi innspill til departementet om dette. For å gjennomføre dette oppdraget har DiBK behov for bedre kunnskapsgrunnlag for å vurdere om det er grunnlag for å regulere et nivå for klimagassutslipp fra byggematerialer i TEK.

Multiconsult er engasjert som rådgiver for DiBK og skal utføre klimagassberegninger og vurderinger i to trinn:

- Trinn 1 – Klimagassberegninger referansebygg: DiBK har utarbeidet nye referansebygg med TEK17 standard for enebolig, firemannsbolig, boligblokk og kontorbygg. Det skal utføres klimagassberegninger for disse fire referansebyggene med representative materialvalg for dagens marked. Beregninger skal utføres med minst to ulike verktøy.
- Trinn 2 – Scenarioanalyse: På grunnlag av resultater fra trinn 1 skal det utredes potensiale for reduksjon av bundne klimagassutslipp og kostnader knyttet til dette.

2 Metode og forutsetninger

2.1 Formål og omfang

Formålet med beregningen er definert av DiBK og omfatter følgende punkter:

- Kartlegge det bundne klimafotavtrykket (materialer) i referansebyggene utarbeidet av DiBK, herunder enebolig, firemannsbolig, boligblokk og kontorbygg.
- Synliggjøre hvordan valg av beregningsverktøy påvirker beregningene ved å benytte minimum to tilgjengelige beregningsverktøy.
- Kartlegge potensiale for reduksjon av klimagassutslipp for referansebyggene i størrelsesorden 10 %, 20 % og 30 % og kostnader knyttet til reduserende tiltak.

2.2 Spesifikasjon av referansebygg

Referansebyggene er utarbeidet av DiBK og skal representere standardbygg i bygningskategoriene enebolig, firemannsbolig, boligblokk og kontorbygg. Referansebyggene er utarbeidet gjennom analyser av boligkarakteristika for byggede boliger basert på data fra SSB for årene 2014 til 2018¹ (Figur 2-1).

Referansebyggene er definert og tilgjengeliggjort som ISY Calcus modeller og inkluderer materialspesifikasjon, plassering og mengder. Nøkkeltall for referansebyggene er oppgitt i Tabell 2-1.

Referansebyggene skal representere standard byggepraksis og materialvalg i Norge for de ulike bygningskategoriene. Oppbyggingen og den generelle materialspesifikasjonen av referansebyggene i klimagassberegningen er definert i tidligere utredninger (se *Kostnadsanalyser av regelverksendringer Fase 1: Etablere analysemodell*) og ligger til grunn i denne beregningen.

Tabell 2-1 Nøkkelinformasjon referansebygg

Bygg	Enebolig	Firemannsbolig	Boligblokk	Kontorbygg
BTA (m²)	168	428	6 070	2 878
BRA (m²)	145	391	4 736	2 185
Etasjer	2	2	4+1 (park.kjeller)	4+1 (park.kjeller)
Oppbygging hovedtrekk	Oppført i lette konstruksjoner med bindingsverk i inner- og yttervegger, trebjelkelag mellom etasjer, betongdekke på grunn og saltak med W-takstol som takkonstruksjon.	Oppført i lette konstruksjoner med bindingsverk i inner- og yttervegger, trebjelkelag mellom boenheter og for tak, betongdekke på grunn.	Tradisjonell lavblokk i betong med fire etasjer med ti leiligheter per plan. Bærende vegger og dekker i plasstøpt betong samt stålsøyler tilknyttet balkonger. Isolert bindingsverk i yttervegger, skillevegger mellom leiligheter i bærende betong.	Tradisjonelt kontorbygg over fire etasjer med underliggende kjeller med parkering. Forretningsbygg med glassfasader i plan 1. Bæresystem i stål og betong, med hulldekker som konstruktive løsninger. Ikke-bærende vegger er bindingsverk. Systemvegger mellom cellekontorer.



Figur 2-1 Illustrasjoner av referansebyggene inkl. enebolig (øvre venstre, ill.av Dråpen fra Norgeshus), firemannsbolig (øvre høyre), boligblokk (nedre venstre) og kontorbygg (nedre høyre).

2.3 Systemgrenser

Systemgrenser er grensesnittet mellom det som omfattes og det som ikke omfattes i beregningene og er definert av DiBK i samråd med Multiconsult. Systemgrenser omfatter både;

- Systemgrenser i tid: avgrensning av deler av byggets livsløp som er inkludert
- Systemgrenser i rom: avgrensning av deler av bygningskroppen som er inkludert

Stadier i bygningers livsløp inndeles iht. NS 3720 i informasjonsmoduler og klimagassutslipp over bygningers livsløp tilordnes disse modulene iht. modularitetsprinsippet. Systemgrensene for disse beregningene er satt i samråd med DiBK og omfatter produksjon av materialer (A1-A3), transport av materialer til byggeplass (A4), avfall på byggeplass (A5), utskifting av materialer (B4), i tillegg til transport og håndtering ved livsløpets sluttstadium (C2-C4). En skematisk fremstilling av systemgrenser er gjengitt i Tabell 2-2.

Systemgrensen for bygningskroppen er satt i samråd med DiBK og gjengitt i Tabell 2-3. Avgrensningen av bygningsdeler er gjort på bakgrunn av en vurdering av tilgjengelighet av miljødokumentasjon nødvendig for å utføre klimagassberegninger.

Systemgrensene avviker i leveransen i forhold til kravspesifikasjonen på følgende punkter:

- Informasjonsmodul B2 (vedlikehold): Det er i kravspesifikasjonen beskrevet at beregningene skal inkludere B2 vedlikehold. Vedlikehold omfatter iht. NS-EN 15978:2011 rengjøringsprosesser samt alle prosesser for å vedlikeholde den funksjonelle og tekniske ytelsen til bygningskonstruksjonen (e.g. maling på vinduskarmen, dører osv.). Maling er som funksjon av verktøyene benyttet inkludert i modul B4 (utskifting). Det er for øvrig ikke datagrunnlag eller funksjonalitet i verktøyene for å beregne utslipp knyttet til vedlikehold i referansebyggene.
- For VVS-anlegg (bygningdelene 31-37) er miljødokumentasjonen per i dag svært mangelfull og utelukkes derfor i disse beregningene.

- Prefabrikkerte rom (bygningssdel 61) er ikke inkludert i beregningene da bygningssdelen ikke er representert i datagrunnlaget. Materialer fra alle rom er fordelt på de øvrige bygningssdelene, inklusive rom som kan tenkes å leveres som prefabrikkert, som for eksempel våtrom.
- Lokal elkraftproduksjon (bygningssdel 47) og Lokal varmemproduksjon (bygningssdel 64) er ikke inkludert i beregningene da bygningssdelene ikke er representert i datagrunnlaget.

Klimagassberegningene er utført basert på en beregningsperiode på 60 år med en sensitivitetsvurdering av en alternativ beregningsperiode på 50 år. For trinn 2 er det benyttet en beregningsperiode på 50 år.

Tabell 2-2 Bygningers livsløp etter NS 3720, inkluderte moduler i beregningen utført i hhv. One Click LCA (OC), Reduzer (RE) og ISY Calcus (IC) markert med 'x'

INFORMASJON OM BYGNINGENS LIVSLØP																	TILLEGGSINFORMASJON UTOVER BYGNINGENS LIVSLØP
Produktstadiet A1 – A3			Gjennomføringsstadiet A4 – A5		Bruksstadiet B1 – B8								Livsløpets sluttstadie C1 – C4				Konsekvenser utover systemgrensen D
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7*	B8	C1	C2	C3	C4	D
Råvarer	Transport	Produksjon	Transport	Anlegg, bygge- og monteringsarbeid	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftning	Ombygging	Energibruk i drift	Vannforbruk i drift	Transport i drift	Riving	Transport	Avfallsbehandling	Avhending	Material- og energigjenvinning og ombruk av materialer og eksport av egenprodusert energi
OC	X	X	X	X			(X)	X						X	X	X	
RE	X	X	X	X			(X)	X						X	X	X	
IC	X	X	X					X									

Tabell 2-3 Inkluderte deler av bygningsskroppen jamfør NS 3451 Bygningssdelstabell for bygninger og tilhørende uteområder.

Bygningssdel	Bygningselement
21	Grunn og fundamenter
22	Bæresystemer
23	Yttervegger
24	Innervegger
25	Dekker
26	Yttertak
28	Trapper, balkonger
61	Prefabrikkerte rom

2.4 Verktøy og fremgangsmåte

Klimagassberegninger for bygninger kan utføres med en rekke ulike verktøy og i beregningen av klimagassutslippet fra referansebyggene skal det iht. DiBKs kravspesifikasjon benyttes minimum to verktøy. Det finnes ulike tilbydere av slike verktøy i dag inkludert One Click LCA, ISY Calcus, Reduzer, ByggLCA, SimaPro og den nye norske versjonen av det danske LCabyg, i tillegg til generelle regneverktøy som Microsoft Excel.

Her er det valgt å benytte:

- One Click LCA, markedsledende verktøy og den mest utbredte programvaren for klimagassberegninger av bygg i Norge.
- ISY Calcus, et program utviklet for kostnadsanalyser som også inneholder en database med klimagassdata.
- Reduzer, ny (2022) programvare for klimagassberegninger for bygg. Alternativ til One Click LCA.

I ISY Calcus er samme modell og materialspesifikasjon benyttet i opp mot både kostnadsdata og klimagassdata.

I One Click LCA, der oppbyggingen har vært generisk beskrevet (e.g. 'parkett') er det i denne beregningen valgt utslippsfaktorer for materialer som representerer 'bransjestandard' slik det defineres i DFØs *Veileder for klimagasskrav i byggeprosjekter*² og supplert med One Click LCAs modul *Carbon Designer*.

Nøkkelinformasjon om programvarene benyttet i denne beregningen er oppsummert i Tabell 2-4. Beregningene er utført basert på funksjonalitet, beregningsregler og databaser i programmene ved beregningstidspunktet. Framtidige oppdateringer av verktøyene vil kunne påvirke resultatene.

Tabell 2-4 Nøkkelinformasjon om verktøy benyttet i denne beregningen

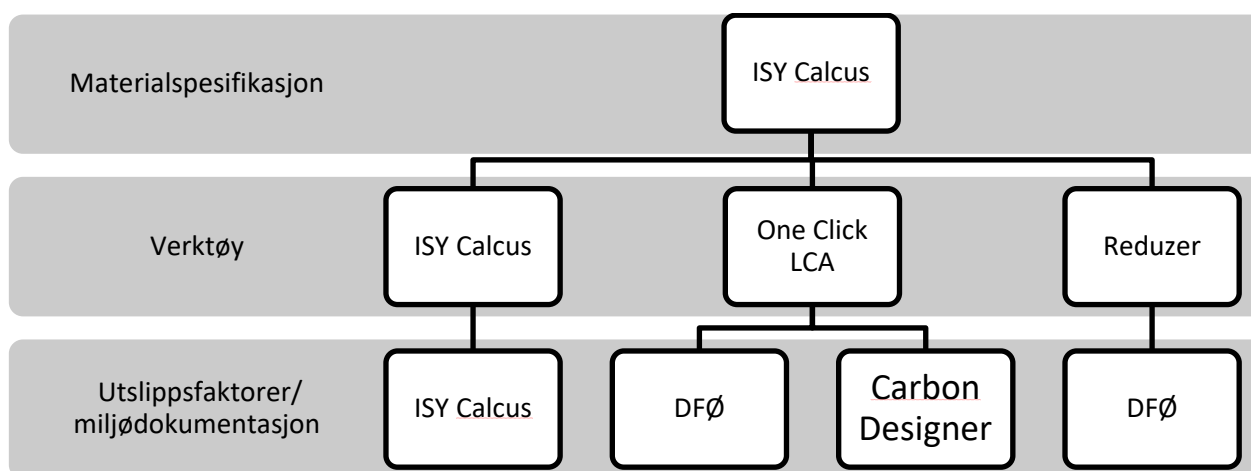
Verktøy	One Click LCA	ISY Calcus	Reduzer
Miljødokumentasjon	Database med produkter og konstruksjoner utslippsfaktorer fra EPD Norge og en rekke andre internasjonale programoperatører, i tillegg til egenutviklede utslippsfaktorer.	Database med produkter og konstruksjoner med utslippsfaktorer primært basert på dokumentasjon fra EPD Norge. Mulighet for å legge inn spesifikke EPDer med tilhørende modulverdier.	Database (under utvikling) med produkter og konstruksjoner utslippsfaktorer fra EPD Norge, i tillegg til egenutviklede utslippsfaktorer.
Kompatibilitet med NS 3720	Tilpasset verktøy iht. kravene i NS 3720; fullstendig livsløpsanalyse inkludert materialproduksjon (A1-A3), driftsfase inkl. energibruk (B1-B8) og avfallshåndtering/avhending (C1-C4)	Beregning av klimagassutslipp begrenset til materialer, og beregning av klimagassutslipp materialer begrenset til materialproduksjon (A1-A3) og utskifting (B4).	Tilpasset verktøy iht. kravene i NS 3720; fullstendig livsløpsanalyse inkludert materialproduksjon (A1-A3), driftsfase inkl. energibruk (B1-B8) og avfallshåndtering/avhending (C1-C4)

² DFØs *Veileder for klimagasskrav i byggeprosjekter, 2020*

I klimagassberegningen er materialene i ISY Calcus modellene matchet i en prioritert rekkefølge som følger:

- 1) Referansenivåer (basisnivå) lagt til grunn for ulike materialtyper i DFØs *Veileder for klimagasskrav i byggeprosjekter*.
- 2) Bransjetypiske materialer basert på One Click LCA modul for norske referansebygg (Carbon Designer). Dette gjelder materialer i referansebyggene som ikke var representert i DFØs veileder.
- 3) Der referansenivåer ikke har vært tilgjengelig gjennom 1) og 2) er det forsøkt å identifisere produkter med en utslippsfaktor tilnærmet gjennomsnitt.

