



Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES



KLIMAGASSKRAV TIL MATERIALBRUK I BYGNINGER

Utvikling av grunnlag for å sette absolutte krav til klimagassutslipp
fra materialbruk i norske bygninger

ZEN REPORT No. 24 – 2020



M. Kjendseth Wiik, E. Selvig, M. Fuglseth, E. Resch, C. Lausselet, I. Andresen, H. Brattebø, U. Hahn
SINTEF, Civitas, Asplan Viak, NTNU, Futurebuilt



Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES

ZEN Report No. 24

Marianne Kjendseth Wiik¹, Eivind Selvig², Mie Fuglseth³, Eirik Resch⁴, Carine Lausset⁴,
Inger Andresen³, Helge Brattebø⁴, Ulla Hahn⁵

¹SINTEF, ²Civitas, ³Asplan Viak, ⁴NTNU, ⁵Futurebuilt

KLIMAGASSKRAV TIL MATERIALBRUK I BYGNINGER

Utvikling av grunnlag for å sette absolutte krav til klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygninger

Keywords: Klimagass, bygninger, referanseverdier, orienteringsverdier

ISBN 978-82-536-1664-3

Norwegian University of Science and Technology (NTNU) | www.ntnu.no

SINTEF Community | www.sintef.no

<https://fmezen.no>

Preface

Acknowledgements

This report has been written within the Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (FME ZEN). The author gratefully acknowledge the support from the Research Council of Norway, the Norwegian University of Science and Technology (NTNU), SINTEF, the municipalities of Oslo, Bergen, Trondheim, Bodø, Bærum, Elverum and Steinkjer, Trøndelag county, Norwegian Directorate for Public Construction and Property Management, Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Norwegian Building Authority, ByBo, Elverum Tomteselskap, TOBB, Snøhetta, Asplan Viak, Multiconsult, Sweco, Civitas, FutureBuilt, Hunton, Moelven, Norcem, Skanska, GK, Caverion, Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk - Energi, Smart Grid Services Cluster, Statkraft Varme, Energy Norway, Norsk Fjernvarme and AFRY.

The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods (ZEN) in Smart Cities

The ZEN Research Centre develops solutions for future buildings and neighbourhoods with no greenhouse gas emissions and thereby contributes to a low carbon society.

Researchers, municipalities, industry and governmental organizations work together in the ZEN Research Centre in order to plan, develop and run neighbourhoods with zero greenhouse gas emissions. The ZEN Centre has nine pilot projects spread over all of Norway that encompass an area of more than 1 million m² and more than 30 000 inhabitants in total.

In order to achieve its high ambitions, the Centre will, together with its partners:

- Develop neighbourhood design and planning instruments while integrating science-based knowledge on greenhouse gas emissions;
- Create new business models, roles, and services that address the lack of flexibility towards markets and catalyze the development of innovations for a broader public use; This includes studies of political instruments and market design;
- Create cost effective and resource and energy efficient buildings by developing low carbon technologies and construction systems based on lifecycle design strategies;
- Develop technologies and solutions for the design and operation of energy flexible neighbourhoods;
- Develop a decision-support tool for optimizing local energy systems and their interaction with the larger system;
- Create and manage a series of neighbourhood-scale living labs, which will act as innovation hubs and a testing ground for the solutions developed in the ZEN Research Centre. The pilot projects are Furuset in Oslo, Fornebu in Bærum, Sluppen and Campus NTNU in Trondheim, an NRK-site in Steinkjer, Ydalir in Elverum, Campus Evenstad, NyBy Bodø, and Zero Village Bergen.

The ZEN Research Centre will last eight years (2017-2024), and the budget is approximately NOK 380 million, funded by the Research Council of Norway, the research partners NTNU and SINTEF, and the user partners from the private and public sector. The Norwegian University of Science and Technology (NTNU) is the host and leads the Centre together with SINTEF.



<https://fmezen.no>



@ZENcentre



FME ZEN (page)

Sammendrag

Målsetninger om klimagassutslippsreduksjoner fra materialbruk i bygg har fram til i dag vært knyttet til prosentvis reduksjon sammenlignet med referansebygg. Fordelen ved denne tilnærmingen er at det har vært mulig å sette mål, på tross av manglende statistikkgrunnlag og kunnskap om utslippsnivå for ulike typer bygninger. Utfordringen ved bruk av denne typen relative mål er imidlertid at prosjektene forholder seg til beregninger av referansen som utføres i hvert enkelt prosjekt. Dette åpner for at beregnede utslippsreduksjoner tilsiktet eller utilsiktet kan gjenspeile en tilpasset referanse i stedet for tiltak i prosjektet. Målsetningen med utredningen som presenteres i denne rapporten, har vært å etablere mest mulig vitenskapelig forankrede referanseverdier for utslippsnivå for materialbruk i bygninger med ulike funksjoner.

Denne studien utvikler grunnlag for å sette absolutte krav til klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygninger

Data fra livsløpsbaserte klimagassberegninger for norske bygninger har blitt samlet inn, med fokus på produksjonsfasen (A1-A3) og utskiftninger av materialer i bruksfasen (B4), og fra ordninger som FutureBuilt, Framtidens Byer, ZEB og ZEN, samt fra andre prosjekter. Totalt er det samlet inn data fra over 130 prosjekter fra perioden 2009-2020, som til sammen dekker over 1 million m² oppvarmet bruksareal og over 49.000 brukere. Resultatene av sammenstillingen viser en kvartilbredde på 240-492 kgCO₂e/m², eller 4,0-8,2 kgCO₂e/m²/år og en median på 324 kgCO₂e/m² eller 5,4 kgCO₂e/m²/år for alle bygningstypene som er bygget.

Slike absolutte utslippsnivåer kan benyttes av prosjekter som ZEN og FutureBuilt samt danne grunnlag for myndighetskrav til utslipp i byggeteknisk forskrift (TEK).

Denne rapporten er resultat av et arbeid gjennomført i regi av forskningscenteret ZEN med fokus på å utforske muligheten for å etablere absolutte utslippskrav til materialer i bygninger. Involverte partnere inkluderer bl.a. SINTEF, NTNU, Civitas, Asplan Viak, Futurebuilt og Skanska.

Resultatene viser en nedgang i beregnede utslipp fra 2012/13 og frem til 2019. I løpet av denne perioden har det vært en utvikling av bruk av ulike standarder og verktøy: EN 15978 og EN 15804 ble introdusert i 2011-2012, klimagassregnskap.no versjon 4 ble lansert i 2012 med en forbedret utslippsdatabase, og ZEB-verktøyet ble brukt i pilotprosjekter i perioden 2010-2016. Det antas at reduksjonen i beregnet utslipp skyldes introduksjonen av mer standardiserte datakilder fra for eksempel miljødeklarasjoner (EPD) og ecoinvent-databasen samt et større søkelys på materialutslippsreduksjoner. Det vil bli interessant å følge hvilken betydning NS 3720 og bred bruk av OneClick LCA vil ha på fremtidige klimagassberegninger og resultater for bygninger i Norge.

English Summary

Greenhouse gas (GHG) emission targets for material use in buildings have so far been expressed as percentage reductions relative to so called reference buildings. The advantage of this approach is that it has been possible to quantify targets despite lacking sufficient empirical knowledge on average emission levels for different building typologies. However, this approach is challenging since projects are evaluated relative to a reference which is customised for each project. This way, calculated emission reductions can intentionally or unintentionally reflect an adapted reference instead of actual mitigation measures taken. The aim of this project is to establish scientifically robust benchmark values for different Norwegian building typologies.

This background study develops benchmark values for material use in Norwegian buildings

Empirical life cycle GHG emission data have been collected from Norwegian building case studies in the reference, design and as built project phases, for the production (A1-A3) and replacement (B4) phases of material use in buildings, and are sampled from Norwegian programmes and research centres such as Futurebuilt, Framtidens Byer, the research centre on zero emission buildings (ZEB) and ZEN. Altogether over 130 Norwegian building case studies have been gathered from 2009-2020, covering over one million m² of heated floor area and over 49,000 users. The results show an interquartile range of 240-492 kgCO₂e/m² or 4.0-8.2 kgCO₂e/m²/yr and a median of 324 kgCO₂e/m² or 5.4 kgCO₂e/m²/yr for all building typologies in the as built phase.

Benchmark values can be used by the research centre for zero emission neighbourhoods (ZEN) in smart cities, Futurebuilt and in Norwegian building codes to help form recommendations for national GHG emission requirements.

This report is the result of the ZEN case on opportunities for establishing finite GHG emission allowances for material use in buildings. ZEN partners involved include SINTEF, NTNU, Civitas, Asplan Viak, Futurebuilt and Skanska.

The results show a decrease in emissions from 2012/13 when EN 15804 and EN 15978 were introduced, as well as klimagassregnskap.no version 4 with an improved emission factor database and the introduction of the ZEB tool. This result is thought to be because of the introduction of more standardised data sources from for example environmental product declarations (EPDs) and the Ecoinvent database, as well as a focus on material emission reduction strategies. It will be interesting to see what developments the introduction of NS 3720 and wide-spread use of OneClick LCA in 2018 will have on future life cycle GHG emission calculations and results in Norway.

Innhold

Preface.....	3
Sammendrag.....	4
English Summary	5
1. Introduksjon	7
1.1 Bakgrunn	7
2. Metode.....	10
3. Resultater.....	14
4. Diskusjon.....	27
5. Anbefalinger til tiltak og klimagasskrav i norske bygninger	30
Referanser.....	31
Vedlegg A	34
Vedlegg B.....	38

1. Introduksjon

FNs bærekraftsmål setter søkelys på ulike problemer som må løses av samfunnet, inkludert bl.a. bærekraftige byer og samfunn (mål 11), ansvarlig forbruk og produksjon (mål 12) og å stoppe klimaendringene (mål 13) (1). Dette er noen av temaene denne rapporten ser nærmere på. Som respons til Parisavtalen i 2015 har Norge forpliktet seg til å redusere klimagassutslippene med 50 prosent innen 2030 sammenlignet 1990-nivået (2). På Europeisk nivå krever det reviderte direktivet om bygningers energiytelse (EPBD) at alle nye bygninger skal være nesten nullenergibygninger innen 2020 (3, 4). Klimagassutslippene fra produksjon av bygningsmaterialer tilsvarer klimagassutslippene fra energibruk i driftsfasen over en 60-års bygningslevetid i bygninger med energibruk tilsvarende passivhusstandard (5). Forskning viser også at energieffektive bygninger har en høyere andel av klimagassutslipp fra materialbruk (55-87%) hvorav ca. 65% kommer fra bygningskroppen (6-8). NS 3720: 2018 omfatter en metode for klimagassberegninger i bygninger og harmoniserer livsløpsanalyser (LCA) av miljøpåvirkninger fra bygninger i Norge (9). De siste årene har sett en økning i klimagassberegninger av norske bygninger. Å skape nasjonale referanseverdier og målverdier for bygninger vil være viktig for å forbedre miljøytelsen til bygninger (10).

Målet med denne rapporten er å samle livsløpsbaserte data for klimagassutslipp fra norske bygninger for å etablere mest mulig vitenskapelig forankrede referanseverdier for utslippsnivå for materialbruk i bygninger. Disse referanseverdiene kan deretter brukes for eksempel som bransjeveiledning, av forskningssenteret for nullutslippsnabolag (ZEN) i smarte byer, i Futurebuilt, i BREEAM sertifisering, i offentlig anskaffelser og til lovgivning i norske byggeforskrifter (TEK) (11, 12). Rapporten begynner med å forklare bakgrunnen for studiet, og presenterer metoden brukt i datainnsamlingen som grunnlag for å utvikle klimagassutslippskrav og referanseverdier. Resultatene er deretter presentert, etterfulgt av en diskusjon om resultatene før anbefalinger til klimagasskrav i norske bygninger blir presentert. Mer informasjon om studiet finnes i Wiik et al. (13).

1.1 Bakgrunn

World Green Building Council (WGBC) oppfordrer regjeringer til å forplikte seg til å kun ha netto nullutslippsbygninger i porteføljene sine før 2030 samt at frivillige organisasjoner bør utvikle sertifiseringsprogrammer og veikart for netto nullutslippsbygninger, insentiver og oppfølgingssystemer for raskt utvikling og implementering av nullutslippsbygninger (14). WGBC ser for seg at alle nye bygninger, infrastruktur og rehabiliteringsprosjekter skal ha 40 prosent mindre klimagassutslipp knyttet til materialer og er nesten nullenergibygninger innen 2030, og nullutslippsbygninger innen 2050 (15). WGBC definerer en netto nullutslippsbygning som et bygg med en høy ressurseffektivitet hvorav klimagassutslipp er redusert i mest mulig grad og at alle gjenstående klimagassutslipp som siste utvei kompenseres for å oppnå netto klimagassutslipp over hele livsløpet (15). Livsløpsanalyser (LCA) er ofte brukt i sertifiseringsprogrammer for bygninger, som f.eks. i LEED (USA) (16), DGNB (Tyskland) (17), BREEAM (Storbritannia) (18) og Level(s) (EU) (19).

Det internasjonale energibyrået (IEA) sitt forskningsprogram Energy in Buildings and Community Systems (EBC) Annex 57 har analysert over 80 bygninger med livsløpsanalyse og funnet ut at produksjonsfasen (A1-A3) dominerer det totale klimagassregnskapet (64%) etterfulgt av utskiftninger (B4) på 22% og avfallshåndtering og deponi (C3-C4) på 14% (20). Studien viser også at klimagassutslipp fra produksjonsfasen tilsvarer ca. 2,1 kgCO₂e/m²/år i rehabiliteringsprosjekter (3,8 når

man inkluderer utskiftninger), 3,5-6,6 kgCO₂e/m²/år i kontorbygg, 3-5,3 kgCO₂e/m²/år i boliger og 2,5-10 kgCO₂e/m²/år i skolebygninger (20). Fra 2016 - 2021 vil IEA EBC Annex 72 analysere livssyklusrelaterte miljøpåvirkninger forårsaket av bygninger (21, 22). I tillegg vil den kommende standarden ISO 21678 inneholde en metode for utvikling av referanseverdier for bærekraftige bygninger (23).