I tillegg til beregningen av referansebyggene basert på materialspesifikasjonen i kostnadsanalysen er det gjort en beregning av referansebyggene i One Click LCA modulen *Carbon Designer*. Carbon Designer generer referansebygg med bransjetypiske materialvalg og en standard planløsning for bygningskategorien og arealet. Det er totalt utført 16 beregninger for referansebyggene hvorav 4 er gjort i ISY-Calculus, 8 (inkludert Carbon Designer) i One Click LCA og 4 i Reduzer (Figur 2-2).



Figur 2-2 Inndata i de fire beregningene utført per referansebygg

2.4.1 Scenarier

Scenarier er antagelser som ligger til grunn i klimagassberegningen og inkluderer blant annet antagelser om transportavstander og transportmetode til byggeplass, kapp og svinn på byggeplass, materialenes levetid i bygget, og sluttbehandlingen på slutten av byggets levetid. I verktøyene One Click LCA og Reduzer er det en rekke forhåndsdefinerte scenarier som kan benyttes og justeres i klimagassberegninger for bygg. For ISY-Calculus er det ikke mulig å legge til scenarier for transportavstander, levetider eller avfallsbehandling. I denne klimagassberegningen er standardscenarier (programvarens anbefalte innstillinger) benyttet for beregninger utført i One Click LCA og Reduzer. Forutsetninger i LCA-verktøyene er nærmere omtalt i kapittel 4.4.

2.5 Beregning av tiltak

I trinn 2 i utredningen skal tiltaksscenarioer for klimagassreduksjon beregnes for DiBKs fire referansebygg. Det er for referansebyggene satt opp tiltak som kan redusere klimagassutslippet, men mandatet begrenser tiltakene til bytte av materialer under forutsetning at det ikke får konsekvenser for konstruksjonssikkerhet og bygningsfysikk. Dette begrenser mulighetsrommet for tiltak i denne beregningen til enkle utskiftninger av sammenlignbare materialtyper (e.g. betong innen samme fasthetsklasse med ulik grad av resirkulert tilslag), eller utskiftning av materialer fra 'bransjetypiske' til material som tilfredsstillende 'terskelverdier'. Med 'terskelverdier' menes materialer med oppgitt utslipp som tilfredsstillende de anbefalte terskelverdiene i Grønn Byggallianses 'Grønn materialguide v3.1' og/eller materialer innen en materialkategori som er under

40.persentilen iht. referansegruppen av tilsvarende materialer i One Click LCA. Persentiler er verdier som en gitt prosentandel av en gruppe observasjoner er mindre enn eller lik. I denne sammenhengen betyr det at 40 % av produktene i produktgruppen har lik eller lavere utslipp.

Innenfor denne rammen er tiltak prioritert for materialer med relativt (minimum 10 største) store bidrag for de totale bundne utslippene i referansebyggene. Utvelgelsen tilsvarer alle materialer med påvirkning på over 3 % av det totale utslippet per referansebygg.

Ved vurderingen av tiltak er omfanget av beregningen begrenset til materialproduksjon (A1-A3), transport til byggeplass(A4), avfall byggeplass (A5) og utskifting (B4). Bygningsdel 21 Grunn og fundamenter er i samråd med DiBK ikke inkludert i beregningen av tiltakenes effekt på referansebyggenes totalutslipp.

Beregningen er utført for en beregningsperiode på 50 år, og utført i One Click LCA.

2.6 Kostnadsvurdering

Kostnaden ved de implementerte tiltakene i referansebyggene er estimert basert på Norsk prisbok 2022-01 utgitt av Norconsult Informasjonssystemer AS (Nois) og Bygganalyse AS. Grunnlag for priser i registeret er Østlandspriser prisdato februar 2022. Ulike aktører kan velge å prise samme arbeid ulikt, grunnet ulike innkjøpsbetingelser, ulike fraktkostnader, ulike administrative kostnader, og ulik effektivitet på byggeplass. Denne forskjellen er i begrenset grad interessant for denne rapporten. Formålet med denne analysen er primært å identifisere differensen mellom to ulike regelsett.

Kostnadene ved de ulike tiltakene er estimert som differansen mellom pris på de aktuelle materialene i referansebygget (e.g. betong lavkarbonklasse C) og prisen på materialet foreslått som tiltak (e.g. betong lavkarbonklasse A). Betongkvalitet Lavkarbonklasse C er ikke inkludert i prisboken for 2022. Det er derfor benyttet siste tilgjengelige prisbok hvor lavkarbonklasse C er medtatt og regulert opp prisene til gjeldende prisnivå med å benytte samme økningen som for de andre lavkarbonklassene. Lavkarbonklasse A er ikke tilgjengelig for alle fasthetsklasser. Ved mangel er priser skalert opp med utgangspunkt i prisene for lavkarbonklasse B i samme fasthetsklasse samt tilgjengelig lavkarbonklasse A i en annen fasthetsklasse.

3 Resultater

3.1 Trinn 1: klimagassberegning referansebygg

Estimerte klimagassutslipp for referansebyggene etter verktøy og modul er oppsummert i Tabell 3-1 og illustrert i figur 3-1. Beregningene utført i ISY Calcus er begrenset til materialproduksjon (A1-A3) og utskifting (B4). Beregningene i One Click LCA og Reduzer omfatter i tillegg transport til byggeplass (A4), montering og avfall på byggeplass (A5) samt avfallstransport og behandling på slutten av byggets levetid (C1-C4).

A1-A3 og B4 utgjør de største postene av de bundne utslippene uavhengig av referansebygg og verktøy. Tabell 3-2 viser prosentvis fordeling for verktøyene One Click og Reduzer der flere livsløpsmoduler er inkludert. Utslippene knyttet til materialproduksjon (A1-A3) utgjør 49-84 % (70 % gj.snitt) av de bundne utslippene og utskiftninger av materialer (B4) utgjør 6-30 % (13 % gj. snitt). Modulene A4, A5 samt C1-C4 er kun beregnet i verktøyene One Click LCA og Reduzer og utgjør hhv. 1-11 %, 3-6 % og 5-10 % av de samlede bundne utslippene i referansebyggene for disse verktøyene. Variasjonen i utslipp mellom verktøyene viser hvor sensitive resultatene er for forutsetningene og antagelsene som ligger til grunn i de ulike verktøyene. Det totale utslippet for A1-A3 og B4, som inkluderes i alle tre verktøyene, har en variasjon, avhengig av verktøy og utslippsfaktorer, på 20 % for boligblokk, 32 % for enebolig, 46 % for firemannsbolig og 33 %

kontorbygg. Variasjon i utslipp knyttet til A1-A3 er knyttet til kompenseringfunksjon til prosjektlokasjon (One Click LCA) og noe variasjon i utslippsfaktorer for lignende materialer.

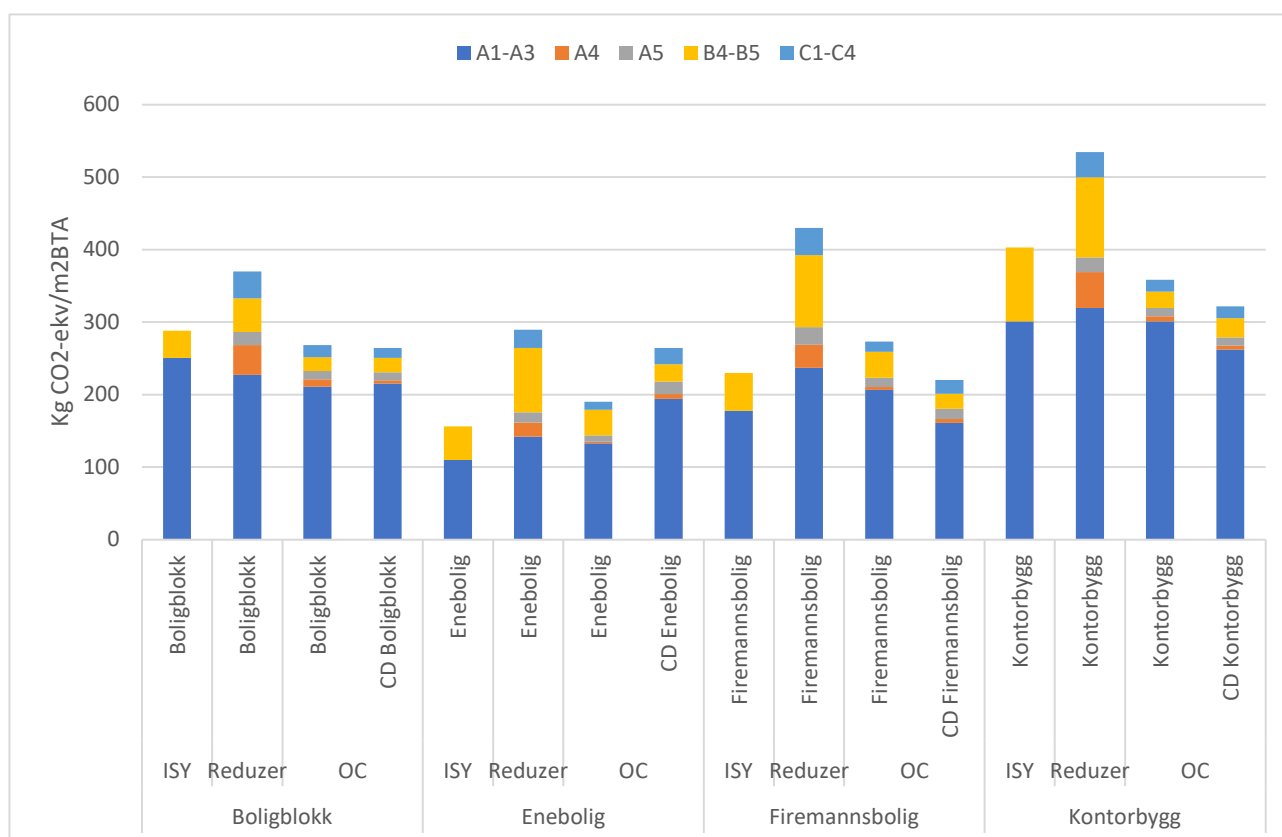
Det er betydelig variasjon mellom verktøyene i utslippene knyttet til utskiftning. Dette er både knyttet til variasjon mellom verktøyene i antatte levetider på sentrale materialer, utslippsintensitet i materialene som skiftes ut, kompensering av utslippsfaktorer til lokale forhold i One Click LCA, i tillegg til variasjon i transportavstander fra fabrikk til byggeplass for utskiftede materialer. Eksempelvis har ISY Calcus-verktøyet en høy utslippsfaktor på gulvtepper som gir stort utslag på B4, da den skiftes ut 3 ganger under byggets levetid. Reduzer har en levetid på gulvtepper på 8 år og skiftes dermed ut 7 ganger. Ulike forutsetninger for transportavstander (Reduzer benytter vesentlig større standardavstander) påvirker også utslippene ved utskiftning av materialer, i tillegg til utslipp knyttet til A4.

Også C1-C4 er vesentlig høyere for Reduzer enn One Click LCA. Dette er henger sammen med at avfallsprosessen i Reduzer for andeler fossilt og biogent (trevirke) går til forbrenning, mens standard avfallsprosess i One Click er justert etter typiske prosesser i markedet prosjektet er lokalisert og inkluderer materialgjenvinning.

Forutsetninger for de ulike verktøyene omtales nærmere i kapittel 4.4.

Tabell 3-1 Klimagassutslipp (kg CO₂-ekv/m²BTA) etter referansebygg, verktøy ('OC' = One Click LCA) og livsløpsmodul. Beregningsperiode 60 år

Referansebygg	Verktøy	A1-A3	A4	A5	B4	C1-C4	Sum A1-A3+B4	Totalsum
Boligblokk	ISY Calcus	251			37		288	288
Boligblokk	Reduzer	227	41	18	46	37	274	370
Boligblokk	OC	211	10	11	19	17	230	268
CD Boligblokk	OC	215	5	11	20	14	235	264
Enebolig	ISY Calcus	110			46		156	156
Enebolig	Reduzer	142	20	14	89	25	230	289
Enebolig	OC	132	2	9	35	11	168	190
CD Enebolig	OC	194	6	17	24	23	218	264
Firemannsbolig	ISY Calcus	178			52		230	230
Firemannsbolig	Reduzer	237	32	24	99	38	336	430
Firemannsbolig	OC	207	4	13	35	14	242	273
CD Firemannsbolig	OC	161	5	14	21	19	182	220
Kontorbygg	ISY Calcus	301			102		403	403
Kontorbygg	Reduzer	319	49	20	111	35	430	534
Kontorbygg	OC	301	7	12	23	16	323	358
CD Kontorbygg	OC	262	6	12	26	17	288	322



Figur 3-1 Klimagassutslipp referansebygg etter verktøy (ISY Calcus ('ISY'), Reduzer og One Click('OC'), og moduler. Beregningsperiode 60 år.

Tabell 3-2 Prosentvis fordeling av utslipp per livsløpsmodul etter referansebygg for verktøyene One Click LCA ('OC') og Reduzer.

Referansebygg	Verktøy	A1-A3	A4	A5	B4	C1-C4
Boligblokk	Reduzer	61 %	11 %	5 %	13 %	10 %
Boligblokk	OC	79 %	4 %	4 %	7 %	6 %
CD Boligblokk	OC	81 %	2 %	4 %	8 %	5 %
Enebolig	Reduzer	49 %	7 %	5 %	30 %	9 %
Enebolig	OC	70 %	1 %	5 %	19 %	6 %
CD Enebolig	OC	73 %	2 %	6 %	9 %	9 %
Firemannsbolig	Reduzer	55 %	7 %	6 %	23 %	9 %
Firemannsbolig	OC	76 %	1 %	5 %	13 %	5 %
CD Firemannsbolig	OC	73 %	2 %	6 %	9 %	9 %
Kontorbygg	Reduzer	60 %	9 %	4 %	21 %	6 %
Kontorbygg	OC	84 %	2 %	3 %	6 %	5 %
CD Kontorbygg	OC	81 %	2 %	4 %	8 %	5 %
Gjennomsnitt		70 %	4 %	5 %	13 %	7 %

Estimerte utslipp for referansebyggene etter verktøy og bygningsdel (2-siffer) er oppsummert i Tabell 3-3 og Figur 3-2. Variasjon i forutsetninger og antagelser i verktøyene som påvirker utslippene er omtalt over og forklarer i hovedsak også variasjonen i fordeling av bundne utslipp mellom bygningsdeler.

Bygningsdel 25 *Dekker* utgjør 31-44 % av de bundne utslippene og er bygningsdelen med det største utslippsbidraget for referansebyggene kontorbygg og boligblokk uavhengig av verktøy. Variasjonen i utslippet mellom verktøyene korrelerer med utslippsfaktoren for armeringen i betongen i de ulike verktøyene, der ISY Calcus bruker en utslippsfaktor høyere enn One Click LCA-beregningene. Ettersom boligblokken har mye plastøppte konstruksjoner vil forskjellen ha større effekt på boligblokken sammenlignet med de andre referansebyggene. Carbon Designer (CD) bruker generelt lavkarbonklasse B i all betong i referansebyggene, som har et lavere utslipp enn lavkarbonklasse C. Forskjellen i betongtykkelse på gulv på grunn for kontorbygget kompenserer effekten av lavkarbonklasse B noe.

For betong av fasthetsklasse B35 er utslippsfaktoren høyere i ISY Calcus for lavkarbonklasse C enn i One Click. Denne fasthetsklasse brukes kun i bygningsdel 21- Grunn og fundamenter.

De ulike referansebyggene og verktøyene har bæresystemet i ulike bygningsdeler, slik forskjellene i bygningsdel 22 kan ikke ses på separat uten å gå dypere inn i materien på hvor de bærende konstruksjonene er plassert.

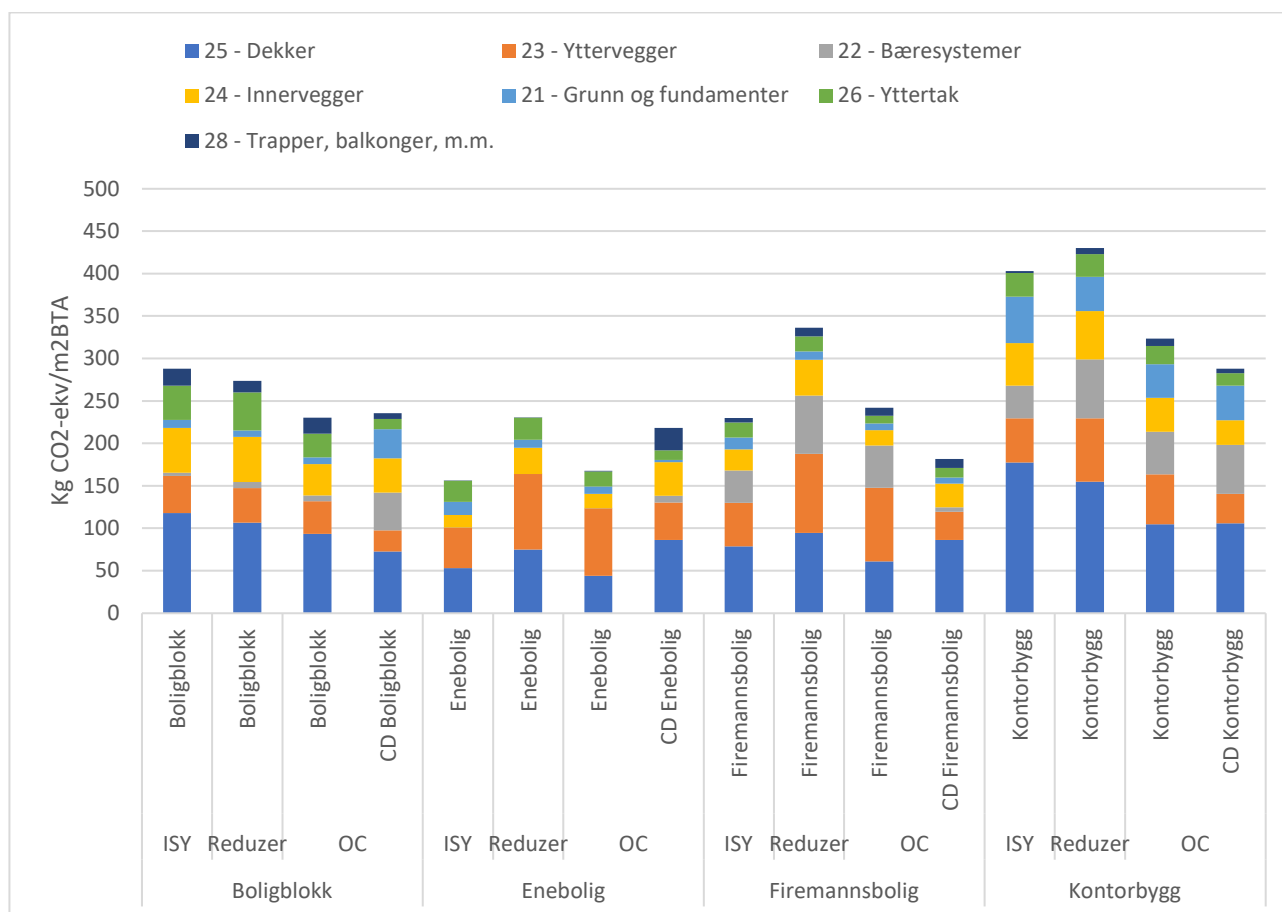
For *bygningsdel 24 Innervegger* for boligblokk er det en forskjell på 43 %, mellom ISY Calcus og One Click-beregningen. Dette grunner seg i at lettklinkervegg i ISY Calcus har en markant høyere utslippsfaktor.

For enebolig og firemannsboligen utgjør *bygningsdel 25 Dekker* 25-47 % av de bundne utslippene. Den fremste variasjonen er forskjellen i betongtykkelse i gulv på grunn. One Click Carbon Designer (CD) bruker en tykkelse på 300 mm i sammenligning med 100 og 200 mm i respektive enebolig og firemannsbolig. Dette kompenseres gjennom ulike utslippsfaktorer for betong i de ulike beregningene.

Bygningsdel 23 Yttervegger står for 18-48 % av de bundne utslippene for enebolig og firemannsboligen. Den største variasjonen grunner seg i at One Click Carbon Designer (CD) ikke inkluderer solavskjerming og har et uforholdsmessig lavt utslipp på vinduer. One Click har også markant høyere utslippsfaktor enn ISY Calcus på solavskjermingen.

Tabell 3-3 Klimagassutslipp (Kg CO₂-ekv/m² BTA) etter referansebygg ('CD' = Carbon Designer), verktøy ISY Calcus, Reduzer og One Click LCA ('OC'), og bygningsdel på 2-siffer nivå. Omfatter livløspmodulene A1-A3 + B4. Beregningsperiode 60 år.

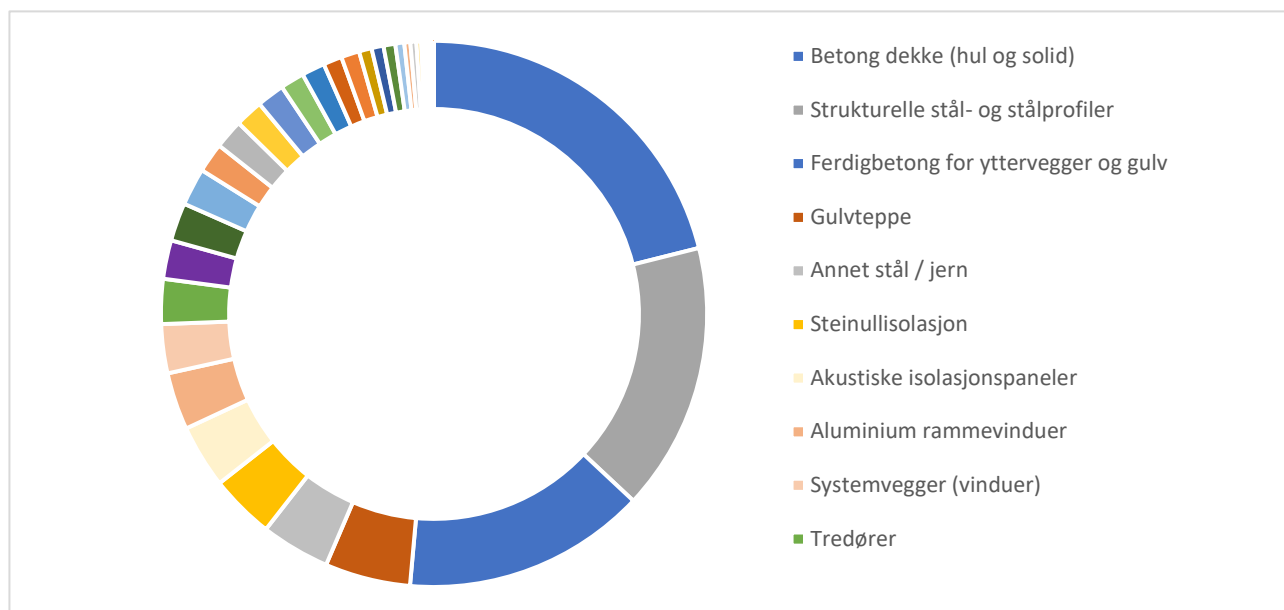
Kategori	Program	Alternativ	21 - Grunn og fundamenter	22 – Bæresystemer	23 – Yttervegger	24 – Innervegger	25 - Dekker	26 - Yttertak	28 - Trapper, balkonger, m.m.	Sum
Boligblokk	ISY Calcus	Boligblokk	10	4	44	53	118	40	20	288
	Reduzer	Boligblokk	8	7	41	53	107	45	13	274
	OC	Boligblokk	8	7	39	37	93	28	19	230
		CD Boligblokk	34	45	25	40	73	12	7	235
Enebolig	ISY Calcus	Enebolig	15	0	48	15	53	25	0	156
	Reduzer	Enebolig	9	0	89	31	75	26	0	230
	OC	Enebolig	8	0	80	17	44	18	1	168
		CD Enebolig	3	8	44	40	86	11	26	218
Firemannsbolig	ISY Calcus	Firemannsbolig	14	38	51	25	79	18	5	230
	Reduzer	Firemannsbolig	10	69	93	42	94	18	10	336
	OC	Firemannsbolig	8	50	87	18	61	9	9	242
		CD Firemannsbolig	7	5	33	28	86	11	11	182
Kontorbygg	ISY Calcus	Kontorbygg	55	39	52	50	177	28	2	403
	Reduzer	Kontorbygg	40	69	75	57	155	27	7	430
	OC	Kontorbygg	39	50	59	40	105	22	9	323
		CD Kontorbygg	41	57	35	29	106	15	5	288