I 2013 ble Nederland det første Europeiske land som introduserte lovgivende krav for måling av klimagassutslipp fra bygninger (24). Hollberg et al. diskuterer hvordan referanseverdier kan støtte designprosessen og presenterer en metode for å kombinere top-down og bottom-up tilnæringer for veiledning på material- og komponentnivå (25). I Sveits har man implementert et veikart for energieffektivitet som gir målverdier for energi, mobilitet og klimagassutslipp fra materialer basert på en top-down tilnærming (26). En annen studie dokumenterer referanseverdier for 24 statistiske bygningstyper, representative for Europeiske bygninger og har funnet at bygninger typisk bidrar med rundt 6,36 kgCO₂e/m²/år (A1-A5, B4, B6, C1-C4) når man tar hensyn til en 100-års bygningslevetid (27). Frankrike introduserte i 2016 en livsløpsanalyse-basert merkeordning 'energi positive et reduction carbone (E+|C-)'. Senere ble også veiledningsverdier identifisert fra 40 lavenergibygninger, som viste verdier på om lag 8,4 kgCO₂e/m²/år for en bygningslevetid på 50 år (28). Sverige er i gang med å utvikle et referansemålingsverktøy. Tidlige indikasjoner viser referanseverdier mellom 220-262 kgCO₂e/m²/år som tilsvarer rundt 3,6-4,4 kgCO₂e/m²/år når man antar en 60-års bygningslevetid. Fra 2022 vil Sverige kreve miljødeklarasjoner (EPD) for alle nye bygninger, ekskludert eneboliger (29). Danmark har utviklet referanseverdier for klimagassutslipp basert på analyser av syv boliger (A1-A3, B4, B6, C3-C3) hvorav 6 kgCO₂e/m²/år tilsvarer materialutslipp og 2,17 kgCO₂e/m²/år tilsvarer utslipp fra energibruk i drift for en bygning med en 100-års levetid (10). Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) i Danmark har også samlet data for 60 bygninger som viser mulige referanseverdier for LCA for bygninger som tilsvarer 7,1 kgCO₂e/m²/år i et 50-års perspektiv og 5,7 kgCO₂e/m²/år i et 80-års perspektiv for livssyklusmodulene A1-A3, B4, C3-C4 (30). Italia har utviklet referanseverdier basert på 28 boliger (A1-A5, B4, B6, B7, C2-C4) hvorav 3,8 kgCO₂e/m²/år er materialutslipp og 10,4 kgCO₂e/m²/år er energiutslipp, basert på 100-års levetid og naturgass til oppvarming (10). I New Zealand skal klimagassutslipp fra boliger og kontorbygg reduseres med minst 67% sammenlignet med dagens standard. Dette tilsvarer et klimabudsjett på 71 tCO₂eq over en 90-års levetid for en bolig (31). En annen studie refererer livsløpsanalyser for 95 boliger verden rundt og har funnet at totale klimagassutslipp varierer mellom 3 – 17,5 kgCO₂e/m²/år (justert til en 60-års levetid) (32). En annen studie har vurdert 200 bygninger i USA og har funnet totale klimagassutslipp varierer fra 4,2 til 11,7 kgCO₂e/m²/år (33). Studien også fant at helsetjeneste-bygninger har typisk høyere klimagassutslipp og at hoteller har lignende klimagassutslipp som boliger (33). En annen studie gjennomgår systematisk 650 LCA studier fra hele verden og finner at klimagassutslipp fra materialbruk øker jo mer energieffektiv en bygning blir (34). Tsjekkia kombinerer en top-down og bottom-up tilnærming for å finne klimamål som tilsvarer Parisavtalen, og har funnet ut at bottom-up resultatene er 2,5 ganger høyere enn top-down målene (35). I Norge jobber Grønn Bygg Alliansen med konseptet 'paris-proof bygninger' i BREEAM-NOR, og definerer det som en bygning som bruker materialer med lave klimagassutslipp fra produksjon og transport, lavt klimagassutslipp fra energibruk basert på fornybare energikilder, har en fossilfri eller utslippsfri byggeplass og legger til rette for offentlig og fossil/utslippsfri transport (36). En komparativ analyse utført i Danmark og Italia har også vist hvordan referanseverdier er sensitive for metodiske faktorer som valg av systemgrenser, inventaret og databasen og hvor viktig det er med transparente beregningsregler (10). Analysen foreslår også kilder til ulike typer referanseverdier. Det finnes mange

forskjellige begrep når det gjelder utvikling av referanseverdier. Disse begrepene er forklart i Tabell 1 med hjelp av ISO 21678 (23).

Tabell 1. Oversikt over begrep utvidet fra (10).

Type verdi	Engelsk begrep	Definisjon	Mulig kilde
Målverdi	Target value	Målverdien representerer øvre grense av skalaen på det som er teoretisk mulig, i dette tilfellet det 5. prosentilet.	Nasjonale mål Best mulig økonomisk eller teknisk
Beste praksis verdi	Best practice value	Beste praksis verdien representerer de aller beste forbildeprosjektene, i dette tilfellet det øvre kvartil.	Beste praksis Statistisk analyse av data (øvre kvartil)
Referanseverdi	Reference value Benchmark value	Referanseverdien er definert som dagens standard (TEK), i dette tilfellet tilsvarer dette median. Referanseverdien kan også forveksles med og referer til 'benchmark value' som er referanseverdien gitt for et spesifikk tidspunkt (f.eks. i 2020).	Statistisk analyse av data (median)
Grenseverdi	Limit value	Grenseverdien er definert som lavest akseptabel verdi, i dette tilfellet det nedre kvartil. (ISO 21678)	Lovlig minimum Normative minimum
Terskelverdi	Threshold value	Terskelverdiene tilsvarer grenseverdi og mål-/bestepraksis verdien.	Nasjonale mål Best mulig økonomisk eller teknisk Lovlig minimum Normative minimum
Erfaringstall	Empirical/historical data	Erfaringstall er skapt fra empiriske, historiske data.	Empiriske data Historiske data
Indikativverdi	Indicative value	Indikativverdier er referanseverdier (benchmark values) for enkelte livssyklusmoduler. Summen av indikativverdier for hele livsløpet tilsvarer referanseverdien.	Statistisk analyse av data (median)
Orienteringsverdi	Orientation value	Det samme som indikativverdi.	Det samme som indikativverdi.
Veiledningsverdi	Guidance value	Det samme som indikativverdi.	Det samme som indikativverdi.

FNs klimagass-rapport fra 2019 viser at utslippene av klimagasser på verdensbasis har økt til 55,3 GtCO₂e i 2018 og at verden er på kurs mot en temperaturstigning på 3,2°C. For å nå Parisavtalens klimamål må utslippene reduseres med 7,6% fra 2020 til 2030 for å begrense temperaturstigningen til 1.5°C og med 2,7% for å begrense den til 2C (37).

2. Metode

Livsløpsanalyse (LCA) er en etablert metode for å vurdere miljøpåvirkninger av bygninger (9, 38-40) og består av produksjonsstadiet (A1-A3), gjennomføringsstadiet (A4-A5), bruksstadiet (B1-B8), sluttstadiet (C1-C4) og konsekvenser utover systemgrensen (D) avbildet i Figur 1.

Figur 1: Livsløpsmoduler i NS 3720 (9).

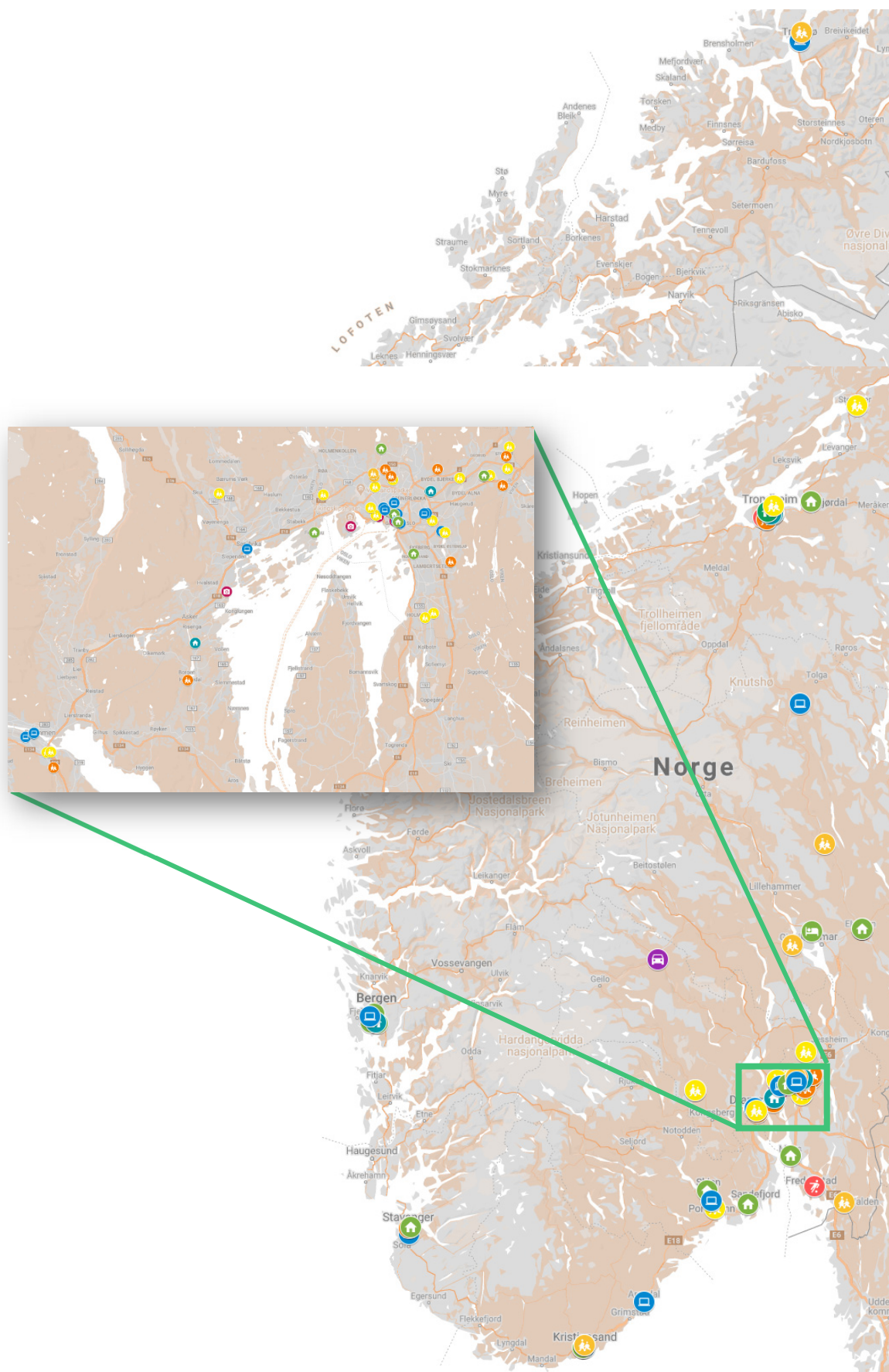
A1-3 Produktstadiet			A4-5 Gjennomføringsstadiet		B1-7 Bruksstadiet								C1-4 Livsløpets sluttstadiet				D Konsekvenser utover systemgrensen
A1: Råvarer	A2: Transport	A3: Produksjon	A4: Transport	A5: Anlegg-, bygge- og monteringsarbeid	B1: Bruk	B2: Vedlikehold	B3: Reparasjon	B4: Utskiftning	B5: Ombygging	B6: Energibruk i drift	B7: Vannforbruk i drift	B8: Transport i drift	C1: Riving	C2: Transport	C3: Avfallsbehandling	C4: Avhending	D: Material- og energigjenvinning og ombruk av materialer eksport av egenprodusert energi

Metoden brukt i denne rapporten omfatter innsamling av empiriske livsløpsdata for klimagassutslipp fra norske bygninger fra bl.a. Futurebuilt (5, 41), Framtidens Byer og Framtidens Bygg (42), forskningscenteret for nullutslippsbygg (ZEB) (43) og forskningscenteret for nullutslippsnabolag (ZEN) i smarte byer (11) og representerer et bredt utvalg av bygninger i Norge. En metaanalyse har blitt gjennomført for alle 133 norske bygninger som er samlet inn mellom perioden 2009-2020. Figur 2 viser hvor de ulike bygningene er plassert i Norge. Samlet dekker studiene til sammen 1,023,738 m² oppvarmet areal og 49,360 brukere. Ca. to tredjedeler av bygningene er mellomstore (1.000 til 10.000m²), 20% er store (>10.000m²) og 15% små (<1.000m²). Hver studie har beregnet klimagassutslipp i enten Arda og bLCAd – verktøy utviklet på NTNU, ByggLCA – Asplan Viaks eget verktøy, manuelle beregninger ved bruk av BIM (.ifc format), miljødeklarasjoner (EPD) og ecoinvent, klimagassregnskap.no (KGR, forløper til OneClickLCA) (44), OneClickLCA (45), Powerhouse alliansens eget verktøy, SimaPro (46) eller MS Excel-basert ZEB regneark for klimagassberegninger utviklet i forskningscenteret for nullutslippsbygninger (ZEB) (47). Alle verktøy følger i forskjellige grad livsløpsmetoden beskrevet i (9, 39, 40). Dataene samlet inn har ikke blitt harmonisert bortsett fra den funksjonelle enheten.

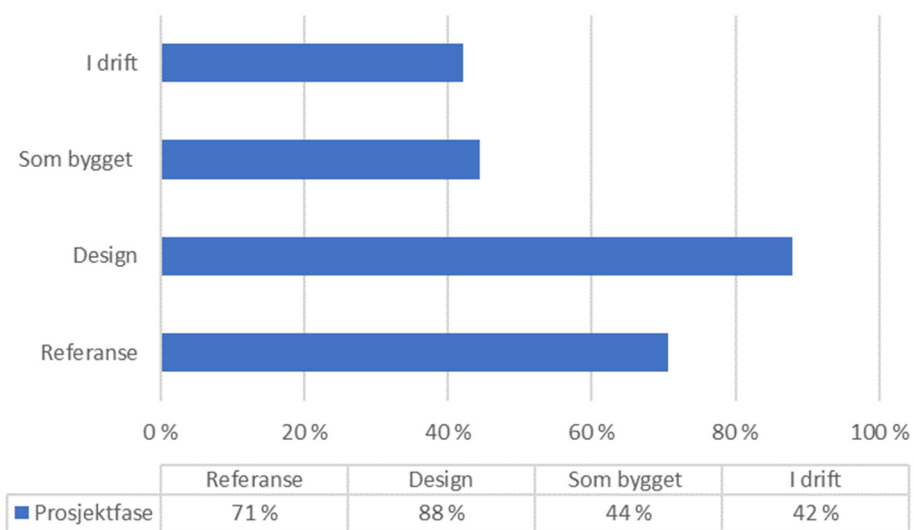
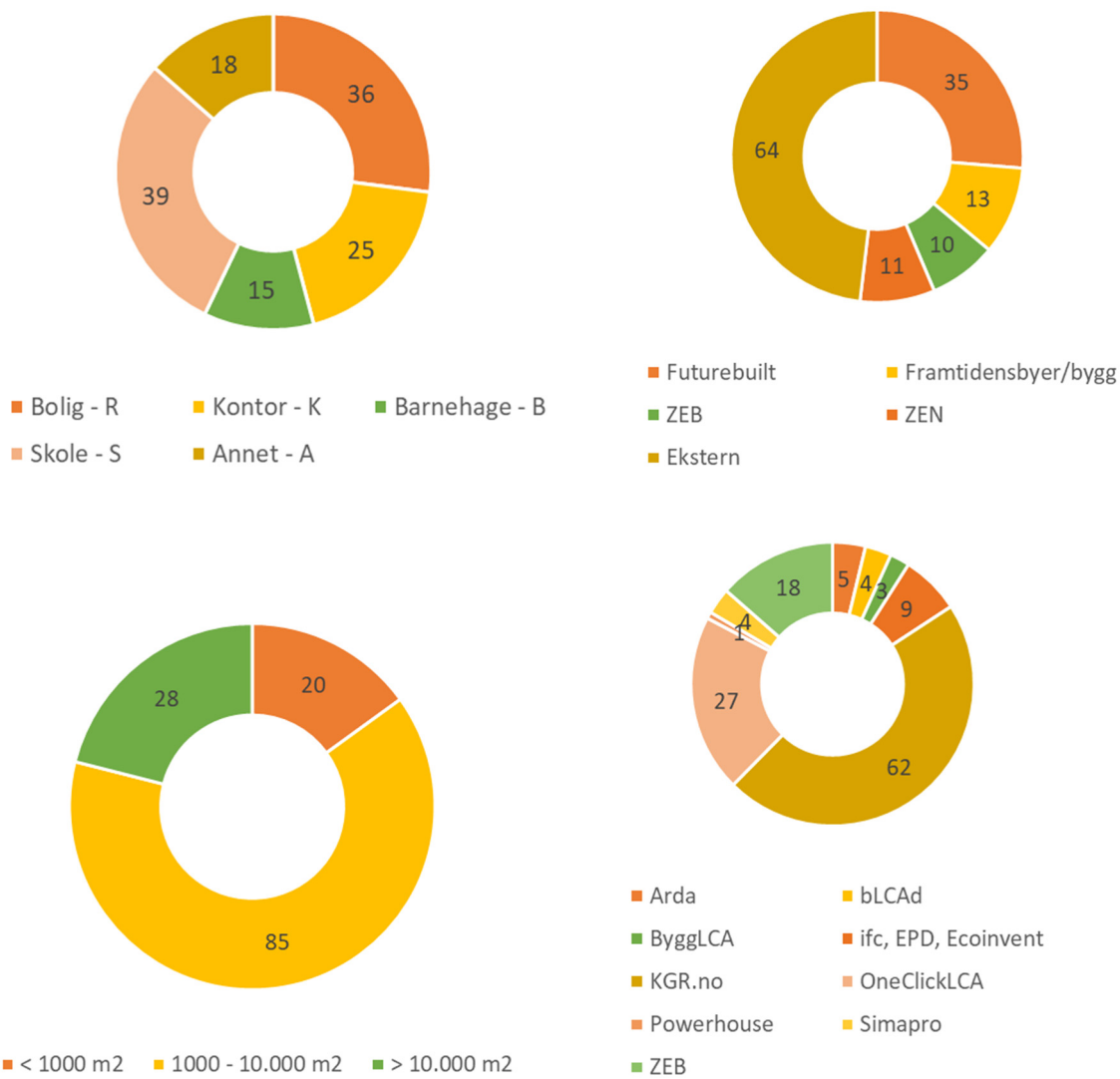
En statistisk analyse har blitt gjennomført på de samlede dataene for å utvikle bottom-up referanseverdier. Den statistiske analysen dokumenterer minimum- og maksimum-verdier, 5., 25., 75. og 95. prosentiler, gjennomsnittsverdier og medianverdier. I den kommende ISO 21678 standarden er grenseverdien definert som lavest akseptabel verdi, i dette tilfellet nedre kvartil (75. prosentil), referanseverdien er definert som dagens standard og betyr i denne studien medianverdien, og målverdien er definert som øvre grense av skalaen på det som er teoretisk mulig, i dette tilfellet det 5. prosentilet (23).

Bygningstypene inkluderer 36 boligbygg (som bruker kode R01-R36), 25 kontorbygg (K01-K25), 15 barnehager (B01-B15), 39 skolebygg (S01-S39), og 18 andre typer bygninger (A01-A18 som består av 1 bibliotek, 4 museum, 6 sykehjem, 2 svømmebasseng, 3 flerbrukshall, 1 hotell og 1 nabolag) hvorav 14 prosjekter i databasen er rehabiliteringsprosjekter (markert med *). Boligbyggene består av enebolig, rekkehus, boligblokk, bofellesskap og omsorgsbolig. Skolebyggene består av barneskole,

ungdomsskole, kombinert barne- og ungdomsskole, videregående skole og annen universitets- og høyskolebygning. Figur 2 viser at de fleste bygningene er samlet rundt Oslo-fjorden mest sannsynlig fordi ca. en fjerdedel av bygningene i databasen kommer fra Futurebuilt programmet som finner sted i Oslo, Asker og Drammen. Deretter er det Trondheim, Bergen og Stavanger som har meldt inn flest bygninger. Det sørligste bygget finnes i Kristiansand mens det nordligste bygget finnes i Tromsø. Klimagassutslipp er rapportert, når tilgjengelig, for hver prosjektfase (f.eks. referanse, design, som bygget og i bruk), for hver livssyklusmodul og for hver bygningsdel i samsvar med NS 3720 og NS 3451(9, 48). Andre viktige data inkluderer blant annet beliggenhet, år, beregningsverktøy, bygningstype (i samsvar med NS 3457-3), antall brukere, antall etasjer, areal (BTA – brutto areal, BYA – bebygde areal, BRA – oppvarmet bruksareal og NTA – netto areal) i henhold til NS 3940. Klimagassutslipp er rapportert i globalt oppvarmingspotensialet (GWP) med en funksjonell enhet '1m² oppvarmet bruksareal over en bygningslevetid av 60 år' (kgCO₂e/m²/år). Figur 3 oppsummerer bygningstype, datakilde, størrelse, verktøy og antall studier i databasen som har deklartert prosjektfasene. Figur 3 viser at nesten halvparten av bygningene i databasen kommer fra eksterne kilder som f.eks. byggherrer, entreprenører, arkitekter og konsulenter i Norge, mens ca. en fjerdedel kommer fra Futurebuilt programmet, og en fjerdedel fra andre programmer og forskningssentre som Framtidens Byer, Framtidens Bygg, ZEB og ZEN. Det betyr at ca. halvparten er forbildeprosjekter med miljøambisjoner. Figur 3 også viser at de fleste beregningene er gjennomført i enten KGR.no eller OneClick LCA (67%). Det er nesten dobbelt så mange som har brukt ZEB verktøyet (18 stykker) som det finnes ZEB bygninger (10 bygninger), og ZEB verktøyet er det tredje mest brukte verktøyet etter OneClick LCA og forgjengeren KGR.no. Figur 3 viser at klimagassberegninger er oftest gjennomført i design fasen (88%) etterfulgt av referanse (71%), som bygget (44%) og i driftsfasen (42%).



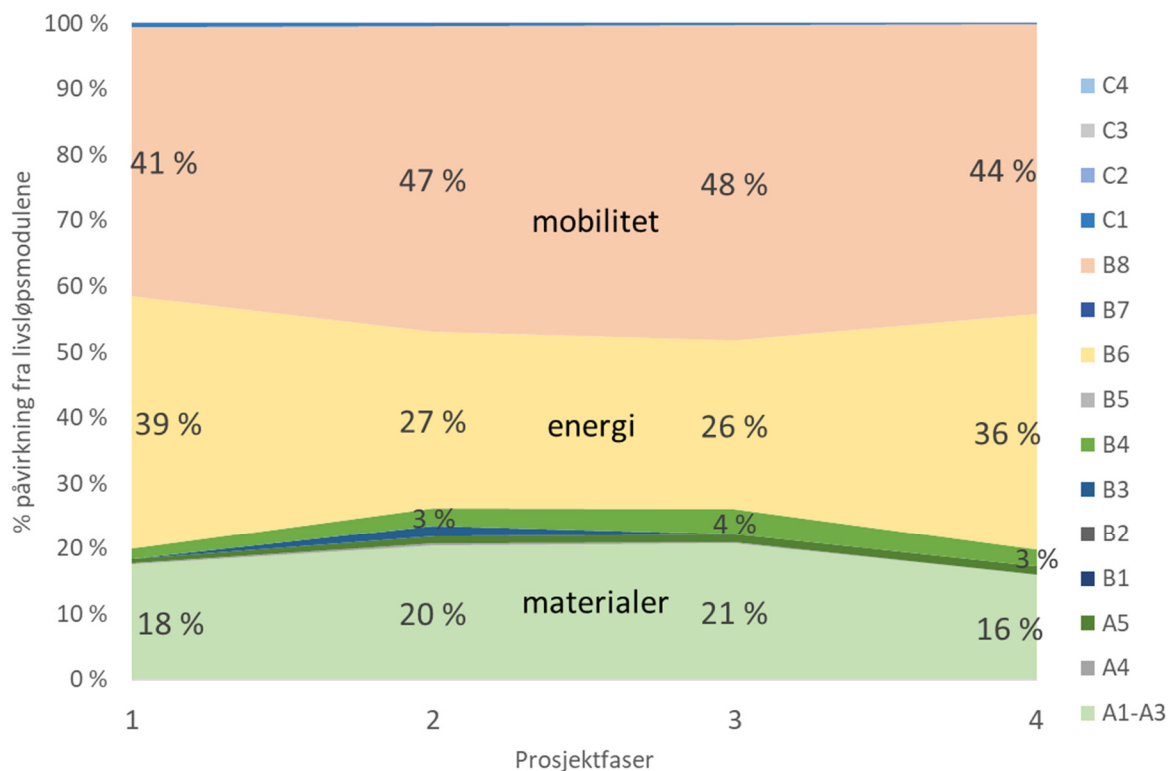
Figur 2: Oversikt over LCA studier samlet inn for bygninger rundt omkring i Norge, laget i Google Maps.



Figur 3: Oversikt over antall bygninger fordelt på bygningstype, datakilde, størrelse og verktøy samt antall studier i databasen som har deklart prosjektfasene.

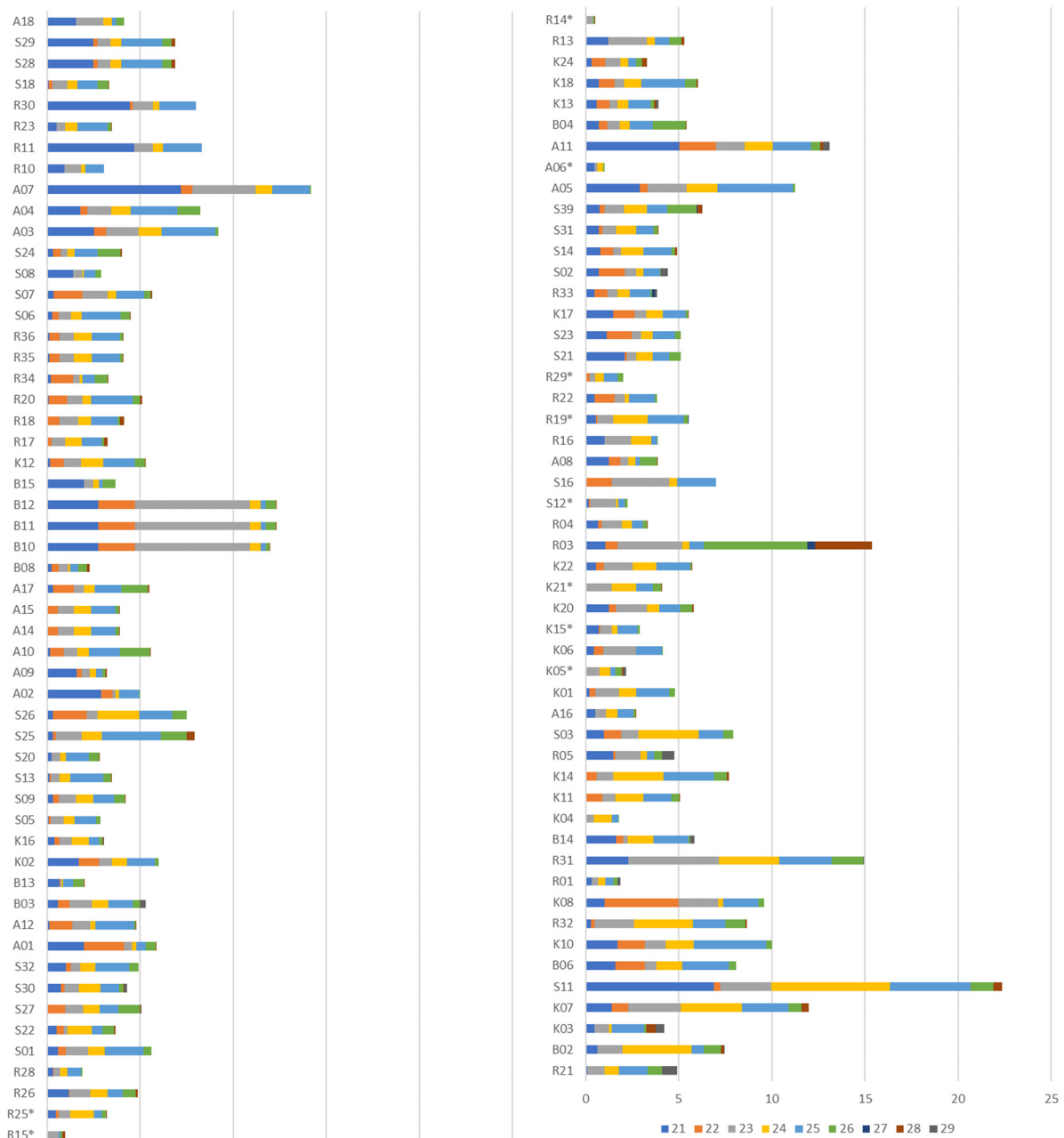
3. Resultater

En oversikt over resultatene for hvert bygg finnes i vedlegg A, og en oversikt over resultatene fra den statistiske analysen for hver prosjektfase, hver livssyklusmodul og hver bygningsdel finnes i vedlegg B. Figur 4 viser andel av klimagassutslipp for hver livssyklusmodul (A1-C4) for alle studiene i hver prosjektfase (referanse, design, som bygget og bruk). Figuren viser en mindre andel av utslipp fra modulene A4-A5, B1-B3, B5, B7 og C1-C4. Forfatterne mistenker at dette skyldes at disse modulene er underrapportert i norske livsløpsanalyser. Med introduksjon av NS 3720 og revisjon av EN 15804 kan vi i framtiden forvente bedre dokumentasjon av hele livsløpet. Klimagassutslipp fra produksjonsfasen er ofte vurdert som betydelig siden utslippene skjer nå og er viktig å redusere hvis vi skal nå klimamålene. Andelen av klimagassutslipp fra materialbruk (A1-A3, B4) ser ut til å være undervurdert i referansefasen siden det er høyere utslipp fra materialbruk i design og 'som bygget'-fasene. Andelen klimagassutslipp fra energibruk i drift (B6) har et høyt estimat i referansefasen (39%), er beregnet og optimert i design og som bygget fasene (26-27%), men har en høyere andel i bruksfasen (36%). Andelen av klimagassutslipp fra transport i drift (B8) bidrar mest til klimagassutslipp og øker i design og 'som bygget'-fasene på samme vis som energibruk. Det største påvirkning på transport skjer mest sannsynlig i reguleringsplan og med tomtevalg.



Figur 4: Påvirkning fra livsløpsmodulene (A1-C4) over prosjektfasene hvorav 1) referanse, 2) design 3) som bygget og 4) bruksfasen.

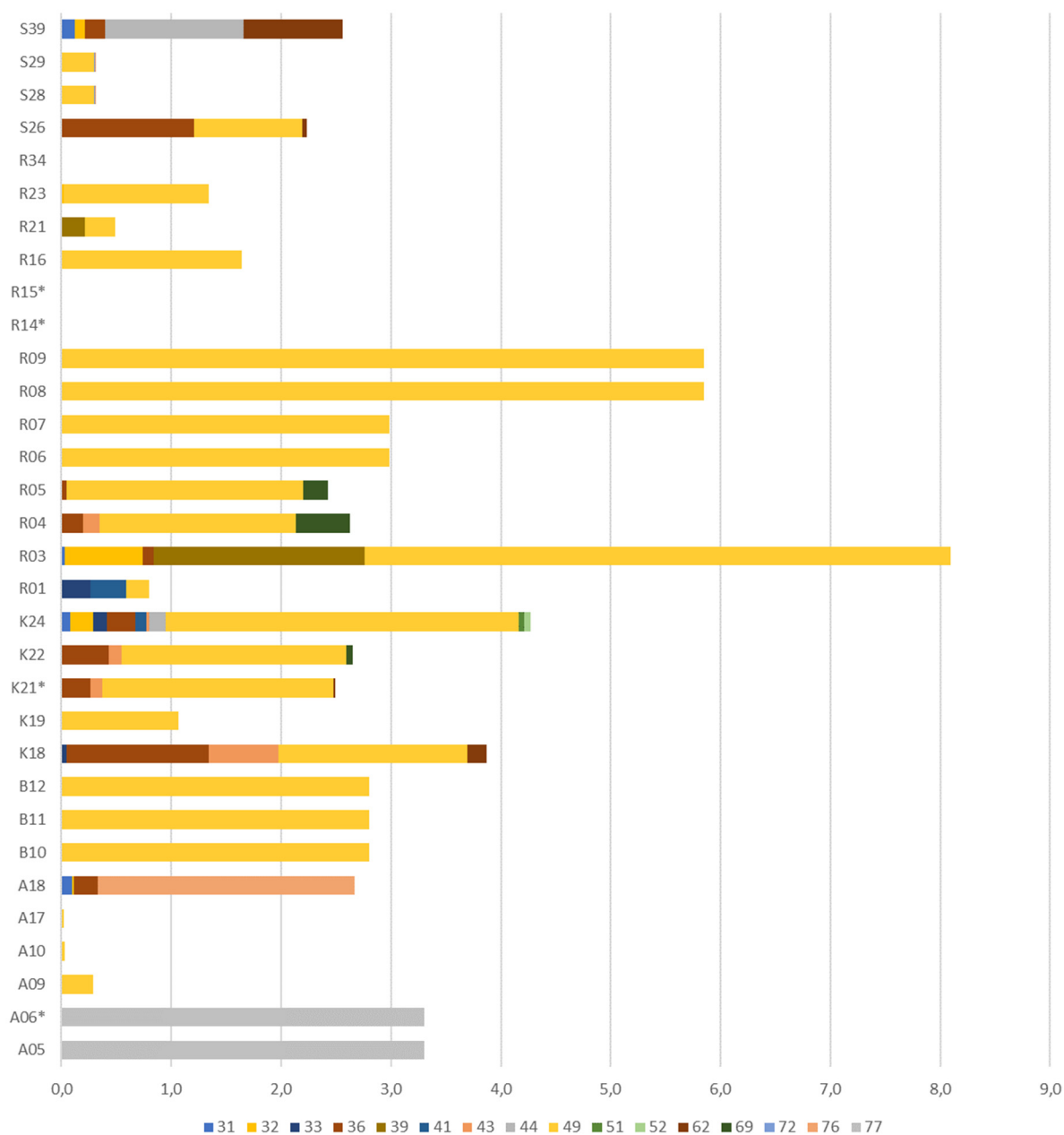
Figur 5 viser klimagassutslipp for hver av bygningsdelene nummerert 21-29 i bygningsdelstabellen NS 3420, hvorav 21 er grunn og fundamenter, 22 er bærekonstruksjon, 23 er yttervegger, 24 er innervegger, 25 er dekker, 26 er tak, 27 er fast inventar, 28 er trapper og balkonger og 29 er andre bygningsmessige deler. * viser rehabiliteringsprosjekter.