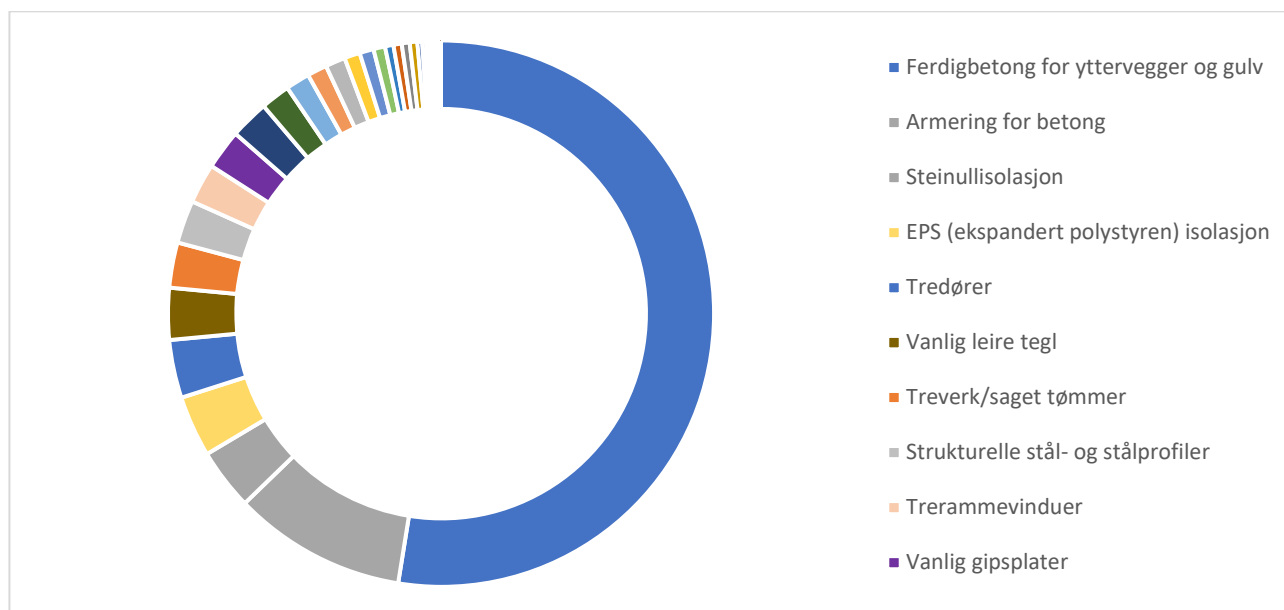
Figur 3-2 Klimagassutslipp (kg CO₂-ekv/m² BTA) A1-A3 + B4 etter referansebygg, verktøy ISY Calcus (ISY), Reduzer og One Click LCA ('OC'), og bygningsdel på 2-siffer nivå. Omfatter livløpsmodulene A1-A3 + B4. Beregningsperiode 60 år.

Klimagassutslippet fordelt på såkalte ressurstyper i de ulike referansebyggene beregnet i One Click LCA er illustrert i Figur 3-3 til Figur 3-6. Ressurstyper representerer overordnede materialkategorier som automatisk tildeles materialer i One Click LCA og benyttes i beregninger av klimagassutslippene til blant annet avfallsbehandling.

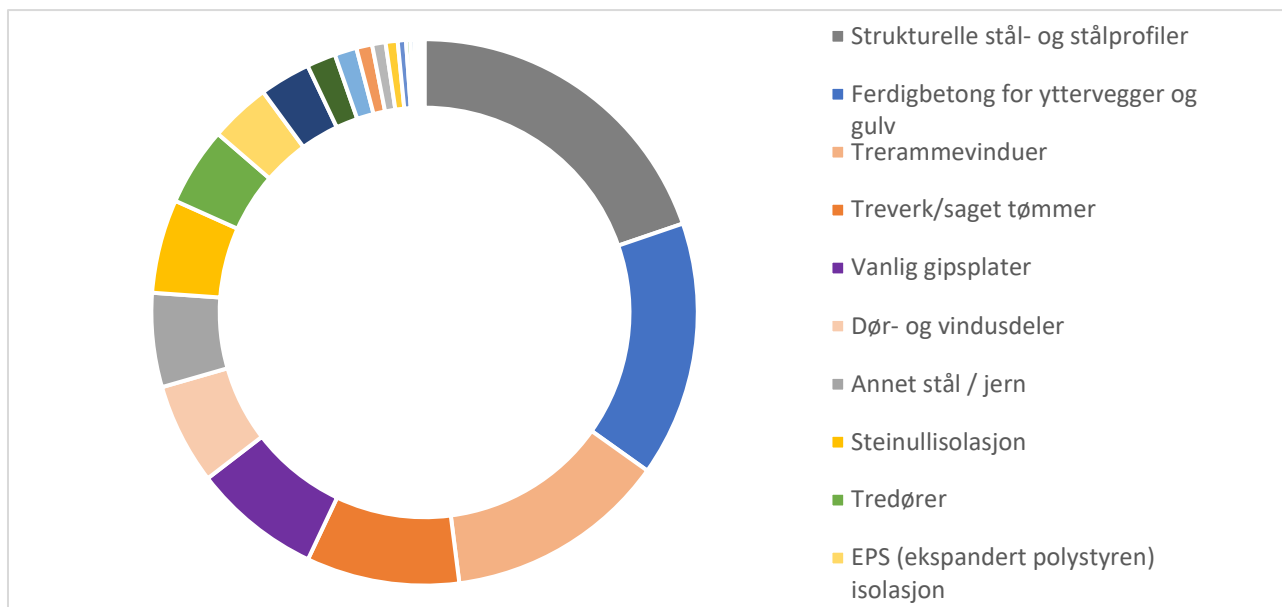
Klimagassutslipp per material, viser at over 50 % av utslippene for kontorbygg og boligblokk kommer fra betong og stål. Firemannsboligen har også størst utslipp fra stål og betong, tett fulgt av vinduer, treverk og gipsplater og solavskjerming (dør- og vindusdeler) er også betydelig for firemannsboligen. For eneboligen er det vinduer og treverk som står for de største utslippene. Deretter kommer utslipp fra betong og solavskjerming (dør- og vindusdeler).



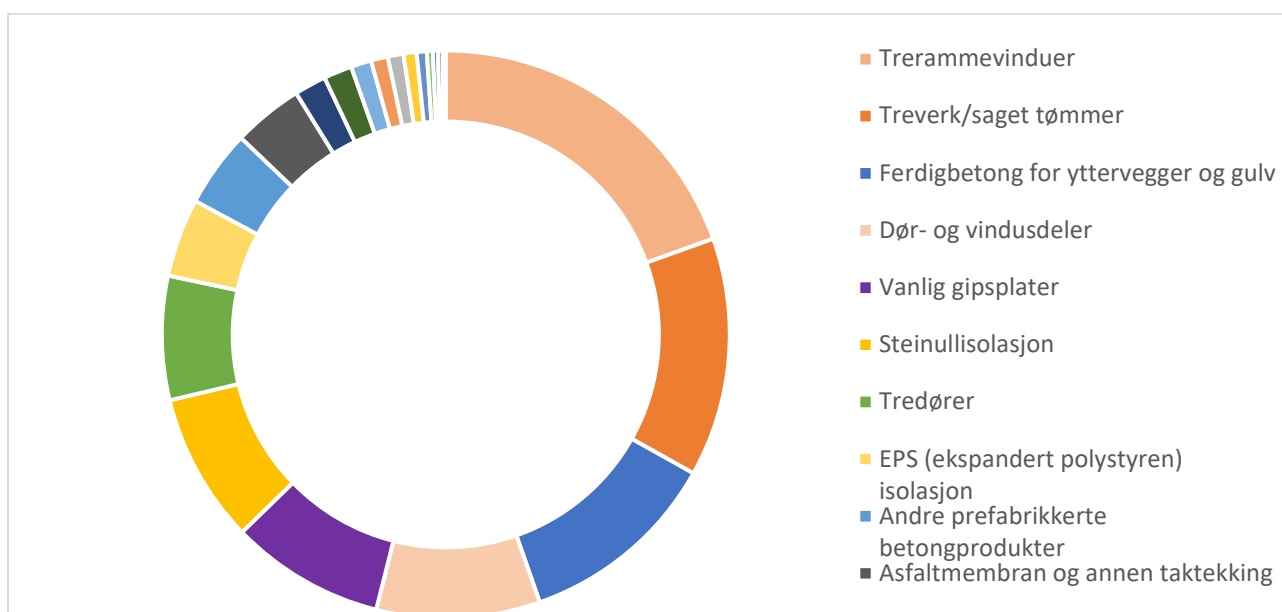
Figur 3-3 Klimagassutslipp (kg CO₂-ekv/BTA) etter ressurstype, kontorbygg. Topp 10 er framhevet i tekst i synkende rekkefølge. Beregningsperiode 60 år.



Figur 3-4 Andel av totalt klimagassutslipp (kg CO₂-ekv/BTA) etter ressurstype, boligblokk. Topp 10 er framhevet i tekst i synkende rekkefølge. Beregningsperiode 60 år.



Figur 3-5 Andel av totalt klimagassutslipp (kg CO2-ekv/BTA) etter ressurstype, firemannsbolig. Topp 10 er framhevet i tekst i synkende rekkefølge. Beregningsperiode 60 år.



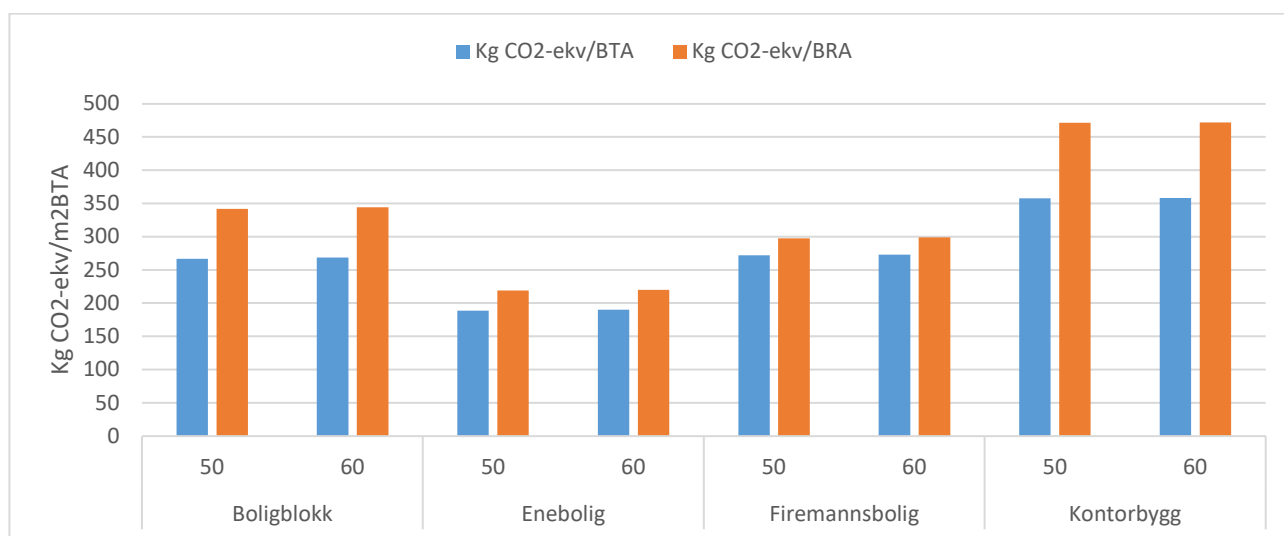
Figur 3-6 Andel av totalt klimagassutslipp (kg CO2-ekv/BTA) etter ressurstype, enebolig. Topp 10 er framhevet i tekst i synkende rekkefølge. Beregningsperiode 60 år.

3.1.1 Sensitivitetsanalyser beregningsperiode og areal

Beregningsperioden på klimagassberegningen har innvirkning på utslipp knyttet til utskiftninger (B4) av materialer og settes iht. NS 3720 normalt til 60 år. Dersom beregningen gjøres over en beregningsperiode på 50 år vil dette kunne påvirke resultatet for materialer med levetider som forfaller i løpet av beregningens beregningsperiode. Der materialer har en antatt levetid på 25 og 10 år vil det i klimagassberegningen påløpe ytterligere utskiftninger ved bruk av en beregningsperiode på 60 år vs. en beregningsperiode på 50 år. For referansebyggene i denne beregningen gjelder det blant annet maling og vinylbelegg. Standardverdier for levetider (teknisk) i One Click LCA er benyttet i klimagassberegningen og sensitivitetsvurderingen for beregningsperiode er utført ved å endre beregningsperioden fra 60 til 50 år og sammenligne resultatene. Det er imidlertid svært liten (<1 %) forskjell i resultatene dersom man legger 50 års beregningsperiode til grunn i stedet for 60 år (Tabell 3-4 og Figur 3-7). Det er sammensetningen av materialer og deres levetid som bestemmer differansen i bundne utslipp mellom 50 og 60 års beregningsperiode. Dersom klimagassberegningene også inkluderer andre driftsrelaterte utslipp slik som energibruk i drift (B6) har beregningsperioden vesentlig større betydning for de samlede utslippene over levetiden. Valg av arealdefinisjon har større betydning for utslipp fordelt på areal. Utslipp normalisert på bruksareal (BRA) er ca. 20 % høyere enn utslipp normalisert på bruttoareal (BRA).

Tabell 3-4 Klimagassutslipp (kg CO₂-ekv) for referansebyggene for hhv. 50 og 60 års beregningsperiode normalisert etter hhv. brutto- og bruksareal. Omfatter A1-A3, A4, A5, B4 og C1-C4.