Figur 5: Stolpediagram som viser klimagassutslipp for hver bygnings bygningsdel hvor dette var oppgitt i kgCO₂e/m²/år. (21 – grunn og fundamenter, 22 – bærekonstruksjon, 23 - yttervegger, 24 – innervegger, 25 – dekker, 26 – tak, 27 – fast inventar, 28 – trapper og balkonger og 29 andre bygningsmessige deler.) * viser rehabiliteringsprosjekter.

Figur 6 viser klimagassutslipp for hver bygningsdel utover bygningskroppen hvor dette var oppgitt. Kun 32 bygninger (24%) har rapportert et utvalg av disse bygningsdelene, og ingen har rapportert alle bygningsdelene fra nummer 21 til 79. De bygningsdelene utover bygningskroppen (21-29) som er oftest rapportert, er 49 – andre elkraft installasjoner som for eksempel solceller (PV) (26 bygninger), 36 – luftbehandling (12 bygninger), 32 – varme, 43 – lavspent forsyning (5 bygninger), 31 – sanitær, 62 – person og varetransport som for eksempel heis (4 bygninger), 33 – brannslukking, 44 – lys, 69 – andre tekniske installasjoner, 72 – utendørs konstruksjoner, 76 – veger og plasser (3 bygninger), 39 – andre VVS-installasjoner, 41 – basisinstallasjoner for elkraft, 77 – parker og hager (2 bygninger), 51 –

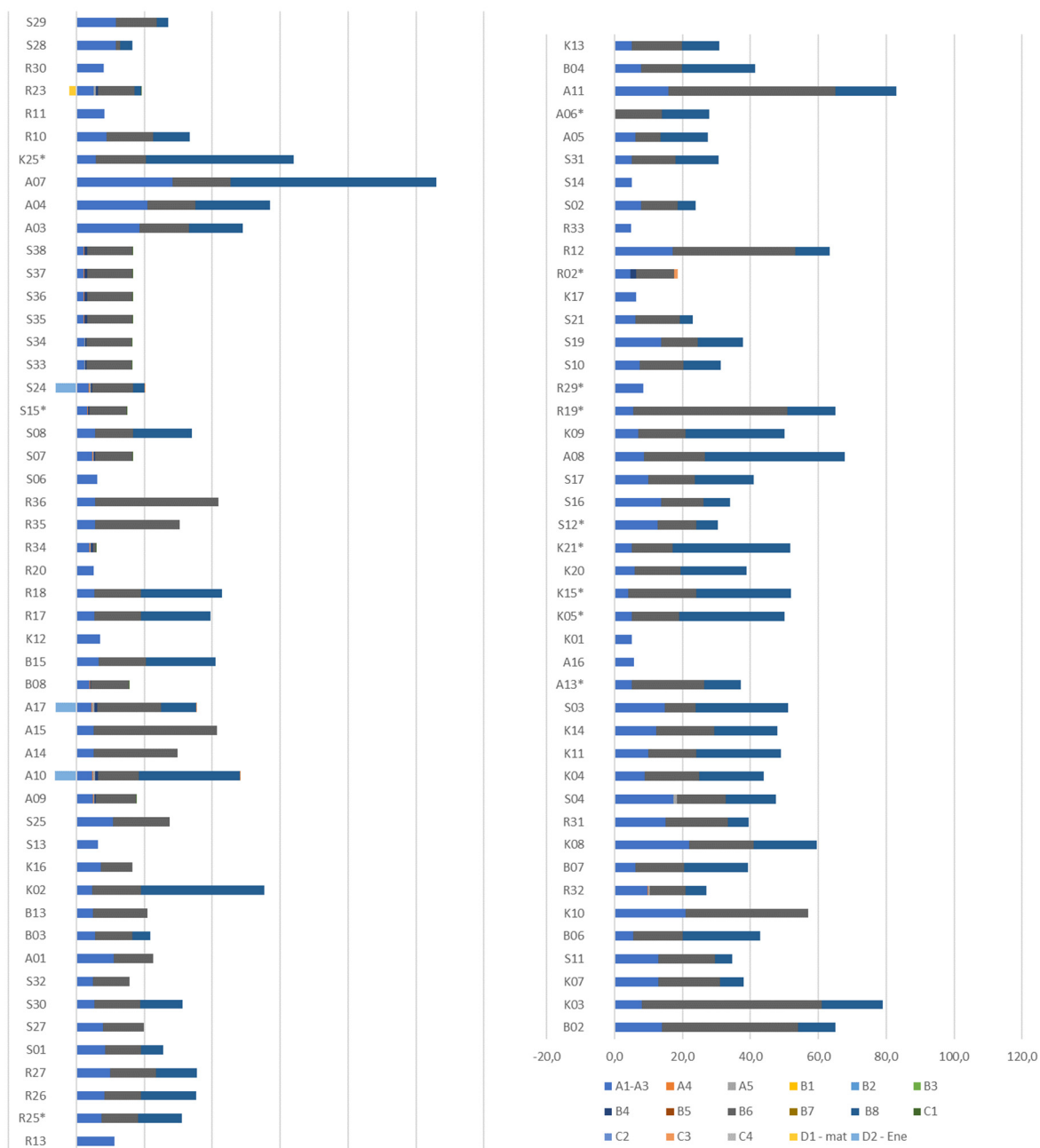
basisinstallasjoner for tele og automatisering og 52 – integrert kommunikasjon (1 bygning). * viser rehabiliteringsprosjekter.



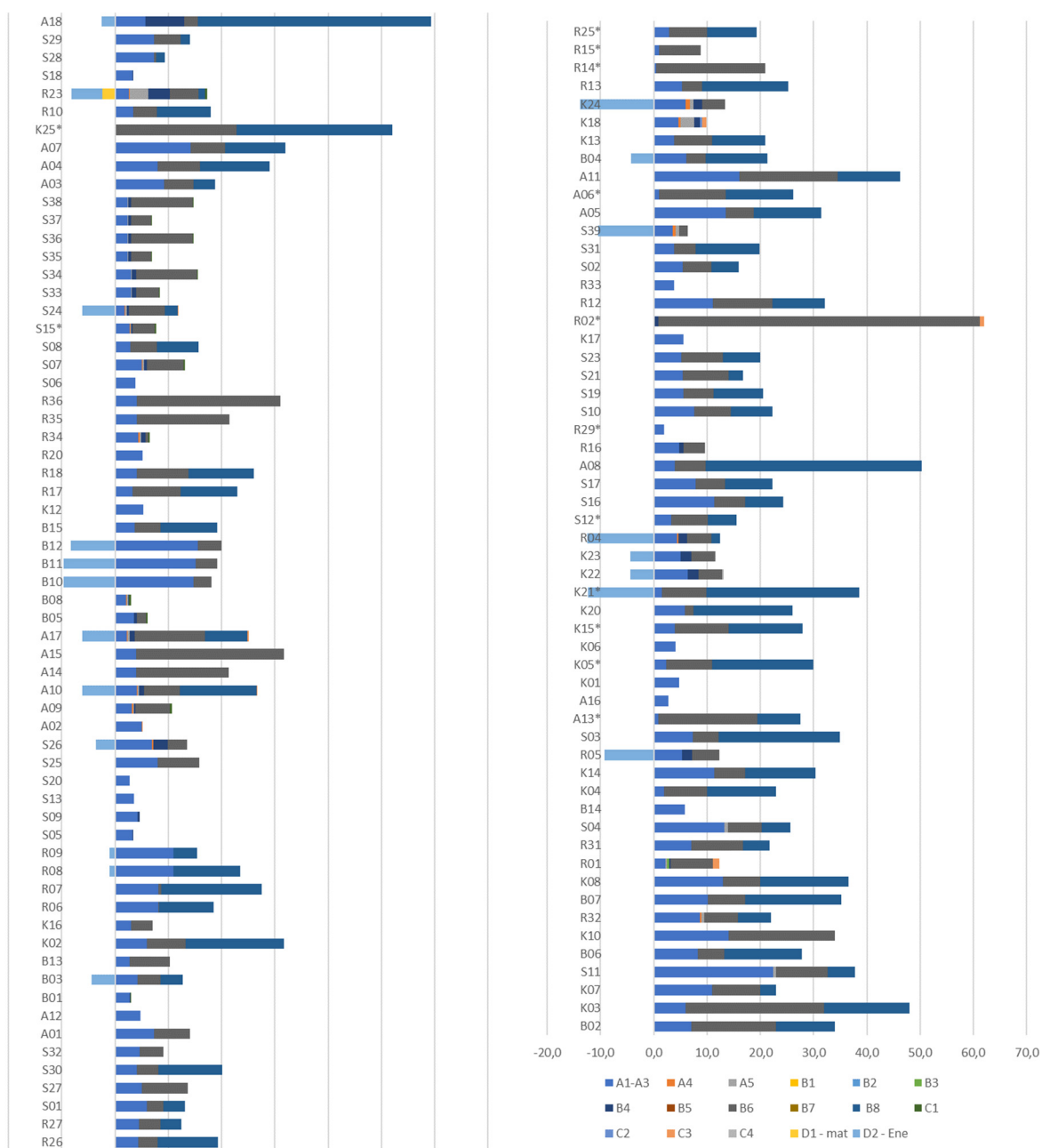
Figur 6: Stolpediagram som viser klimagassutslipp for hver bygnings bygningsdel utover bygningskroppen hvor dette var oppgitt i kgCO₂e/m²/år. (31 – sanitær, 32 – varme, 33 – brannsløkking, 36 – luftbehandling, 39 – andre VVS-installasjoner, 41 – basisinstallasjoner for elkraft, 43 – lavspent forsyning, 44 – lys, 49 – andre elkraft installasjoner som f.eks. solceller (PV), 51 – basisinstallasjoner for tele og automatisering, 52 – integrert kommunikasjon, 62 – person og varetransport som f.eks. heis, 69 – andre tekniske installasjoner, 72 – utendørs konstruksjoner, 76 – vegger og plasser og 77 – parker og hager). * viser rehabiliteringsprosjekter.

Figur 7 viser klimagassutslipp for hver bygning per livsløpsmodul i referansefasen, Figur 8 viser klimagassutslipp for hver bygning per livsløpsmodul i designfasen og Figur 9 viser klimagassutslipp for hver bygning per livsløpsmodul i 'som bygget'-fasen. Disse tre figurene viser at de alle fleste bygninger

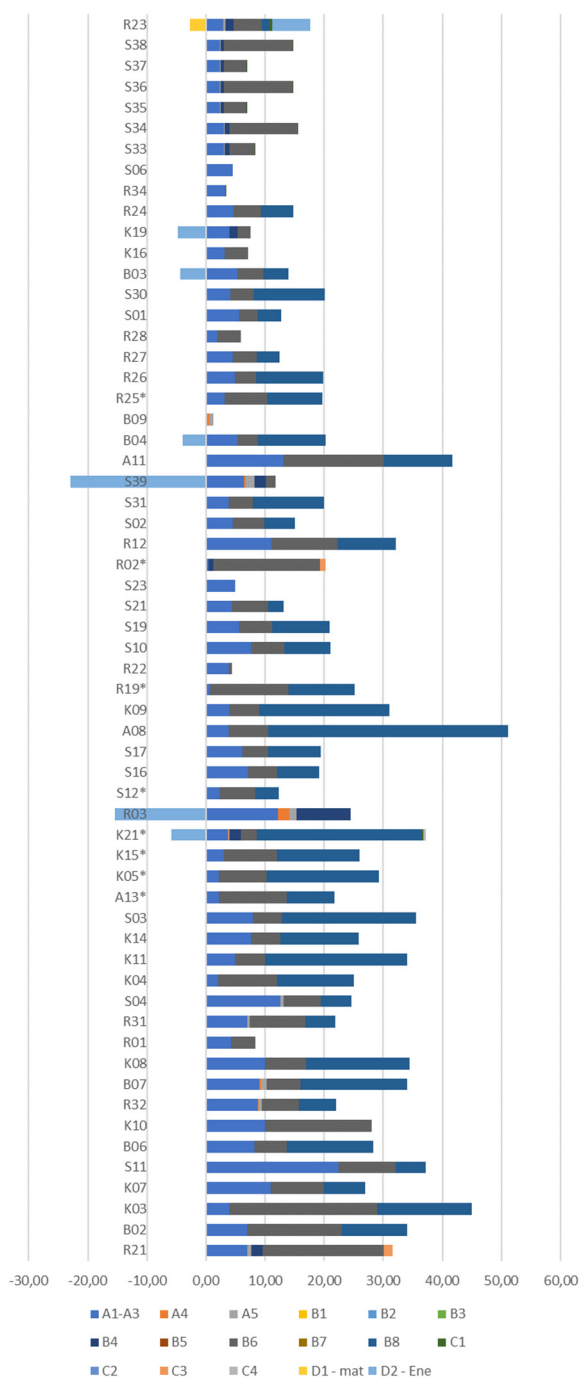
kun dokumenterer klimagassutslipp fra materialer (A1-A3, B4), energi (B6) og transport (B8) samt eksport av energi i modul D. * viser rehabiliteringsprosjekter.



Figur 7: Stolpediagram som viser klimagassutslipp for hver bygning per livsløpsmodul i referansefasen hvor dette var oppgitt i kgCO₂e/m²/år. * viser rehabiliteringsprosjekter.