Referansebygg	Beregningsperiode	Kg CO ₂ -ekv/BTA	Kg CO ₂ -ekv/BRA
Boligblokk	50	267	342
Boligblokk	60	268	344
Enebolig	50	189	219
Enebolig	60	190	220
Firemannsbolig	50	272	298
Firemannsbolig	60	273	299
Kontorbygg	50	358	471
Kontorbygg	60	358	472



Figur 3-7 Klimagassutslipp kg CO₂-ekv/m²BTA (A1-A3, A4, A5, B4, C1-C4) etter referansebygg over en beregningsperiode på hhv. 50 og 60 år.

3.2 Trinn 2: tiltak for klimagassreduksjon

Det er for referansebyggene satt opp tiltak som reduserer de bundne klimagassutslippene. Hvert tiltak representerer en endring av materialvalg fra det opprinnelige materialet/produktet i referansen, til et gunstigere alternativ med lavere klimagassutslipp. Tiltakene er begrenset til enkle utskiftninger av sammenlignbare materialtyper eller utskiftning av materialer som ikke får konsekvenser for konstruksjonssikkerhet og bygningsfysikk. Materialene med de 10 største utslippene per referansebygg er valgt ut. Tabell 3-6 til 3-9 viser en detaljert oversikt over alle tiltak inkludert klimagassreduksjon og kostnadskonsekvens. Effekten av tiltak er beregnet i programvaren One Click LCA.

Resultatet viser at ved å bevisst velge material som tilfredsstillers terskelverdi (se metodekapittel 2.6), kan boligblokken og kontorbygget redusere utslippet med over 10 % og eneboligen og firemannsboligen med over 20 %, uten noen kostnadskonsekvens (Tabell 3-5).

For enebolig og firemannsboliger vil de kostnadskrevende tiltakene, å skifte ut betong til lavkarbonklasse B eller A, redusere utslippet med 1-4 prosentpoeng og ha en merkostnad på 30 til 54 kr/m²BTA for eneboligen og 56 til 102 kr/m²BTA for firemannsboligen. Den ringe effekten er grunnet at betong kun benyttes i gulv på grunn og balkonger for byggene. Allikevel er det mulig å få en total klimagassreduksjon på respektive 29 og 31 % for småhusene. For boligblokk og kontorbygg vil utskiftningen av betongkvalitet til lavkarbonklasse B kunne redusere utslippet med respektive 8 og 6 %, med en merkostnad på respektive 129 og 654 kr/m²BTA. Ved å velge lavkarbonklasse A, vil reduksjonen fra Lavkarbonklasse C være 13 og 9 % og gi en merkostnad på 190 og 923 kr/m²BTA for respektive boligblokk og kontorbygg. Sammen med de tiltak uten kostnadskonsekvenser (terskelverdier) vil byggene kunne redusere utslippet med respektive 26 og 27 %. Klimagassutslippet for referansebygg og sistnevnte tiltak er vist per bygningsdel i figur 3-8 til 3-11.

I tillegg er det mulig, ved å velge andre type materialer, som å velge linoleum foran parkett som gulvbelegg eller fibersementfasadeplater foran stålplater å oppnå en reduserende effekt på både klimagassutslipp og kostnad, Tabell 3-5. Dette tiltaket er kalt "materialkvalitet".

I praksis finnes det flere alternative tiltak utover de som vises i denne studien, både mindre tiltak som bruk av ombruksmaterialer og større tiltak som vil ha påvirkning på det konstruktive eller andre funksjonskrav som brann, akustikk og bygningsfysiske krav. Et eksempel er å skifte ut plasstøpte dekker i boligblokken med hulldekker eller massivtre, som vil kunne påvirke hele bæresystemet.

Tabell 3-5 Klimagassreduksjon og kostnadskonsekvens ved ulike tiltak for referansebyggene

Tiltak	Boligblokk		Enebolig		Firemannsbolig		Kontorbygg	
	Utslipps-reduksjon [%]	Mer-kostnad [kr/m ² BTA]	Utslipps-reduksjon [%]	Mer-kostnad [kr/m ² BTA]	Utslipps-reduksjon [%]	Mer-kostnad [kr/m ² BTA]	Utslipps-reduksjon [%]	Mer-kostnad [kr/m ² BTA]
Betong lavkarbon A + Terskelverdi	-26 %	190	-29 %	54	-31 %	102	-27 %	923
Betong lavkarbon B + Terskelverdi	-21 %	129	-27 %	30	-29 %	56	-24 %	654
Terskelverdi	-13 %	0	-26 %	0	-27 %	0	-18 %	0
Materialkvalitet	-2 %	-377	-4 %	-494	-5 %	-199	-3 %	-230

Tabell 3-6 Tiltak klimagassreduksjon for boligblokk

Opprinnelig produkt	Tiltak	Tiltakstype	Utslippsreduksjon [%]	Effekt mer-kostnad [kr]	Effekt mer-kostnad [kr/m ² BTA]
Betong Lavkarbon C	Betong lavkarbon A	Materialkvalitet	-13,4 %	1 150 645	190
Betong Lavkarbon C	Betong lavkarbon B	Materialkvalitet	-8,0 %	783 258	129
Innerdør	Produktspesifikk EPD Innerdør	Terskelverdi	-2,8 %	0	0
Armeringsstål	Armeringsstål Fra 90 til 97 % resirkulert	Terskelverdi	-2,0 %	0	0
Parkett	GrønnMaterialguide Linoleum	Materialkvalitet	-1,8 %	-2 082 460	-343
Vinduer	Produktspesifikk EPD- Norske vinduer	Terskelverdi	-1,7 %	0	0
Tegl	Tegl 40 % persentil	Terskelverdi	-1,2 %	0	0
Steinull	GrønnMaterialGuide Steinull	Terskelverdi	-1,1 %	0	0
Steinull	GrønnMaterialGuide Bytte Steinull til glassull	Terskelverdi	-1,1 %	0	0
Solavskjerming	Produktspesifikk EPD solavskjerming	Terskelverdi	-0,9 %	0	0
EPS	GrønnMaterialGuide EPS	Terskelverdi	-0,7 %	0	0
Stålprofiler	GrønnMaterialGuide-Kaldformerede stålprofiler	Terskelverdi	-0,6 %	0	0
Stålplater	GrønnMaterialGuide Fibersementplate 10 mm	Materialkvalitet	-0,5 %	-206 075	-34
Gipsplater	GrønnMaterialGuide Gipsplater	Terskelverdi	-0,4 %	0	0
Stålprofiler	GrønnMaterialGuide- IHULT profiler	Terskelverdi	0,0 %		0

Tabell 3-7 Tiltak klimagassreduksjon for enebolig

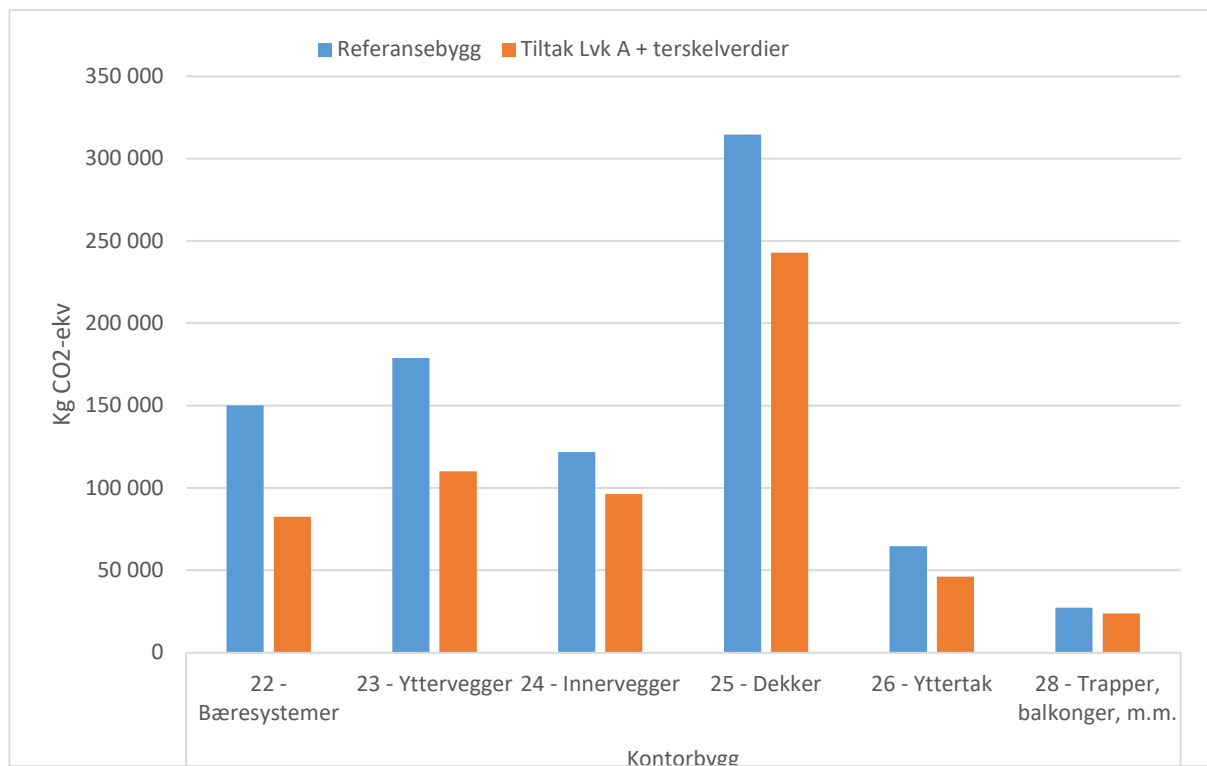
Opprinnelig produkt	Tiltak	Tiltakstype	Utslippsreduksjon [%]	Effekt mer-kostnad [kr]	Effekt mer-kostnad [kr/m ² BTA]
Vindu	Produktspesifikk EPD Norske vinduer	Terskelverdi	-7,2 %	0	0
Solavskjerming	Produktspesifikk EPD Solavskjerming	Terskelverdi	-6,0 %	0	0
Steinull	GrønnMaterialGuide Bytte Steinull til glassull	Terskelverdi	-4,3 %	0	0
Innerdør	Produktspesifikk EPD Innerdør	Terskelverdi	-4,1 %	0	0
Parkett	GrønnMaterialguide Linoleum	Materialkvalitet	-3,6 %	-83 073	-494
Betong Lavkarbon C	Betong lavkarbon A	Materialkvalitet	-2,9 %	9 010	54
Betong Lavkarbon C	Betong lavkarbon B	Materialkvalitet	-1,6 %	4 977	30
Gipsplater	GrønnMaterialGuide Gipsplater	Terskelverdi	-1,5 %	0	0
Steinull	GrønnMaterialGuide Steinull	Terskelverdi	-1,0 %	0	0
EPS	GrønnMaterialGuide EPS	Terskelverdi	-0,8 %	0	0
Takstein	GrønnMaterialGuide Fibersementtakstein	Terskelverdi	-0,5 %	0	0
Armeringsstål	Armeringsstål Fra 90 til 97 % resirkulert	Terskelverdi	-0,2 %	0	0

Tabell 3-8 Tiltak klimagassreduksjon for firemannsbolig

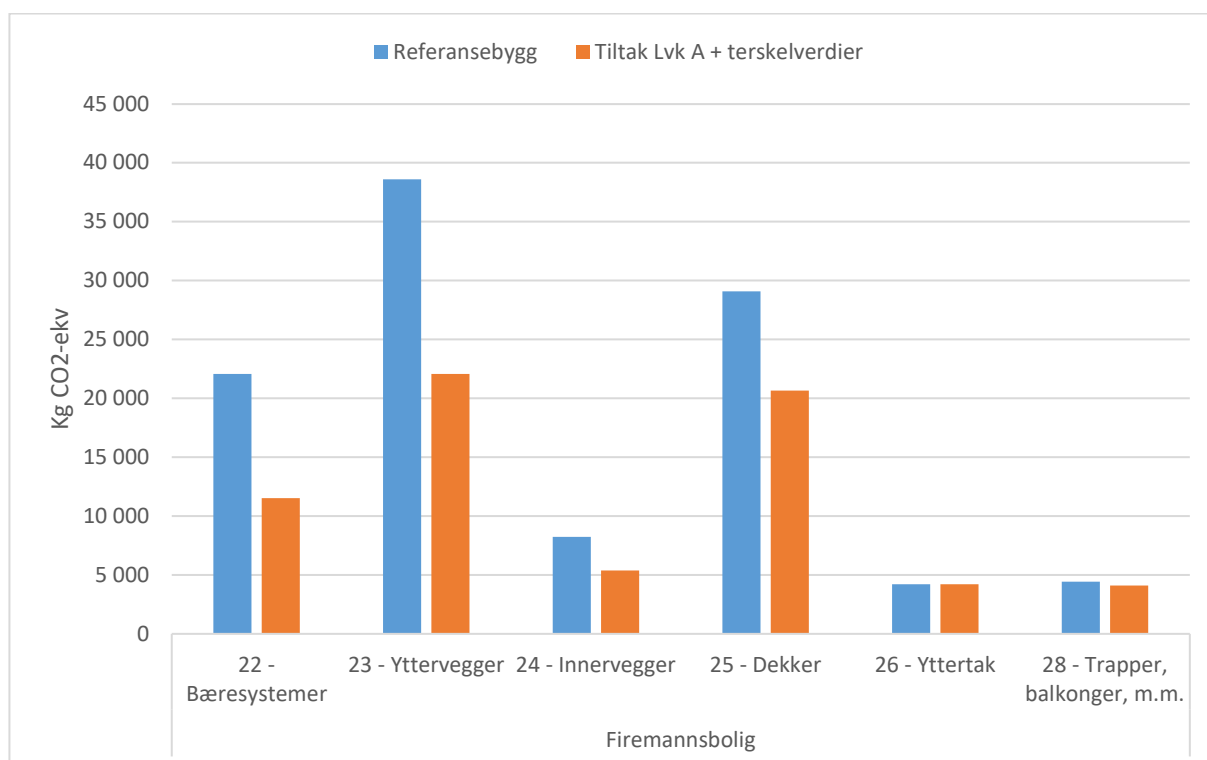
Opprinnelig produkt	Tiltak	Tiltakstype	Utslippsreduksjon [%]	Effekt mer-kostnad [kr]	Effekt mer-kostnad [kr/m2BTA]
Stålprofiler	GrønnMaterialGuide IHULT profiler	Terskelverdi	-9,9 %	0	0
Vindu	Produktspesifikk EPD Norske vinduer	Terskelverdi	-4,8 %	0	0
Solavskjerming	Produktspesifikk EPD Solavskjerming	Terskelverdi	-3,9 %		0
Betong Lavkarbon C	Betong lavkarbon A	Materialkvalitet	-3,8 %	43 600	102
Steinull	GrønnMaterialGuide Bytte Steinull til glassull	Terskelverdi	-3,6 %	0	0
Parkett	GrønnMaterialguide Linoleum	Materialkvalitet	-2,9 %	-252 138	-589
Innerdør	Produktspesifikk EPD Innerdør	Terskelverdi	-2,7 %	0	0
Stålplater	GrønnMaterialGuide Fibersementplate 10 mm	Materialkvalitet	-2,5 %	-85 304	-199
Betong Lavkarbon C	Betong lavkarbon B	Materialkvalitet	-2,2 %	24 082	56
Gipsplater	GrønnMaterialGuide Gipsplater	Terskelverdi	-1,3 %	0	0
EPS	GrønnMaterialGuide EPS	Terskelverdi	-0,7 %	0	0
Armeringsstål	Armeringsstål Fra 90 til 97 % resirkulert	Terskelverdi	-0,3 %	0	0

Tabell 3-9 Tiltak klimagassreduksjon for kontorbygg

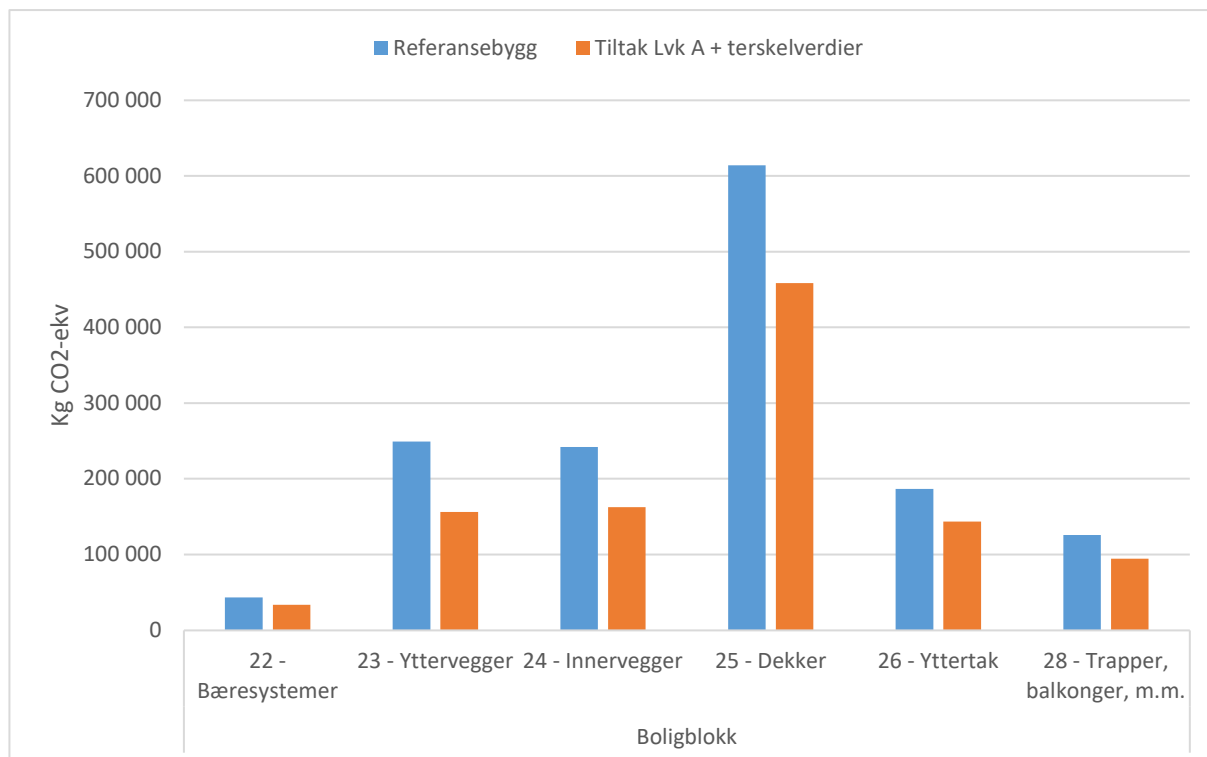
Opprinnelig produkt	Tiltak	Tiltakstype	Utslippsreduksjon [%]	Effekt mer-kostnad [kr]	Effekt mer-kostnad [kr/m2BTA]
Stålprofiler	GrønnMaterialGuide- IHULT profiler	Terskelverdi	-7,9 %	0	0
Hulldekke Lavkarbon C	Hulldekker lavkarbon A	Materialkvalitet	-5,6 %	2 193 177	762
Hulldekke Lavkarbon C	Hulldekker lavkarbon B	Materialkvalitet	-4,4 %	1 551 076	539
Betong Lavkarbon C	Betong lavkarbon A	Materialkvalitet	-3,8 %	463 399	161
Stålplater	GrønnMaterialGuide Fibersementplate 10 mm	Materialkvalitet	-2,4 %	-663 244	-230
Betong Lavkarbon C	Betong lavkarbon B	Materialkvalitet	-2,1 %	331 140	115
Vinduer	Produktspesifikk EPD Aluminiumsvindu	Terskelverdi	-1,7 %	0	0
Himlingsplater	Himlingsplate 40 % Persentil	Terskelverdi	-1,6 %	0	0
Innerdør	Produktspesifikk EPD Innerdør	Terskelverdi	-1,5 %	0	0
Solavskjerming	Produktspesifikk EPD solavskjerming	Terskelverdi	-1,4 %	0	0
Steinull	GrønnMaterialGuide Bytte Steinull til glassull	Terskelverdi	-1,2 %	0	0
Steinull	GrønnMaterialGuide Steinull	Terskelverdi	-1,2 %	0	0
Armeringsstål	Armeringsstål Fra 90 til 97 % resirkulert	Terskelverdi	-0,4 %	0	0
Gipsplater	GrønnMaterialGuide Gipsplater	Terskelverdi	-0,4 %	0	0
Parkett	GrønnMaterialguide Linoleum	Materialkvalitet	-0,3 %	-222 871	-77
EPS	GrønnMaterialGuide EPS	Terskelverdi	-0,2 %		0
Teppegulv	Teppegulv 40 % persentil	Terskelverdi	-0,2 %	0	0
Tegl	Tegl 40 % persentil	Terskelverdi	-7,9 %	0	0



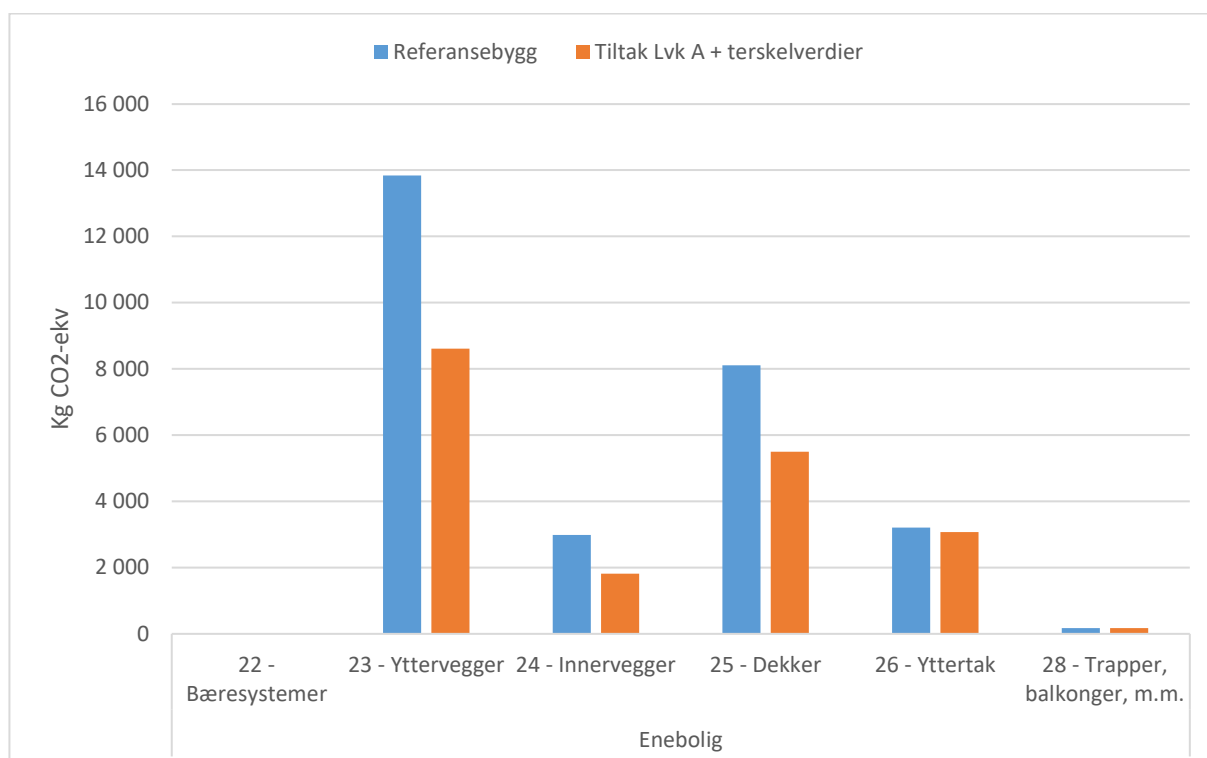
Figur 3-8 Klimagassutslipp (kg CO2-ekv) med tiltak lavkarbonklasse A betong og terskelverdier, fordelt på bygningsdeler (2-siffer). Beregningsperiode 50 år



Figur 3-9 Klimagassutslipp (kg CO2-ekv) med tiltak lavkarbonklasse A betong og terskelverdier, fordelt på bygningsdeler (2-siffer). Beregningsperiode 50 år



Figur 3-10 Klimagassutslipp (kg CO2-ekv) med tiltak lavkarbonklasse A betong og terskelverdier, fordelt på bygningsdeler (2-siffer). Beregningsperiode 50 år



Figur 3-11 Klimagassutslipp (kg CO2-ekv) med tiltak lavkarbonklasse A betong og terskelverdier, fordelt på bygningsdeler (2-siffer). Beregningsperiode 50 år

4 Diskusjon

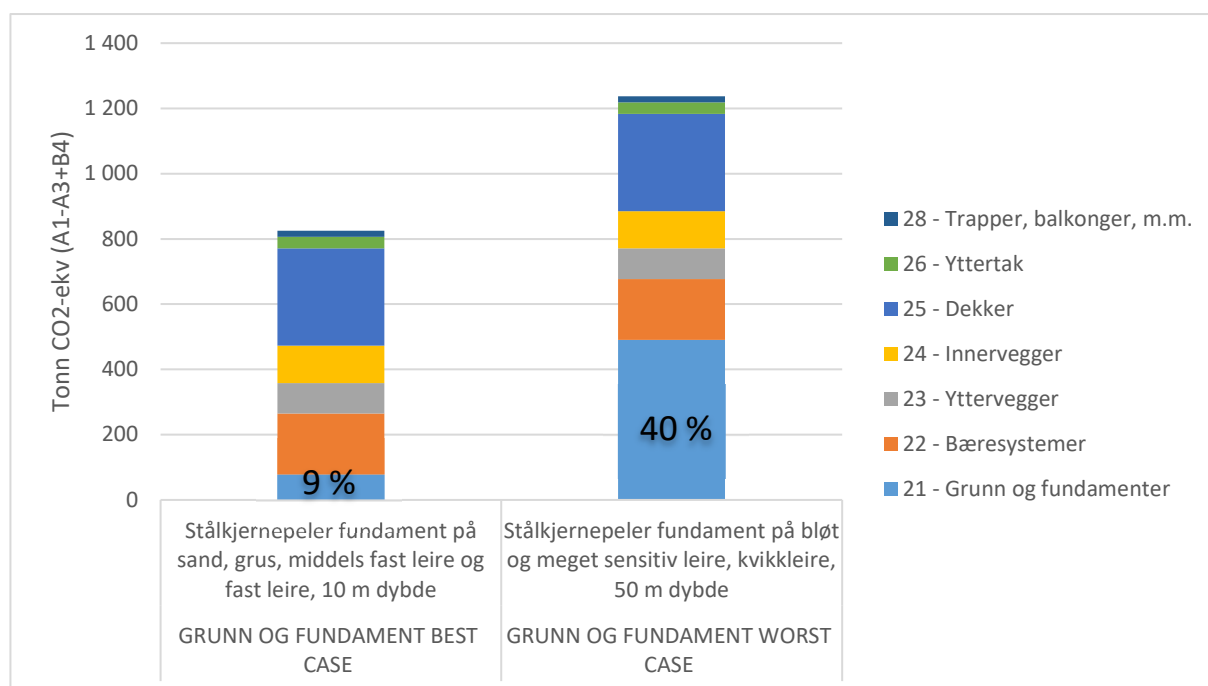
4.1 Systemgrenser

4.1.1 Grunn og fundamenter

Systemgrensene i klimagassberegninger av bygninger varierer og er typisk en funksjon av formålet med klimagassberegningen. I realiteten vil også avgrensingen av bygningsdeler påvirkes av usikkerhet i og tilgjengelighet av miljødokumentasjon, samt antatt relativt bidrag i de samlede utslippene. En oversikt over bygningsdeler og inkludering i ulike krav/sertifiseringer finnes i vedlegg 5.1.