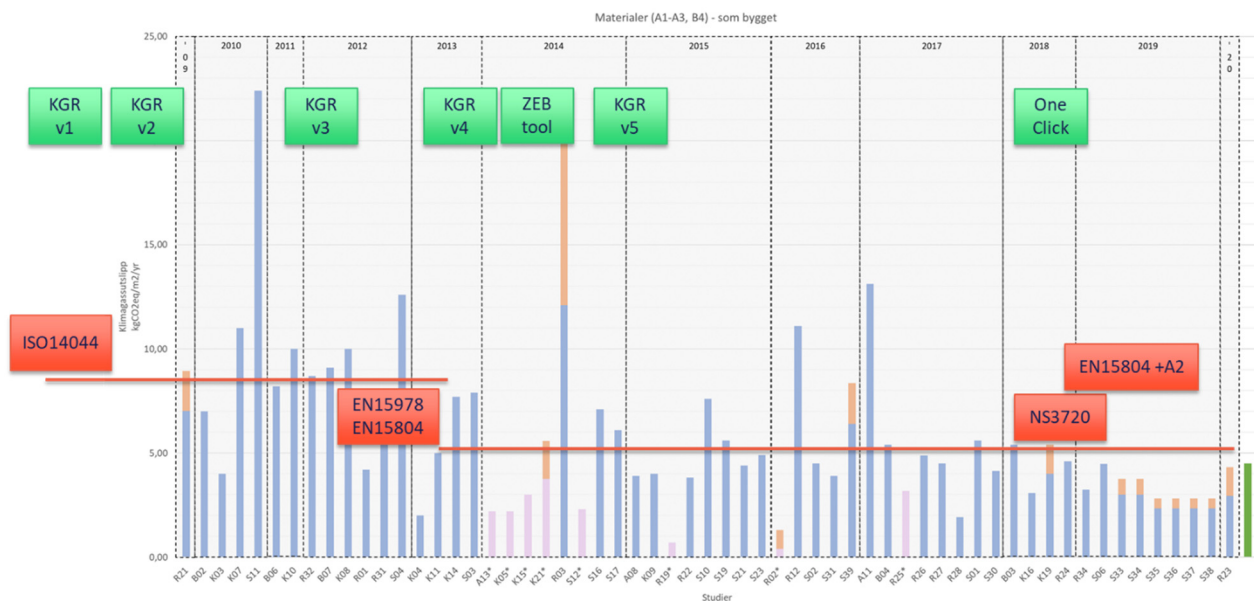
Figur 8: Stolpediagram som viser klimagassutslipp for hver bygning per livsløpsmodul i designfasen hvor dette var oppgitt i $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{år}$. * viser rehabiliteringsprosjekter.



Figur 9: Stolpediagram som viser klimagassutslipp for hver bygning per livsløpsmodul i som bygget fasen hvor dette var oppgitt i kgCO₂e/m²/år. * viser rehabiliteringsprosjekter.

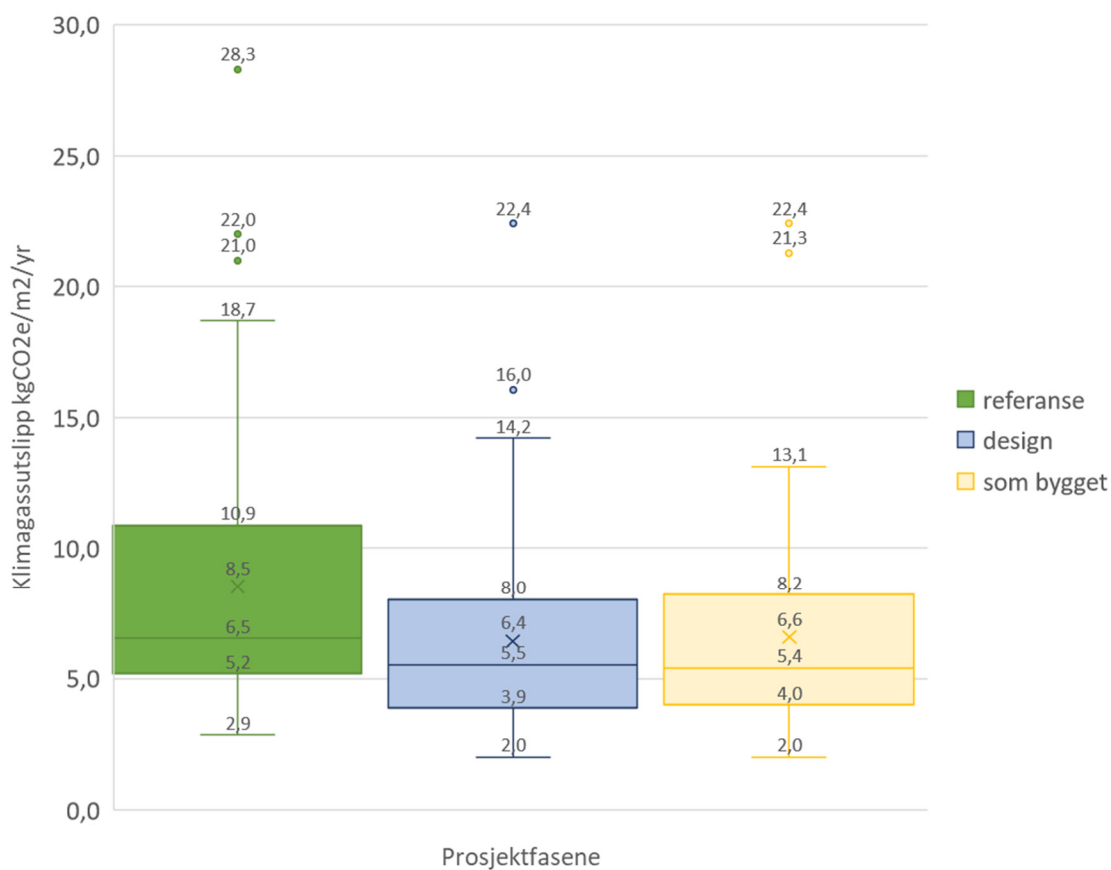
Figur 10 viser klimagassutslippsresultatene fra materialbruk A1-A3 (blå stolper), B4 (oransje stolper hvor dette er rapportert separat fra produksjonsutslipp) for alle bygninger som rapportere utslipp i 'som bygget'-fasen (59 bygninger) sammen med en oppsummering av metodiske utviklinger over tid og utvikling av LCA beregningsverktøy. Resultatene viser en nedgang i klimagassutslipp ved overgangen fra 2012 til 2013 når EN 15804 og EN 15978 ble lansert. På samme tidspunktet ble klimagassregnskap.no versjon 4 oppdatert med en forbedret utslippsfaktor database og ZEB beregningsverktøyet ble lansert. Disse endringene førte til mer standardiserte datakilder fra produktspesifikke

miljødeklarasjoner (EPD) og generiske data fra ecoinvent databasen. Det vil være interessant å se hvilke konsekvenser introduksjon av NS 3720 samt utbredt bruk av OneClickLCA i byggeindustrien vil ha på fremtidige klimagassberegninger og resultater i Norge. Den tyske EPD stiftelsen, IBU, har observert at å velge produkter med EPD har en positiv virkning på karbon-fotavtrykk til en bygning (50). Figur 10 viser to avvik med høye klimagassutslipp sammenlignet med de andre studiene. Den første (S11) optimaliserte ikke materialbruk i bygningen og brukte mye eksponert betong for å utnytte termisk masse. Den andre (R03) inkluderer et meget detaljert materialinventar som omfatter alt tekniske utstyr og VVS som fører til høyere klimagassutslipp fra utskiftning av disse komponentene som ofte har en kortere levetid enn bygningen (oransje stolper). Rehabiliteringsprosjekter (rosa stolper) har vesentlige lavere klimagassutslipp sammenlignet med nye bygninger.

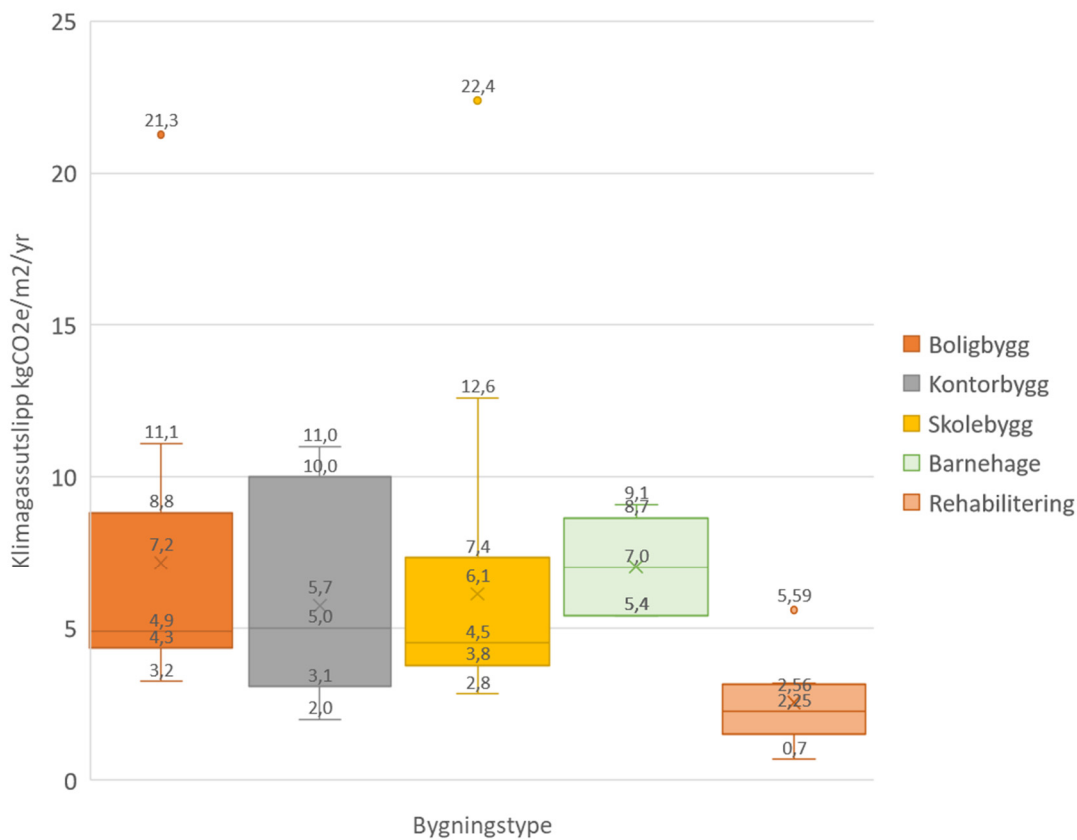


Figur 10: Stolpediagram som viser klimagassutslipp for livsløpsmoduler A1-A3 (blå stolpe) og B4 (oransje stolpe) i som bygget fasen over tidsperioden 2009 til 2020. Alle studiene fra Futurebuilt programmet har slått sammen materialutslippene (A1-A3, B4) i ett (blå stolpe). Rehabiliteringsprosjekter er vist i rosa stolper, mens gjennomsnittet viser i en grønn stolpe.

Figur 11 presenterer den statistiske analysen for klimagassutslipp fra modulene A1-A3 og B4 for alle bygningene i ulike prosjektfaser (referanse, design og som bygget). Resultatene av sammenstillingen viser en kvartilbredde på 240-492 kgCO₂e/m², eller 4,0-8,2 kgCO₂e/m²/år og en median på 324 kgCO₂e/m² eller 5,4 kgCO₂e/m²/år for alle bygningstypene 'som bygget'. Resultatene viser at avvikende verdier er i høyere enden av distribusjonen siden median er lavere enn gjennomsnittet. Dette gir grunnlag for å bruke median istedenfor gjennomsnittet som referanseverdi. Figur 12 viser den statistiske analysen for klimagassutslipp fra modulene A1-A3 og B4 for ulike bygningstyper, nemlig boligbygg, kontorbygg, skolebygg, barnehage og rehabiliteringsprosjekter. Resultatene viser lavere klimagassutslipp fra rehabiliteringsprosjekter siden bærekonstruksjonen og fundamentene er gjenbrukt. Figur 12 viser også at det er mindre variasjon for skolebygg og barnehager siden de er av lignende størrelse og ofte er av trekonstruksjon med passivhus-standard.

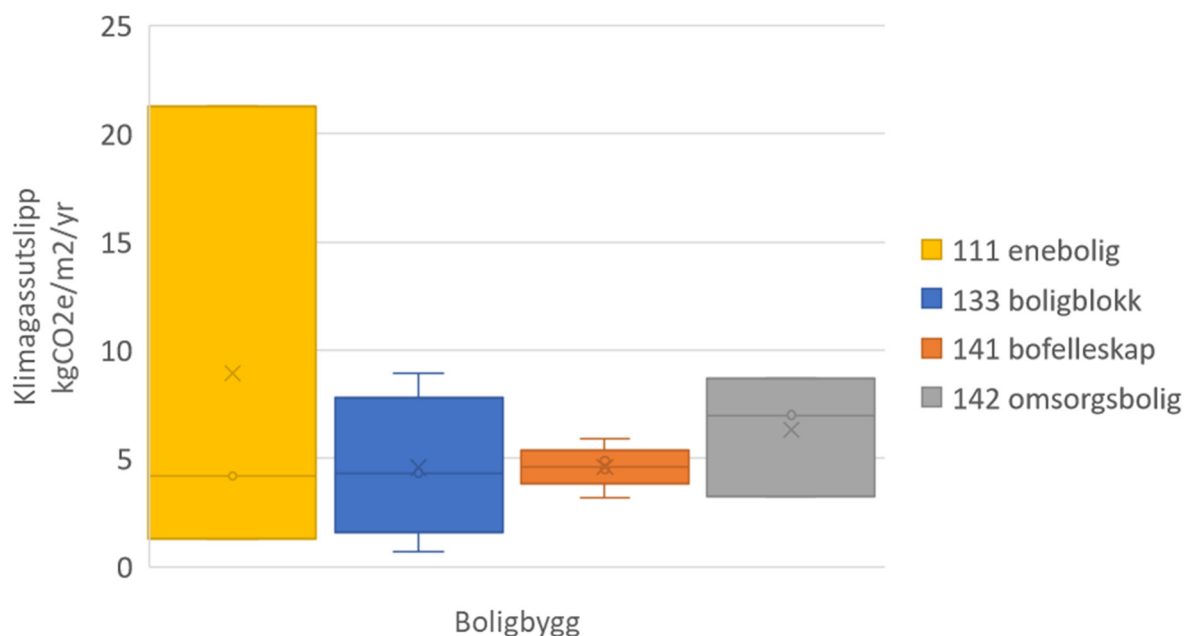


Figur 11: Boksploott av klimagassutslipp (A1-A3 og B4) fra alle bygninger i ulike prosjektfaser.

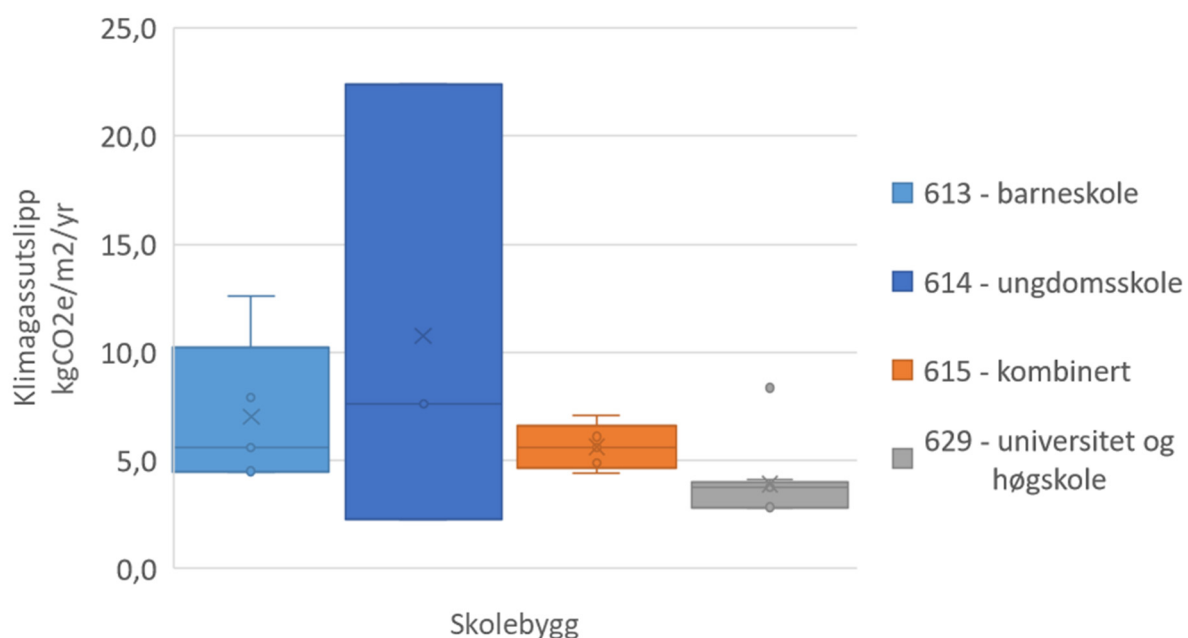


Figur 12: Boksploott av klimagassutslipp (A1-A3 og B4) fra ulike bygningstyper i som bygget fasen.