For bygningsdel 21 Grunn og fundamenter er det knyttet stor usikkerhet til hva som kan regnes som standard grunnforhold. Ulike tomter kan ha betydelig variasjon i behovet for stabilisering og omfanget av fundamentering som følge av dybde med løsmasser over fjell og type løsmasser. Basert på estimater med standardscenarier for dybde til fjell og type løsmasser i One Click LCA tilsvarende 'best case' og 'worst case' vil bygningsdel 21 kunne utgjøre fra 9 og 40 % av det totale utslippet for bygget (Figur 4-1).

Det anbefales derfor å ikke inkludere bygningsdel 21 i en referanseverdi, men at det stilles krav om at det beregnes og dokumenteres.



Figur 4-1 Bygningsdel 21 Grunn og fundamenter med hhv. bra og dårlige grunnforhold, basert på standardscenarier i One Click LCA. Beregningsperiode 60 år

4.1.2 VVS-anlegg

Utslippsbidraget knyttet til VVS-anlegg og tekniske installasjoner, *bygningdel 3*, har vært lite kjent og har kun i begrenset omfang vært inkludert i klimagassberegninger for bygninger. Dette har vært knyttet til mangelfull dokumentasjon på og forståelse av komponentenes miljøpåvirkning. Publiserte resultater viser imidlertid at bundne utslipp fra materialer i tekniske installasjoner utgjør en stor andel (ca. 20 %) av bundne utslipp i bygninger. En sentral enkeltfaktor er stål og utstyr i ventilasjonsanlegg (bygningdel 36) som på grunn av relativt store mengder stål har et høyt klimafotavtrykk. Resultatene indikerer også at utskifting av materialer (e.g. filter i ventilasjonsanlegg) over levetiden i VVS-anlegg har et betydelig utslippsbidrag. Det forventes at klimagassberegninger av bygninger i økende grad vil inkludere VVS-anlegg og teknisk

utstyr i tråd med økende volum av miljødokumentasjon og bedre forståelse av det relative klimafotavtrykket i bygninger.

Det anbefales å ikke inkludere bygningsdel 3 i en referanseverdi. Det anbefales at det stilles krav om at det beregnes og dokumenteres. Eventuelt bør dette planlegges implementert i nær framtid når miljødokumentasjonen har kommet opp på et forsvarlig nivå.

4.1.3 Solceller

Miljødokumentasjonen fra bygningsdel 47, solceller, er den energiforsyningen som har mest tredjepartskontrollerte EPDer og har derfor et relativt godt grunnlag. Konsekvensen av klimagassutslippet fra solceller ses ofte i sammenheng med reduksjonen av utslippet på energi. Referansebyggene mangler lokal elkraftproduksjon, men TEK 17 § 14-5 åpner for at energirammen kan økes med inntil 10 kWh/m² oppvarmet BRA per år hvis det produseres minst 20 kWh/m² fornybar elektrisitet på eiendommen. Det bundne utslippet for denne produksjon, med standard solceller, vil stå for ca. 10 % av det totale utslippet for referansebyggene, men vil være betydelig avhengig av type og effektivitet på solcellene som velges.

Ved å inkludere bygningsdel 47 i en referanseverdi vil et bygg som har solceller, ha en større utfordring med å tilfredsstille kravet. Men for de byggene som benytter seg av TEK 17 § 14-5 og får en høyere energiramme, anbefales allikevel at klimagassutslipp fra solceller inkluderes i en referanseverdi. Dette vil gi mer fokus på å velge solceller med høy effektivitet og lave utslipp ved produksjon. I tillegg bør også bygningsintegreerte solceller som erstatter andre bygningsdeler inkluderes.

4.1.4 Livsløpsmoduler

Klimagassberegninger over levetiden til bygninger allokeres i livsløpsmoduler (A-D) iht. NS 3720³, og livsløpsanalyser av bygg skal inkludere hele livsløpet til bygget. Det er imidlertid forskjeller i kvaliteten på datagrunnlaget i klimagassberegninger da utslippene over livsløpet delvis vil være basert på antagelser og scenarier med varierende grad av usikkerhet, Tabell 4-1.

A1-A3 representerer bundne utslipp i materialer og beregnes på bakgrunn av produktenes tredjepartsverifiserte miljødokumentasjon eller bransjetypiske /generiske utslippsfaktorer tilgjengelig gjennom analyseverktøy eller publisert av bransjeorganisasjoner. Utslippene avhenger av valg av materialer og leverandører, men er isolert sett uavhengig av prosjektløkasjonen gitt en antagelse om at tilgjengelighet av materialer er uavhengig av lokasjon. Dette er imidlertid ikke nødvendigvis tilfelle i dag (e.g. tilgjengelighet av betong i lavkarbonklasse A).

A4 omfatter transport til byggeplass, og utslippene vil være en funksjon av både avstander fra fabrikk til byggeplass i tillegg til transportmetoden (trailer, båt, tog etc.) Transportavstander og til dels transportmetode til byggeplass vil være avhengig av byggeplassens geografiske plassering, men kunne påvirkes ved valg av løsninger og materialer.

A5 omfatter anlegg, bygge- og monteringsarbeid inkludert energibruk og transport og behandling av avfall på byggeplassen. Utslippene i A5 vil delvis være avhengig av prosjektenes lokasjon og tilgjengelighet av innsatsfaktorer som fjernvarme, biodiesel etc., avstander til avfallsbehandling som påvirker utslippene i A5.

B1 omfatter utslipp som følge av bruk og som ikke dekkes av øvrige moduler i livsløpets bruksstadiet (B1-B8). Dette omfatter blant annet effekten av karbonopptak i sementholdige produkter.

Klimagassberegninger som inkluderer karbonopptak, må legges til grunnframskrevne opptaksfaktorer (e.g. FutureBuilt) basert på antagelser.

³ NS 3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger

B2-B4 omfatter vedlikehold, reparasjon og utskifting, og klimagassutslipp vil være basert på scenarier for intervaller av vedlikehold og materialenes levetider. Transport av nye materialer ved utskifting tilfaller modul B4 slik at prosjektets plassering vil påvirke utslippene. Vedlikehold som er betinget av klimatiske variasjoner vil også kunne variere med lokasjon.

C1-C4 omfatter utslipp knyttet til livsløpets slutt-stadium og baserer seg på scenarier som inkluderer transportavstand til avfallsbehandling i tillegg til metode for sluttbehandling (e.g. material- eller energigjenvinning). Utslippene vil variere med lokasjon som følge av avstander til avfallsbehandling og renovatørens håndtering.

Med hensyn til referanseverdier anbefales det å inkludere livsløpsmodulene A1-A3, A5 og B4, som utgjør en stor andel av de samlede utslippene, der den geografiske plasseringen har mindre betydning og som i mindre grad er basert på usikre scenarier.

Tabell 4-1 Livsløpsmoduler- Tilgang på data

Modul	Modulnavn	Datatilgang		
		Spesifikk data	Generisk data Scenarier	Lite data
A1-A3	Produksjon av materialer	X	X	
A4	Transport av materialer til byggeplass	X	X	
A5*	Anlegg- bygge og monteringsarbeid	X	X	
B1	Bruk (inkl. karbonisering)	X**		
B2	Vedlikehold			X
B3	Reparasjon			X
B4	Utskiftinger	X	X	
B5	Ombygging			X
C1	Riving		X	
C2	Avfallstransport		X	
C3	Avfallsbehandling		X	
C4	Avfallshåndtering		X	

**Krever beregning

4.2 Referansestudier

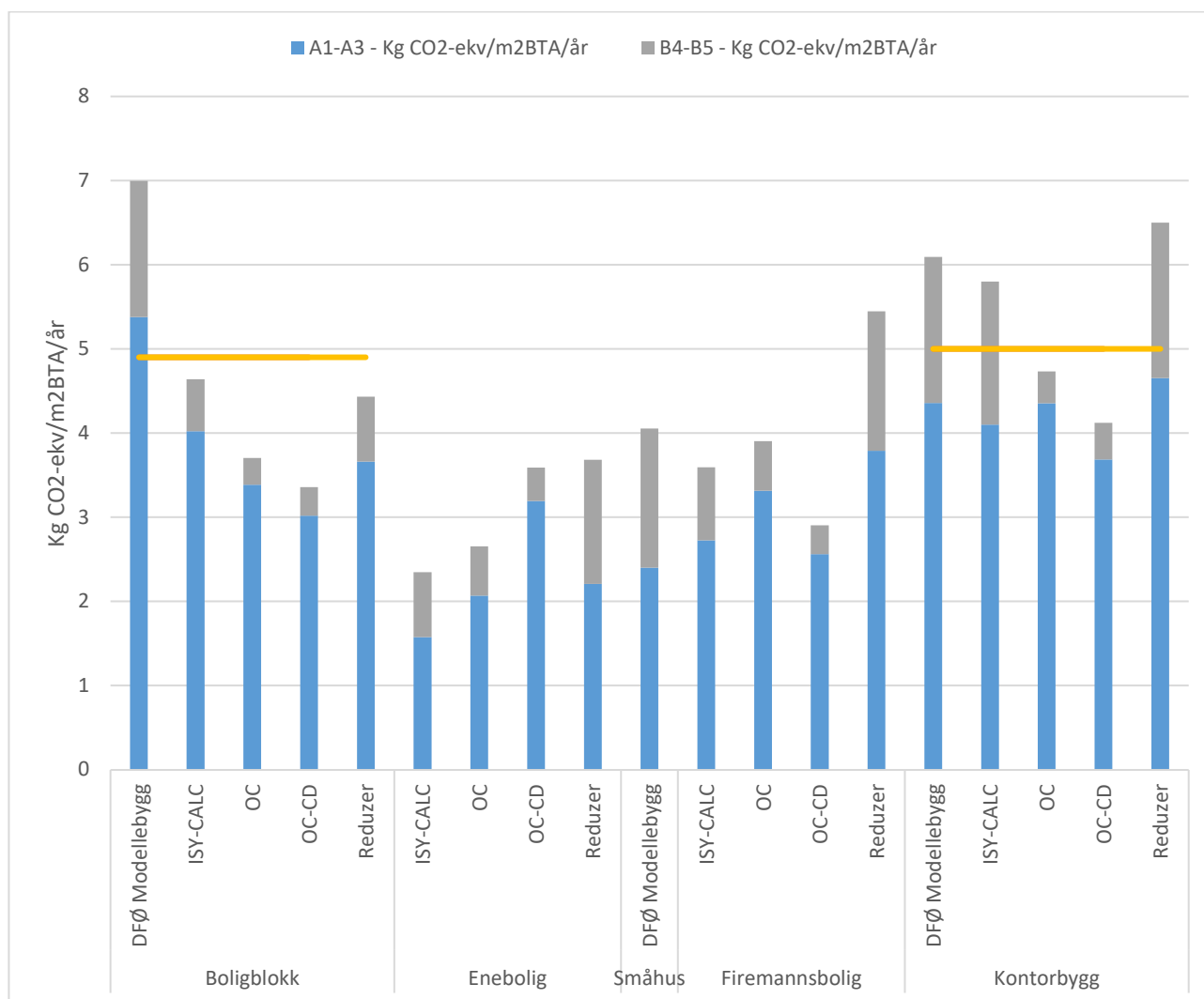
Klimagassberegningen for referansebyggene i denne utredningen er sammenstilt med resultater for modellbygg beregnet for *Veileder for klimagasskrav i byggeprosjekter*⁴ fra DFØ se Figur 4-2. I tillegg til referansebyggene inkluderer figuren medianverdier for de ulike bygningskategoriene fra metastudien av historiske klimagassberegninger utført av forskningssenteret ZEN⁵. Metastudien inkluderer ikke småhus, og DFØ har kun én referanseverdi på småhus.