Figur 13 viser resultat fra den statistiske analysen for ulike boligbygg (enebolig, boligblokk, bofelleskap og omsorgsbolig) og Figur 14 viser resultat for ulike skolebygg (barneskole, ungdomsskole, kombinert barne- og ungdomsskole og universitet og høyskole). Resultatene viser at det er stor variasjon i tallene for eneboliger og ungdomsskoler, og mindre for bofelleskap og kombinerte barne- og ungdomsskoler.



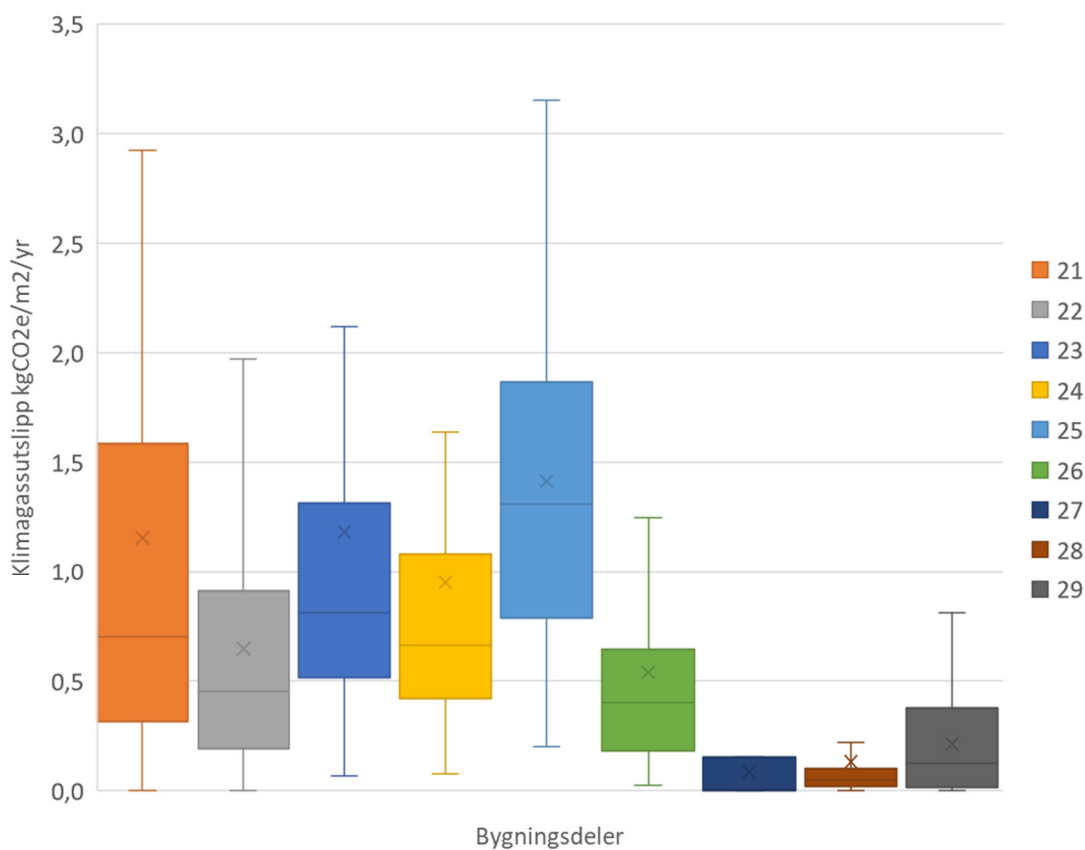
Figur 13: Boksplokk av klimagassutslipp (A1-A3 og B4) fra ulike boligbygg i som bygget fasen.



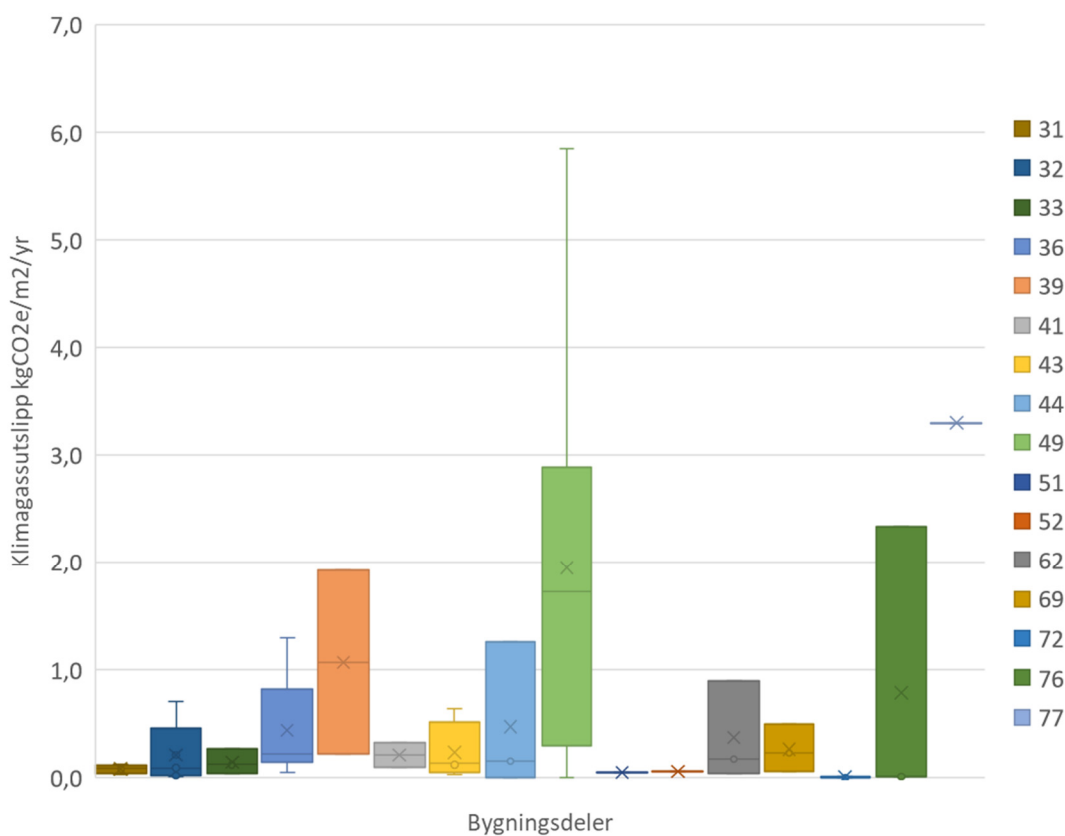
Figur 14: Boksplokk av klimagassutslipp (A1-A3 og B4) fra ulike skolebygg i som bygget fasen.

Figur 15 og 16 viser resultater fra den statistiske analysen for bygningsdeler, hvorav Figur 15 er for bygningskroppen (21 - grunn og fundamenter, 22 – bærekonstruksjon, 23 – yttervegger, 24 – innervegger, 25 – dekker, 26 – tak, 27 – fast inventar, 28 – trapper og balkonger, 29 – andre bygningsmessige

deler), og Figur 16 er for andre bygningsdeler (31 – sanitær, 32 – varme, 33 – brannsløkking, luftbehandling, 39 – andre VVS-installasjoner, 41 – basisinstallasjoner for elkraft, 43 – lavspent forsyning, 44 – lys, 49 – andre elkraftinstallasjoner som f.eks. solceller (PV), 51 – basisinstallasjoner for tele og automatisering, 52 – integrert kommunikasjon, 62 – person- og varetransport, 69 – andre tekniske installasjoner, 72 – utendørs konstruksjoner, 76 – veger og plasser, 77 – parker og hager) rapportert i LCA studier for norske bygninger. Utelatte bygningsdeler har ikke blitt vurdert av de norske LCA studiene samlet inn i denne studien. De fleste LCA studiene har beregnet klimagassutslipp fra bygningskroppen (rundt 100 studier), mens bare noen enkelte LCA studier har beregnet klimagassutslipp for et utvalg av andre bygningsdeler (fra en til 26 studier) hvorav den mest rapporterte bygningsdelen etter bygningskroppen var 49 – andre elkraftinstallasjoner som vanligvis er solcelleanlegg (PV). Hvis man tar gjennomsnittet for alle bygningsdeler så er bygningskroppen (21-29) ansvarlig for 51% av totale klimagassutslipp (ca. 6 kgCO₂e/m²/år), VVS, elkraft, tele og automatisering og tekniske installasjoner (31-69) ansvarlige for 21% av totale klimagassutslipp (ca. 2,5 kgCO₂e/m²/år) og utendørs (71-79) ansvarlige for 28% av totale klimagassutslipp (ca. 3,3 kgCO₂e/m²/år). Til sammen utgjør dette totale klimagassutslipp på 11,8 kgCO₂e/m²/år. Det vil si at VVS, elkraft, tele og automatisering, tekniske installasjoner og utendørs utgjør nesten like mye klimagassutslipp som bygningskroppen. Det antas at klimagassutslipp fra de andre bygningsdelene (31-79) er underrapportert og vil utgjøre en større andel av de totale klimagassutslippene hvis de blir inkludert i sin helhet i fremtidige livsløpsanalyser. Det oppfordres derfor i framtiden til at hele bygningsdeltabellen (NS 3451) inkluderes for å øke pålitelighet og transparens av klimagassanalysene. Dette vil også tilrettelegge for utvikling av referanseverdier for hele bygget og ikke kun bygningskroppen. Det gir også bedre grunnlag for å gjøre avveininger mellom energieffektiviseringsstrategier i livssyklusmodul B6 og materialutslipp fra teknisk utstyr. Hvis utslippskompensasjon fra energiproduksjon i livssyklusmodul B6 skal være med i analysen, bør også utslipp fra materialer brukt til energiproduksjon være med.



Figur 15: Boksploott av klimagassutslipp (A1-A3 og B4) fra ulike bygningsdeler i som bygget fasen.



Figur 16: Boksploott av klimagassutslipp (A1-A3 og B4) fra ulike bygningsdeler i som bygget fasen.

En t-test og variansanalyse (analysis of variance – ANOVA) har blitt gjennomført for å se hvor signifikante like eller ulike median-resultatene er per prosjektfase og bygningstype for hele databasen. En t-test tester resultatene fra to prøver i samme datasett, mens en variansanalyse tester resultater fra flere prøver i samme datasett. En høy sannsynlighetsverdi (p-verdi) betyr at variasjonene i resultatene svært sannsynlig er tilfeldige og vi kan si at resultatene er like og derfor er resultatene ikke statistisk signifikante. En lav p-verdi betyr at variasjonene i resultatene ikke er tilfeldige og er derfor ulike og derfor er resultatene statistisk signifikante. For prosjektfasene har en såkalt ‘paired t-test’ blitt gjennomført. Denne testen antar at datapunktene er parvis sammenkoblet. Det vil si at vi har flere resultater fra hvert bygg (e.g. referanse og som bygget) og så tester om de har signifikant endring, parvis.

T-test resultatene for referanse og designfasene viser en p-verdi på 0,0016 (0,16%). Resultatene for referanse og som bygget fasene viser en p-verdi på 0,0169 (1,69%). Resultatene for design og ‘som bygget’ fasene viser en p-verdi av 0,8008 (80%). Det betyr at design og ‘som bygget’ resultatene kan betraktes som like. Det gir også mening med tanke på at det ikke er store endringer rapportert fra design til ‘som bygget’ fasen. Derimot skiller referanse resultatene seg fra design og ‘som bygget’ fasene og er signifikant ulike. Det er derfor viktig å velge rett prosjektfase når man skal utvikle referanseverdier. Forfatterne anbefaler å bruke ‘som bygget’ fasen siden disse gjenspeiler det som faktisk bygges og er gjennomførbar i dag. Referansene er basert på modellerte scenario i OneClick LCA. Resultatene fra variansanalysen for de ulike prosjektfasene har en p-verdi på 0,002157 (0,2%) og viser en signifikant forskjell, noe som støtter konklusjonen fra T-testen.

Resultatene fra paired T-test for prosjektfasene viser 24,5% reduksjon i klimagassutslipp fra referanse til ‘som bygget’ fase (p-verdi 0,000016), 20% fra referanse til designfase og 5% (p-verdi 0,000001) fra design til ‘som bygget’ fase (p-verdi 0,004616). Fra disse p-verdiene kan vi konkludere med at resultatene fra alle prosjektfasene er signifikant ulike. Reduksjonen mellom gjennomsnitt ‘referanse’ og gjennomsnitt ‘som bygget’ er på ca. 22%, mens reduksjonen mellom median ‘referanse’ og median ‘som bygget’ er på ca. 17%. Dette er ikke det samme som gjennomsnittlig reduksjon. Gjennomsnittlig reduksjon, det vil si gjennomsnittet av reduksjonen i hvert enkelt prosjekt er på 24,5% hvis vi sammenlikner referanse med som bygget, og eventuelt 20,4% hvis vi sammenlikner referanse med design. Det blir mer riktig å bruke disse to siste tallene fordi de tar med i betraktning de spesielle forholdene ved hvert bygg (datapunktene er parvis sammenkoblet). Reduksjon fra design til som bygget er 5% i gjennomsnitt.

T-test resultatene for boligbygg og kontorbygg viser en p-verdi på 0,5841 (58%), for boligbygg og skolebygg er den 0,5358 (54%), for boligbygg og barnehage er den 0,9307 (93%), for kontorbygg og skolebygg er den 0,9425 (94%), for kontorbygg og barnehage er den 0,5357 (54%) og for skolebygg og barnehage er den 0,4674 (47%). Alle disse resultatene er høye og er følgelig svært sannsynlig tilfeldige og ikke statistisk signifikante. Basert på disse tallene er det ikke grunnlag for å sette ulike krav per bygningstype. Variansanalyse-resultatene for de ulike bygningstypene har en p-verdi på 0,889834 (89%) som betyr at det er ikke signifikant forskjell mellom disse bygningstypene og som støtter konklusjonen fra T-test.

T-test resultatene for ‘som bygget’ fasen og for rehabiliterte prosjekter hadde en p-verdi som tilsvarte null. Konsekvensen av dette er at rehabiliterte bygg aldri bør blandes inn i datagrunnlaget for de andre

kategoriene. Gjennomsnittet og median-verdiene blir trukket ned til ca. 0,2-0,6 kgCO₂e/m²/år når rehabiliteringsprosjekter er inkludert i datagrunnlaget.

4. Diskusjon

Bygninger er komplekse systemer og livsløpsvurderinger består ofte av tusenvis av prosesser. Dette er utfordrende siden mange variabler må harmoniseres for å etablere referanseverdier, som f.eks. designparametere som bygningstype, kontekst, plassering, klima, funksjon, design, teknologi, materialer, aktører og brukere, samt metodiske valg som for eksempel systemgrenser, scenarier, bakgrunnsdata, fullstendig inventar, funksjonell enhet, referanse studieperioden, referanse levetid, elektrisitetmiksen, definisjon av areal, datakvalitet og valg av livssyklusinventar database. Når en bygning er bygget er det naturlig at mange av disse parametrene vil variere og livsløpsanalysen skal gjennomføres av ulike aktører som fører til ulike klimagassresultater. Derfor må foreslåtte referanseverdier være robuste nok til å ta hensyn til dette. Det foreslås å stille krav til hele bygningen siden klimagassutslippskrav på materialnivå ikke tar hensyn til materialemengde eller funksjonen av materialer og komponenter i bygningskontekst. Et forslag involverer å bruke resultatene fra denne studien til å utvikle miljøtelse merkinger på samme vis som energimerkeordningen med karakter som f.eks. A, B, C, D og E hvorav E tilsvarer grenseverdien (75. prosentil), C til median/referanseverdien og A målverdi (5. prosentil). Referanseverdier vil tillate fagfolk å sammenligne og optimere prosjekter sammenlignet med dagens praksis og oppmuntre til ulike løsninger for optimert miljøtelse. Resultatene fra denne studien er ikke så ulike referanseverdier observert i IEA EBC Annex 57 som varierer rangert fra 3,8-7,7 kgCO₂e/m²/år i 'som bygget'-fasen. For rehabiliteringsprosjekter er resultatene noe lavere (mellom 2-3 kgCO₂e/m²/år), for kontorbygg er spennet større (3,1-7,7 kgCO₂e/m²/år), for boligbygg er resultatene litt høyere (4-7,4 kgCO₂e/m²/år) mens skolebygg har et mindre spenn (3,8-6,9 kgCO₂e/m²/år). Årsaken for disse forskjellene er ikke undersøkt nærmere og gir grunnlag for videre studier. Det er også et behov for å harmonisere metoder og tilnærminger.

Denne studien er den største norske undersøkelsen om klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygninger. Det er 4,2 millioner bygninger i Norge som dekker 5490 km² bebygde areal (bruksareal i studien dekker 0,02%) hvorav 1,5 millioner bygg er boligbygg og 48,000 skolebygg. Norge har en befolkning på 5,3 millioner (antall brukere i studien dekker 0,9%). Selv om datagrunnlaget samlet inn er detaljert på komponentnivå representerer data alt som var tilgjengelig på tidspunktet da studien ble gjennomført og inneholder data fra tredje part. Det medfører at datagrunnlaget er for lite til å trekke konklusjoner på nasjonalt nivå. Studien er basert på et sett av bygg som er valgt ut grunnet lett tilgjengelige data fra forbildeprosjekter fra programmer som Futurebuilt, ZEB, og ZEN som har fokus på å redusere energi, materialer og transportutslipp i bygninger og har fokus på å dokumentere dette gjennom livssyklusanalyser. Allikevel, det er antatt at resultatene fra referansefase er mer representative for dagens standard, mens design og som bygget fasene viser potensialet av det som er mulig per i dag.

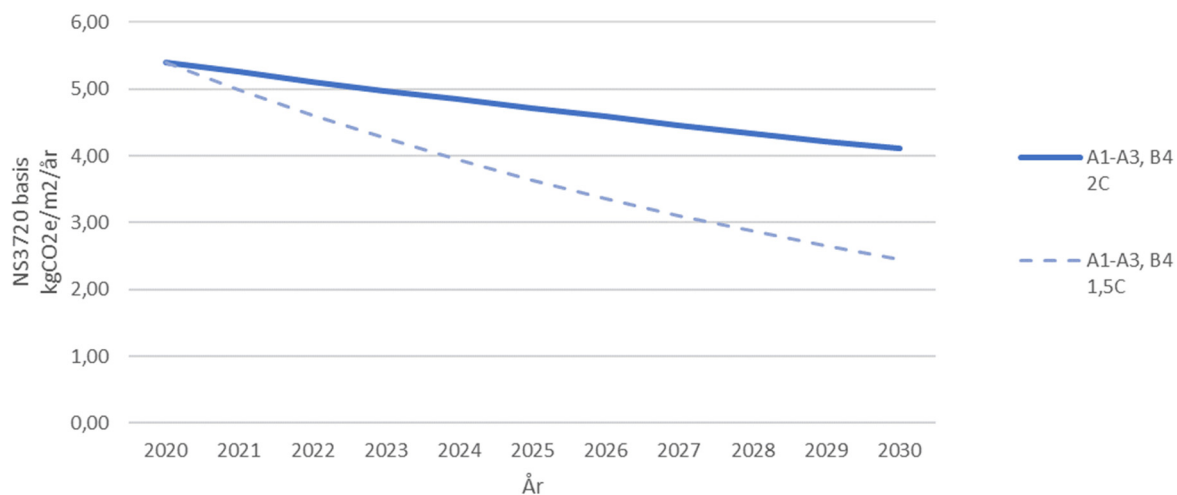
De fleste studiene i vår undersøkelse har rapportert klimagassutslipp i forhold til kgCO₂e/m²/år og har brukt oppvarmet bruksareal og en 60-års levetid. Dette bør gjøres om til kgCO₂e/m² for å redusere usikkerhet. Ved å dele på levetiden usynliggjør man hvor store utslippene faktisk er i dag da storparten av utslippet skjer i år null (A1-A3). Ved å bruke en funksjonell enhet per kgCO₂e/m² gir det oss mulighet til å lettere skille mellom dagens beregnede utslipp (A1-A5) og fremtidige estimerte utslipp (B1-C4). Samme logikken gjelder også for biogent karbon hvorav opptak av biogent karbon i produksjonsfasen er svært viktig, mens fremtidige biogene utslipp ikke skjer før om 60-år. Dette bør synliggjøres i klimagassberegninger for bygg med tanke på at bygg har en biogent CO₂ lagringspotensial som kan utnyttes i mye større grad. Dette gjelder også karbonatisering av betong, men det er en stor forskjell i nemlig tidspunktet for utslipp. Biogen karbonlagring reduserer utslipp i dag, mens karbonatisering skjer

over tid. Ingen bygninger i databasen synliggjorde effekt av biogent karbon eller karbonatisering av betong i livsløpet.

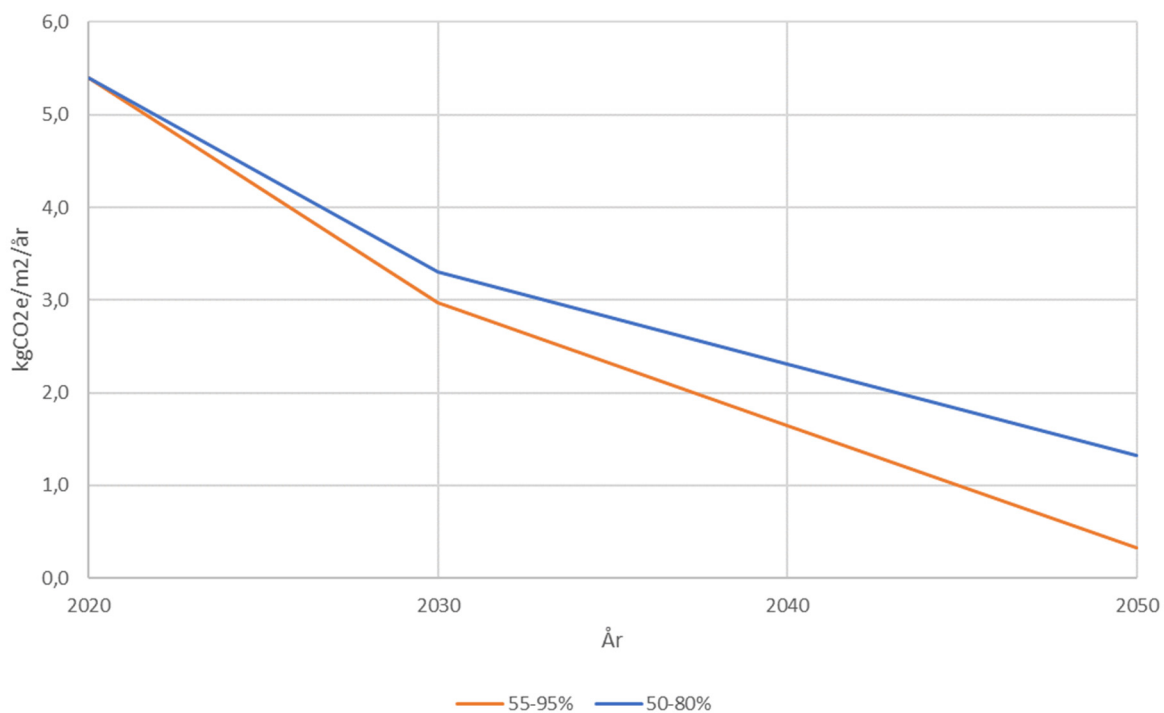
Resultatene fra denne bottom-up tilnærming vil trolig endre seg over tid grunnet teknologiske utviklinger. Resch et al. introduserer et beregningsprinsipp med endrede teknologifaktorer over tid, for å ta hensyn til at teknologiutvikling vil gi reduserte utslipp fra produksjon og transport av bygningsmaterialer i fremtiden (51). Teknologiske forbedringer kan føre til endring av utslipp knyttet til material-, produksjon- og transportteknologiutvikling, gjenvinningssats, prefabrikkerte løsninger, automatisering og digitalisering av prosesser, elektrifisering og dekarbonisering av nettet. Her brukes teknologiske vektorer som lineær nedgang, 50% lavere for produksjon og 90% lavere for transport over en 60 års periode (52). Disse faktorene kan også brukes i framtidige utvikling av klimagassutslippskrav og referanseverdier i stedet for å være avhengig av et stort datagrunnlag som må opprettholdes.

Forslag til fremtidig arbeid inkluderer bl.a. å samle inn flere caser, opparbeide nasjonal database, oppdatere referanseverdier når et større datagrunnlag er tilgjengelig slik at verdier kan beregnes for flere livsløpsmoduler (etableres for hele livsløpet) og bygningsdeltabellen (etableres for hele bygget inkludert teknisk utstyr og infrastruktur), gjennomføre en analyse på manglende tall i datagrunnlaget (data gap analysis), identifisere tiltak for utslippsreduksjon basert på erfaringer fra casene og se på avveginger av tiltak på tvers av livssyklusmoduler for å unngå problemskifting.

Norges utslipp av klimagasser er relativt uendret i perioden fra 1990 til 2020, så resultatene fra dette studiet i tidsrommet 2009-2020 er et godt startpunkt for referanseverdier og å utvikle mål for fremtidige reduksjoner. FNs klimagass-rapport fra 2019 viser at klimagasser på verdensbasis har økt til 55,3 GtCO₂e i 2018 og er på kurs mot en temperaturstigning på 3,2°C. For å nå Parisavtalens klimamål må klimagasser reduseres med 7,6% fra 2020 til 2030 for å begrense temperaturstigning til 1,5°C og med 2,7% for å begrense det til 2°C (37). Norges nasjonalt bestemte bidrag (NDC) er satt til 50-55% i 2030 og 80-95% reduksjon innen 2050. Hvis vi tar 5,4 kgCO₂e/m²/år som startpunkt for klimagasskrav for nye bygg i 2020, så kan man bruke dette som utgangspunkt for å sette fremtidige referanseverdier for materialbruk i bygninger i Norge fram til 2030 og 2050. Figur 17 viser nødvendig årlig kutt i klimagassutslipp fra materialbruk i et 1,5°C og et 2°C scenario. Det vil si ca. en halvering av klimagassutslipp i et 1,5°C scenario fram til 2030. Dette tilsvarer det som er oppnådd for rehabiliterte bygg i datagrunnlaget samlet inn i denne studien (2-3 kgCO₂e/m²/år). Figur 17 viser kun reduksjon i klimagassutslipp fra materialbruk (A1-A3, B4) i bygninger siden dette er fokusområdet av denne studien. Videre arbeid innebærer å utvikle lignende kurver for de andre livsløpmodulene og hele livsløpet av bygninger. Figur 18 viser nødvendig reduksjon i klimagassutslipp fra materialbruk fram til 2050 basert på Norges NDC. Det er klart at byggeprosessen fra konsept til ferdigstilt bygg kan gå over flere år. Det er derfor anbefalt at man bruker referanseverdier for årstall rammesøknaden blir innvilget på samme vis som energikrav i TEK. Dette gir forutsigbare referanseverdier til entreprenører og byggherrer.



Figur 17: Diagrammet viser årlig reduksjon i klimagasser fra materialbruk i bygninger (NS 3720 basis, A1-A3, B4) for å oppnå Parisavtalens klimamål i en 1,5°C og 2°C scenario basert på resultatene fra denne studien.



Figur 18: Diagrammet viser prosentvis reduksjon i klimagasser fra materialbruk i bygninger (NS 3720 basis, A1-A3, B4) for å oppnå Norges klimamål i 2030 (50-55% reduksjon) og 2050 (80-95% reduksjon) basert på resultatene fra denne studien.

5. Anbefalinger til tiltak og klimagasskrav i norske bygninger

Flere bygninger i databasen er forbildeprosjekter med høye miljøambisjoner, og eksempler på tiltak for å redusere klimagassutslipp fra byggematerialer er å:

- redusere arealet og dermed behovet for materialer,
- vurdere rehabilitering av eksisterende bygg framfor å bygge nytt,
- velge materialer med lavere utslipp, for eksempel lavkarbon betong, resirkulert stål og aluminium, resirkulert gips, tre-produkter eller prefabrikkerte elementer,
- velge materialer med dokumentert lave utslipp i miljødeklarasjoner (EPD),
- bygge lettere konstruksjoner, for eksempel hulldekke som er lettere enn betongdekke, lett tak i stedet for kompakttak, stripefundament i stedet for gulv på grunn eller bygningsintegrerte systemer som f.eks. bygningsintegrert solceller,
- velge lokale materialer som gir mindre utslipp fra transport,
- velge robuste materialer med lengre levetid, som gir mindre behov for utskifting,
- kreve avfallsfrie-, fossilfrie- og utslippsfrie byggeplasser og etterspørre elektriske anleggs-maskiner

Når man har kommet så nær null klimagassutslipp fra byggematerialer som mulig kan man deretter kompensere resterende klimagassutslipp med egenprodusert, eksportert energi og sirkulære strategier som ombruk, gjenvinning og resirkulering i livsløpsmodul D samt dokumentere effekt av biogent karbon fra tre-produkter og karbonatisering av betong som skjer i livsløpet.

Disse referanseverdiene er nyttige og kan brukes for eksempel som bransjeveiledning, av Futurebuilt, forskningssenteret for nullutslippsnabolag (ZEN) i smarte byer, i BREEAM sertifisering, i offentlig anskaffelse og til lovgivning i norske byggeforskrifter (TEK). Det er anbefalt å bevege seg bort fra referansebygninger og prosentvise reduksjoner i henhold til et referansebygg og heller fokusere på som bygget klimagassutslipp målverdier. Hvis man skal introdusere klimagasskrav i norske bygninger så er det anbefalt med en stegvis tilnærming:

1. Stille krav til EPD dokumentasjon på alle byggevarer inkludert tekniske installasjoner.
2. Stille krav til å gjennomføre klimagassregnskap på alle nye (og rehabiliterte) bygg. Først i henhold til NS 3720 basis for hele livsløpet, og så til NS 3720 avansert.
3. Rapportere resultatene inn til en offentlig database for å opparbeide et nasjonalt datagrunnlag av erfaringstall.
4. Bruke erfaringstall for å utvikle referanseverdier for hver livssyklusmodul basert på det nasjonale datagrunnlaget (f.eks. som bygget fasen, alle bygningstyper).
5. Innføre krav til klimagassutslipp for bygninger basert på referanseverdiene.
6. Stramme inn referanseverdiene gradvis/årlig for å nå nasjonale klimamålene.