Generelt ligger DFØ-referansen høyere enn resultatene i denne utredningen, men har noen vesentlige forskjeller mtp. Metode. Referansebyggene i denne utredningen ligger også noe lavere enn ZEN-medianen for kontorbygg og vesentlig lavere på boligblokk.

⁴ Veileder for klimagasskrav i byggeprosjekter, DFØ, 2020

⁵ ZEN Report No.24 Klimagasskrav til materialbruk i bygninger, M Kjendseth et al, 2020

For småhus korresponderer DFØ-referansen med firemannsbolig, men er vesentlig høyere enn enebolig.



Figur 4-2 Klimagassutslipp (kg CO2-ekv/m2 BTA/år) for referansebygg ('OC-CD'=One Click Carbon Designer) i denne utredningen, DFØs modellbygg, samt medianverdi fra ZENs metastudie (angitt som gul horisontal linje for boligblokker og kontorbygg). 60 års beregningsperiode.

4.3 Bruk av referansebyggene til andre bygningskategorier

Som en del av denne utredningen skal det vurderes til hvilken grad referansebyggene for enebolig, firemannsbolig, boligblokk og kontorbygg er representative også for øvrige bygningskategorier som for eksempel hotellbygg, forretningsbygg, sykehus etc. En utredning av dette vil slik vi vurderer kreve at man utfører en variansanalyse der man kan avdekke om det er statistisk signifikante forskjeller mellom bygningskategoriene. Som en del av ZEN Report No.24 *Klimagasskrav til materialbruk i bygninger*⁶ ble det utført variansanalyser for bygningstyper basert på et større historisk datagrunnlag der ulike bygningskategorier var representert. Det ble ikke funnet statistisk signifikante forskjeller mellom bygningskategorier i denne analysen. ZEN-rapporten konkluderer derfor med at det ikke er statistisk grunnlag for å sette ulike krav per bygningskategori. Dette er den mest grundige analysen som er utarbeidet på norske bygg, men den inneholder noen begrensninger. For eksempel inneholder grunnlaget mest ambisiøse prosjekter og det er få småhus som inngår.

⁶ ZEN Report No.24 *Klimagasskrav til materialbruk i bygninger*, M Kjendseth et al, 2020

Vi vet at dekker og bæresystem (eventuelt bærende vegger) svært ofte er to av bygningsdelene som har størst bidrag til klimagassutslipp fra materialene i bygg. Det betyr at vi kan anta at bygg med store likheter dekker og bæresystem vil komme relativt likt ut på tvers av bygningskategorier. Løsningsvalg og dimensjonering av bæresystem og dekker kommer an på funksjonskrav og høyde (antall etasjer). Beregningene i analysen presentert her er begrenset til fire modeller, men vi ser også her at eneboligen og firemannsboligen, som begge har 2 etasjer og bæresystem i tre, kommer relativt likt ut, og at kontorbygget og boligblokken, som begge har 4 etasjer og bæring i stål og betong, også kommer relativt likt ut. Vi har også erfart i andre prosjekter at høye bygg på 10 etasjer eller mer, har noe høyere klimagassutslipp per kvadratmeter på grunn av større krav til bæresystemet.

Det kan derfor se ut til at funksjonskrav, konstruksjonsprinsipp og høyde kan være mer styrende for totalt klimagassutslipp enn bygningskategori. For eksempel har boligblokk og sykehjem samt hotellbygning noe lignende funksjonskrav. Det er derfor grunn til å anta at de har sammenlignende klimagassutslipp ved samme konstruksjonsprinsipp og høyde.

Av erfaring av større sykehus er dette en bygningskategori med relativt høyt klimagassutslipp sammenlignet med kontorbygg og boligblokk og har derfor behov for egen referanseverdi.

Det finnes 6 ulike bygningskategorier i DFØs sin referanseliste. OneClick LCA har referansebygg for 13 ulike bygningskategorier som er utviklet på oppdrag av Statsbygg og med innspill fra bransjen (2019), med grunnlag i det gamle klimagassregnskapsverktøyet, klimagassregnskap.no. Det er disse referansebyggene som i denne rapport blitt kalt for One Click Carbon Designer (OC-CD). I tillegg arbeider et nytt norsk klimagassverktøy (Reduzer) på å utforme egne referansebygg som er noe mer oppdatert og tilpasset norske forhold. *Det vil være mer hensiktsmessig å ta utgangspunkt i eksisterende referansebygg med eventuelle justeringer enn å sammenslå bygningskategorier eller etablere helt nye.*

4.4 Forutsetninger i LCA-verktøy

Forutsetninger i LCA-verktøy påvirker i svært stor grad resultatene av klimagassberegningene. Selv om standarder for klimagassberegninger (e.g. NS 3720, FutureBuilt Zero) er prinsippgivende for beregningsmetodikk, vil programvareoperatørene ha betydelig mulighetsrom i beregningsmetodikk og antagelser, blant annet knyttet til standardinnstillinger for transportavstander, utslippsfaktorer, avfallsbehandling og antagelser om levetid. Slike forutsetninger er ikke alltid transparente eller åpne for brukerstyring, og det kan derfor være utfordrende å sammenligne og tolke resultater fra ulike programvarer. Oppdateringer i programvarene og utvikling i LCA-faget betyr også at resultater basert på samme datagrunnlag i samme verktøy kan endres over tid. Under følger en oppsummering av sentrale forutsetninger i verktøyene (standardinnstillinger) benyttet i denne beregningen.

4.4.1 Lokaliseringsmetode for materialproduksjon

‘Lokalisering’ er en unik funksjon i One Click LCA og kan benyttes for å justere utslippsfaktor for elektrisitet i materialproduksjon til landet prosjektet er lokalisert. Metoden er blant annet utformet for å kunne tilpasse utenlandske utslippsfaktorer til å kunne representere norske produkter, dersom man vet at man skal bruke et norsk produkt, men produktet ikke har EPD. Utslippsfaktorene for materialproduksjonen kompenseres med kompenseringsfaktorer, og effekten avhenger av hvilket land prosjektet er lokalisert. Ved standard og anbefalte innstillinger i One Click LCA er denne lokaliseringseringsfunksjonen aktivert. Dette innebærer at ved bruk av generiske verdier og ikke produktspesifikke EPDer kompenseres disse til å tilsvare norsk produsert, noe som med stor sannsynlighet underestimerer de faktiske utslippene fordi norsk elmix med stor sannsynlighet vil ha en lavere utslippsfaktor enn øvrige land. Deaktivering av lokalisering kan gjøres dersom man har ‘Ekspert-lisens’ i programvaren.

For en bruker med ekspertkompetanse ville det anbefales å skru av funksjonen for lokal kompensasjon. I arbeidet med referansebyggene er det imidlertid valgt å beholde lokalisering da det er dette som anbefales av One Click LCA og derfor må anses som en standardinnstilling. Konsekvensen for referansebyggene er at klimagassutslippet reduseres med 2-7 %.

Reduzer og ISY Calcus har ikke funksjonalitet for lokalisering.

4.4.2 Transport til byggeplass

Transport til byggeplass beregnes i One Click LCA og Reduzer som funksjon av vekt på materialer, antatt distanse fra fabrikk til byggeplass og transporttype. Standardverdier basert på materialkategori benyttes dersom ikke brukeren setter inn andre verdier. Det er relativt stor forskjell i antatte transportavstander mellom One Click LCA og Reduzer, med betydelig større antatte avstander i Reduzer. One Click LCA oppgir 'Goods Transport by Road of 2014, Statistics Finland' som kilde for standardavstander. Reduzer oppgir at det ved valg av spesifikke EPD'er fra databasen utføres en beregning fra fabrikk til byggeplass, mens det dersom det velges generiske verdier/materialer brukes standardverdier basert på forutsetninger lagt til grunn av Asplan Viak i ENOVA-rapporten *Klimavennlige byggematerialer. Potensial for utslippskutt og barrierer mot bruk* (2020). Utslippsfaktor (kg CO₂-ekv./tkm) benyttet i Reduzer er også betydelig høyere enn faktorer benyttet i One Click. Utslippsfaktorer er gjengitt i Tabell 4-2.

ISY Calcus har ved tidspunktet disse beregningene ble utført ikke funksjonalitet for beregning av utslipp knyttet til transport til byggeplass.

Tabell 4-2 Utslippsfaktorer kg CO₂-ekv./tkm benyttet i hhv. One Click LCA og Reduzer

Transporttype	One Click LCA	Reduzer
Lastebil		0,1667
Betongbil, omtrent 8m ³ , 100% fyllingsrate	0,13	
Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate	0,0383	
Stor varebil, 9 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate	0,0928	

4.4.3 Levetid

Antatte levetider i verktøyene påvirker antall utskiftninger av materialer som legges til grunn i beregningen og er en sentral forutsetning. One Click LCA oppgir ulike tekniske levetid og kommersielle levetider for produkter, med teknisk levetid som den anbefalte standardinnstillingen. Reduzer oppgir Byggforsk, ovennevnte ENOVA-rapport og 'hva som typisk oppgis i EPDen' som forutsetninger for levetid. ISY Calcus har ikke tilgjengelige dokumenterte antagelser vedr. levetider.

Tabell 4-3 viser forskjellen mellom levetiden på noen materialer på tvers av verktøyene benyttet her, sammen med levetidene som SINTEF Byggforsk angir i sin anvisning om intervaller for vedlikehold og utskiftning av bygningsdeler (anvisning 700.320).

Tabell 4-3 Oversikt levetider i ulike verktøy

Kategori	ISY Calcus	One Click LCA	Reduzer	SINTEF Byggforskserien 700.320
Maling	30	15	10	12
Bitumen takteking	60	20	30	25
Vinyl	20	25	20	20
Fliser	20	30	25	20
Vinduer	30/50	35	35	40
Parkett	15	60	40	-
Gulvteppe	15	15	8	10
Utvendig trekledning	50	60	40	50
Gipsplater	60	60	40	-

4.4.4 Avfallsbehandling

Avfallsbehandling inkluderer transport fra byggeplass og videre behandling og prosessering av avfallet. I standardinnstillingen uten ekspertlisens i One Click LCA følger avfallsbehandlingen materialkategorien materialet inngår i, og utslippet beregnes kun selve avfallsbehandlingen (prosessering og energitutteltelse/materialgjenvinning) og ikke transport av avfall. Avfallsbehandling i Reduzer er basert på metoden og prinsippene i FutureBuilt Zero og inkluderer transport til avfallsbehandling og forbrenning av avfall. På tidspunktet da disse beregningene ble utført antas det i Reduzer at alt fossilt og trevirke i materialer går til forbrenning ved endt levetid i bygningen.

ISY Calcus har ved tidspunktet disse beregningene ble utført ikke funksjonalitet for beregning av utslipp knyttet til avfallsbehandling.

5 Vedlegg

5.1 Systemgrense bygningsdeler i ulike krav/sertifiseringer

B.del	Bygningselement	TEK	Breeam	DFØ	FBZero
21	Grunn og fundamenter	215/216	(X)	(x)	(x)
22	Bæresystemer	X	X	X	X
23	Yttervegger	X	X	X	X
24	Innervegger	X	X	X	X
25	Dekker	X	X	X	X
26	Yttertak	X	X	X	X
27	Fast inventar		-		X
28	Trapper, balkonger		X	X	
29	Andre bygningsmessige tettinger				X
31	Sanitær				(X)
32	Varme				(X)
35	Varme og kulde installasjoner				(X)
36	Ventilasjon				(X)
37	Komfortkjøling				(X)
47 (49*)	Lokal elkraft produksjon		X		X
61	Prefabrikkerte rom				(X)
64	Lokal varmeproduksjon				(X)
71	Utendørs				(X)

*Ny NS 3451 i 2022 med spesifisering av el og varmeproduksjon, lå tidligere under 49 Andre installasjoner

(X) Klimaregnskap skal utføres men inkluderes ikke i vurdering opp mot hovedreferanseverdi

5.2 Systemgrense livsløpsmoduler i ulike krav/sertifiseringer

		INFORMASJON OM BYGNINGENS LIVSLØP																TILLEGGSINFORMASJON UTOVER BYGNINGENS LIVSLØP	
		Produktstadiet A1 – A3			Gjennomføringsstadiet A4 – A5		Bruksstadiet B1 – B8								Livsløpets sluttstadie C1 – C4				Konsekvenser utover systemgrensen D
		A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7*	B8	C1	C2	C3	C4	D
		Råvarer	Transport	Produksjon	Transport	Anlegg-, bygge- og monteringsarbeid	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftning	Ombygging	Energi i drift	Vannforbruk i drift	Transport i drift	Riving	Transport	Avfallsbehandling	Avhending	Material- og energigjenvinning og ombruk av materialer og eksport av egenprodusert energi
Moduler i ulike sertifiseringer	FBZero	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		(X)	X	X	X	X	X (Inkludert i de andre modulene)
	Breeam	X	X	X	X				X					(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	
	DFØ	X	X	X					X	X									
	TEK	X	X	X	X	X*		X		X									

*Avfall ikke energi