Referanser

1. United Nations General Assembly. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development online: United Nations; 2015 [Available from: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E].
2. United Nations General Assembly. United Nations Climate Change Conference Paris2015.
3. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings, (2010).
4. IPCC 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.
5. Futurebuilt. Futurebuilt 10 years. Futurebuilt annual report 2019. Oslo: 07 Media; 2019.
6. Eivind Selvig, Marianne Kjendseth Wiik, Åse Lekang Sørensen. Campus Evenstad - Jakten på nullutslippsbygget ZEB-COM. 2017.
7. Wiik MK, Fufa SM, Kristjansdottir T, Andresen I. Lessons learnt from embodied GHG emission calculations in zero emission buildings (ZEBs) from the Norwegian ZEB research centre. Energy and Buildings. 2018;165:25-34.
8. Wiik MK, Sørensen ÅL, Selvig E, Cervenka Z, Fufa SM, Andresen I. ZEB Pilot Campus Evenstad. Administration and educational building. As-built report. The Research Centre on Zero Emission Buildings. ZEB Project report no 36.; 2017
9. NS 3720. Metode for klimagassberegninger for bygninger / Method for greenhouse gas calculations for buildings. . Standard Norge; 2018.
10. Rasmussen FN, Ganassali S, Zimmermann RK, Lavagna M, Campioli A, Birgisdottir H. LCA benchmarks for residential buildings in Northern Italy and Denmark - learnings from comparing two different contexts. Building Research and Information. 2019.
11. ZEN F. FME ZEN - The research centre on zero emission neighbourhoods in smart cities 2016 [Available from: <https://www.ntnu.no/zen> and <http://fmezen.com/>].
12. TEK 17. The Norwegian building regulations (Byggteknisk forskrift, TEK 17). <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/9/9-8/>. 2017.
13. Wiik MK, Selvig E, Fuglseth M, Lousselet C, Resch E, Andresen I, et al. GHG emission requirements and benchmark values for Norwegian buildings. IOP ConfSeries: Earth and Environmental Science. 2020.
14. Laski J, Burrows V. From Thousands to Billions. Coordinated action towards 100% net zero carbon buildings by 2050. online: WGBC; 2017.
15. Adams M, Burrows V. Bringing embodied carbon upfront. Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon. online: WGBC; 2019.
16. USGBC. LEED v4.1 online: USGBC; 2019 [Available from: <https://build.usgbc.org/leed-v41>].
17. König H, Cristofaro LD. Benchmarks for life cycle costs and life cycle assessment of residential buildings. Building Research & Information. 2012;40:558-80.
18. BREEAM-NOR. BREEAM-NOR New Construction 2016. Technical Manual SD5075NOR, Norwegian Green Building Council. 2016.
19. Dodd N, Cordella M, Traverso M, Donatello S. Level(s) - A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings. online: JRC; 2017.
20. Moncaster AM, Rasmussen FN, Malmqvist T, Wiberg AH, Birgisdottir H. Widening understanding of low embodied impact buildings: Results and recommendations from 80 multi-national quantitative and qualitative case studies. Journal of Cleaner Production. 2019;235:378-93.
21. Birgisdottir H, Moncaster A, Wiberg AH, Chae C, Yokoyama K, Balouktsi M, et al. IEA EBC Annex 57 'Evaluation of Embodied Energy and CO₂eq for Building Construction'. Energy and Buildings. 2017;154.
22. IEA EBC. IEA EBC Annex 72 - Assessing Life Cycle Related Environmental Impacts Caused by Buildings online2016 [Available from: <http://annex72.iea-ebc.org/>]

23. ISO/DIS 21678. Sustainability in building and civil engineering works -- Indicators and benchmarks -- Principles for the development and use of benchmarks. Switzerland: ISO 2019.
24. Scholten N, van Ewijk H, editors. Environmental performance regulations in the Netherlands. . 4th International Conference Civil Engineering`13 Proceedings; 2013 Jelgava: Latvia University of Agriculture Faculty of Rural Engineering.
25. Hollberg A, Lutzkendorf T, Habert G. Top-down or bottom-up? - How environmental benchmarks can support the design process. *Building and Environment*. 2019;153:148-57.
26. SIA. SIA-Effizienzpfad Energie (SIA 2040). 2017.
27. Lavagna M, Baldassarri C, Campioli A, Giorgi S, Valle AD, Castellani V, et al. Benchmarks for environmental impact of housing in Europe: Definition of archetypes and LCA of the residential building stock. *Building and Environment*. 2018;145:260-75.
28. Lasvaux S, Lebert A, Achim F, Grannec F, Hoxha E, Nibel S, et al. Towards guidance values for the environmental performance of buildings: application to the statistical analysis of 40 low-energy single family houses' LCA in France. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 2017;22(5):657-74.
29. Boverket. Klimatdeklaration vid uppförande av byggnad online: Boverket; 2019 [Available from: <https://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/klimatdeklaration/>].
30. Zimmermann RK, Andersen CE, Kanafani K, Birgisdottir H. Klimapåvirkning fra 60 bygninger. Muligheter for udforming af referenceværdier til CLA for bygninger. Kongens Lyngby: Polyteknisk Boghandel og Forlag ApS; 2020. 96 p.
31. Chandrakumar C, McLaren SJ, Dowdell D, Jaques R. A top-down approach for setting climate targets for buildings: the case of a New Zealand detached house. *IOP ConfSeries: Earth and Environmental Science*. 2019;323.
32. Chastas P, Theodosiou T, Kontoleon KJ, Bikas D. Normalising and assessing carbon emissions in the building sector. A review on the embodied CO2 emissions of residential buildings. *Building and Environment*. 2018;130:212-26.
33. DeWolf C. Material Quantities in building structures and their environmental impact. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology; 2014.
34. Rock M, Saade MRM, Baloutski M, Rasmussen FN, Birgisdottir H, Frischnecht R, et al. Embodied GHG emission of buildings - The hidden challenges for effective climate change mitigation. *Applied Energy*. 2020;258.
35. Palensky D, Lupisek A. Carbon benchmark for Czech residential buildings based on climate goals set by the paris agreement for 2030. *Sustainability*. 2019;11.
36. Grønn byggallianse. Paris proof bygg og paris proof BREEAM. Hvordan bygge og drifte bygg så det monner i forhold til Parisavtalen. Oslo: GBA; 2018.
37. United Nations Environment Programme. Emissions Gap Report 2019. Nairobi; 2019.
38. ISO 14040. Environmental management -- Life Cycle Assessment -- Principles and framework. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2006.
39. ISO 14044. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2006.
40. EN 15978. Sustainability of construction works - assessment of environmental performance of buildings - calculation method European Committee for Standardization, Brussels, Belgium; 2011.
41. Futurebuilt. Forbildeprosjekter online: Futurebuilt; 2016 [Available from: <https://www.futurebuilt.no/Forbildeprosjekter>]
42. Framtidens Byer. Prosjekter online: Norske Arkitekters Landsforbund; 2014 [Available from: <https://www.arkitektur.no/framtidens-byer1>]
43. ZEB. The research centre on zero emission buildings 2019 [Available from: <http://www.zeb.no/>].
44. Statsbygg. Klimagassregnskap.no er under utvikling online: Statsbygg; 2019 [Available from: <https://www.statsbygg.no/Samfunnsansvar/Miljo/Klimagassregnskap/>].
45. Bionova. OneClick LCA online: Bionova; 2018 [Available from: <https://www.oneclicklca.com/>].
46. PRE Consultants. Simapro. LCA software for fact-based sustainability online: Simapro; 2019 [Available from: <https://simapro.com/>].

47. Wiik MK, Schlanbusch RD, Wiberg AH, Kristjansdottir T. ZEB tool - technical guide. Version 1. A tool for life cycle GHG emission calculations of buildings. 2017.
48. NS 3451: 2009. Bygningsdelstabell / table of building elements. Oslo, Norway: Standard Norge; 2009.
49. NS 3457-3: 2013. Klassifikasjon av byggverk – del 3 bygningstyper. Oslo: Standard Norge; 2013
50. Gantner J. IBU study shows that the use of products with an EPD has a positive impact on the ecological footprint of a building and its DGNB rating online: Fraunhofer Institute for Building Physics 2019 [Available from: https://ibu-epd.com/en/epds-to-optimise-building-life-cycle-assessment/?utm_source=wysija&utm_medium=email&utm_campaign=News+from+IBU].
51. Resch E, Lausset C, Brattebø H, Andresen I. An analytical method for evaluating and visualizing embodied carbon emission in buildings. Building and Environment. 2019.
52. Resch E. Embodied emission profiles of building types: guidance for emission reduction in the early phases of construction projects. 2019.

Vedlegg A

Tabellen oppsummerer klimagassutslippene fra materialbruk (A1-A3, B4) for hver bygning i referanse, design og som bygget fasene samt nøkkelinformasjon om bygningskode, år, kilde, verktøy og størrelse. For bygningskodene: A - annet, B – barnehage, K – kontor, R – bolig og S – skole. * er rehabiliteringsprosjekt. For størrelse: liten < 1.000m², mellom stor 1.000 – 10.000m² og stor > 10.000m².

Kode	År	Kilde	Verktøy	Størrelse	Klimagassutslipp kgCO ₂ e/m ² /år A1-A3, B4		
					Referanse	Design	Som bygget
A01	2018	ekstern	OneClick	Liten	10,9	7,4	
A02	2019	ekstern	Simapro	Stor		5,0	
A03	2020	ekstern	KGR.no v4	Stor	18,7	9,2	
A04	2020	ekstern	KGR.no v3	Stor	21,0	8,0	
A05	2017	ekstern	KGR.no v5	Mellom stor	6,2	13,5	
A06*	2017	ekstern	KGR.no v5	Mellom stor		1	
A07	2020	Futurebuilt	KGR.no v3	Stor	28,3	14,2	
A08	2015	Framtidens byer	KGR.no v5	Mellom stor	8,6	3,9	3,9
A09	2019	ekstern	OneClick	Mellom stor	5,32	3,49	
A10	2019	ZEN	OneClick	Mellom stor	5,6	4,9	
A11	2017	Futurebuilt	KGR.no v5	Mellom stor	15,8	16,0	13,1
A12	2018	Ekstern	bLCAd	Mellom stor		4,8	
A13*	2014	Futurebuilt	KGR.no	Mellom stor	5,2	0,9	2,2
A14	2019	Ekstern	OneClick	Stor	5,02	3,94	
A15	2019	Ekstern	OneClick	Stor	5,02	3,94	
A16	2014	Ekstern	EPD, ecoinvent	Mellom stor	5,7	2,7	
A17	2019	ZEN	OneClick	Mellom stor	5,5	3,2	
A18	2020	ZEN	Arda	Stor		13,0	
B01	2018	Ekstern	OneClick	Mellom stor		2,9	
B02	2010	Futurebuilt	KGR.no v4	Liten	14,0	7,0	7,0
B03	2018	Futurebuilt	KGR.no	Mellom stor	5,6	4,2	5,4
B04	2017	Futurebuilt	KGR.no v4	Mellom stor	7,9	6,1	5,4
B05	2019	Ekstern	OneClick	Liten		4,0	
B06	2011	Framtidens bygg	KGR.no v5	Mellom stor	5,6	8,2	8,2
B07	2012	Framtidens bygg	KGR.no v5	Liten	6,1	10,1	9,1
B08	2019	Ekstern	OneClick	Mellom stor	4,0	2,2	
B09	2017	Ekstern	ZEB	Mellom stor			
B10	2019	ZEN	ZEB	Mellom stor		8,43	
B11	2019	ZEN	ZEB	Mellom stor		9,46	
B12	2019	ZEN	ZEB	Mellom stor		11,65	
B13	2018	Ekstern	OneClick	Mellom stor	4,9	2,8	
B14	2013	Ekstern	KGR.no	Mellom stor		5,9	
B15	2019	ZEN	OneClick	Mellom stor	6,6		
K01	2014	Ekstern	KGR.no v4	Mellom stor	5,0	4,8	

Kode	År	Kilde	Verktøy	Størrelse	Klimagassutslipp kgCO ₂ e/m ² /år A1-A3, B4		
					Referanse	Design	Som bygget
K02	2018	Ekstern	IFC, EPD, ecoinvent	Stor	4,6	6,0	
K03	2010	Futurebuilt	KGR.no	Mellom stor	8,0	6,0	4,0
K04	2013	Futurebuilt	KGR.no v3	Stor	9,0	2,0	2,0
K05*	2014	Futurebuilt	KGR.no	Stor	5,1	2,3	2,2
K06	2014	Futurebuilt	-	Stor		4,1	
K07	2010	Futurebuilt	KGR.no v3	Mellom stor	13,0	11,0	11,0
K08	2012	Futurebuilt	KGR.no v3	Mellom stor	22,0	13,0	10,0
K09	2015	Futurebuilt	KGR.no v3	Stor	7,0		4,0
K10	2011	Futurebuilt	KGR.no v5	Mellom stor	21,0	14,0	10,0
K11	2013	Futurebuilt	KGR.no	Stor	10,0		5,0
K12	2019	Ekstern	IFC, EPD, ecoinvent	Mellom stor	6,9	5,3	
K13	2017	Ekstern	KGR.no	Mellom stor	5,1	3,8	
K14	2013	Framtidens bygg	KGR.no v5	Mellom stor	12,2	11,4	7,7
K15*	2014	Framtidens bygg	KGR.no v5	Stor	4	4	3,0
K16	2018	Ekstern	KGR.no V5	Mellom stor	7,3	3,0	3,1
K17	2016	Ekstern	KGR.no v4	Stor	6,4	5,6	
K18	2017	Ekstern	IFC, EPD, ecoinvent	Mellom stor		5,7	
K19	2018	Ekstern	Powerhouse tool	Mellom stor			5,4
K20	2014	ZEB	KGR.no v4	Mellom stor	5,9	5,8	
K21*	2014	ZEB	ZEB	Mellom stor	5,0		5,6
K22	2014	ZEB	ZEB	Mellom stor		8,5	
K23	2014	ZEB	ZEB	Mellom stor		7,1	
K24	2017	ZEN	ZEB	Mellom stor		7,6	
K25*	2020	Futurebuilt		Mellom stor	5,7		
R01	2012	Ekstern	Simapro	Liten		2,58	4,2
R02*	2016	Ekstern	Simapro	Liten	6,3	0,9	1,3
R03	2014	ZEB	ZEB	Liten			21,3
R04	2014	ZEB	ZEB	Liten		6,0	
R05	2013	ZEB	ZEB	Liten		7,2	
R06	2018	ZEN	Arda	Mellom stor		8,1	
R07	2018	ZEN	Arda	Mellom stor		8,1	
R08	2018	ZEN	Arda	Mellom stor		11,0	
R09	2018	ZEN	Arda	Mellom stor		11,0	
R10	2020	Futurebuilt	KGR.no v5	Mellom stor	9,0	3,4	
R11	2020	Futurebuilt	KGR.no v5	Liten	8,3		
R12	2016	Framtidens bygg	KGR.no v5	Mellom stor	17,2	11,1	11,1
R13	2017	Ekstern	IFC, EPD, ecoinvent	Liten	11,2	5,3	
R14*	2017	Ekstern	ZEB tool	Mellom stor		0,5	
R15*	2017	Ekstern	ZEB tool	Mellom stor		1,0	
R16	2015	ZEB	ZEB	Mellom stor		5,5	

Kode	År	Kilde	Verktøy	Størrelse	Klimagassutslipp kgCO ₂ e/m ² /år A1-A3, B4		
					Referanse	Design	Som bygget
R17	2019	Ekstern	ByggLCA	Mellom stor	5,3	3,3	
R18	2019	Ekstern	ByggLCA	Mellom stor	5,2	4,2	
R19*	2015	Framtidens bygg	KGR.no v5	Mellom stor	5,5		0,7
R20	2019	Ekstern	ByggLCA	Stor	5,1	5,1	
R21	2009	Ekstern	Simapro	Mellom stor			9,0
R22	2015	Ekstern	ZEB	Mellom stor			4
R23	2020	Futurebuilt	OneClickLCA	Mellom stor	5,7	6,7	4,3
R24	2018	Futurebuilt	KGR.no	Stor			4,6
R25*	2017	Futurebuilt	KGR.no v5	Liten	7,4	2,8	3,2
R26	2017	Futurebuilt	KGR.no v5	Mellom stor	8,2	4,4	4,9
R27	2017	Framtidens byer	KGR.no v5	Stor	9,9	4,5	4,5
R28	2017	Ekstern	ZEB	Mellom stor			6
R29*	2015	Ekstern	KGR.no	Mellom stor	8,5	2,0	
R30	2020	Futurebuilt	KGR.no v5	Liten	8,0		
R31	2012	Framtidens bygg	KGR.no v5	Mellom stor	15,0	7,0	7,0
R32	2011	Framtidens bygg	KGR.no v5	Mellom stor	9,7	8,7	8,7
R33	2016	Ekstern	KGR.no v5	Stor	4,9	3,8	
R34	2019	Ekstern	OneClick	Mellom stor	4,5	5,2	3,2
R35	2019	Ekstern	OneClick	Mellom stor	5,52	4,14	
R36	2019	Ekstern	OneClick	Mellom stor	5,52	4,14	
S01	2017	Futurebuilt	KGR.no v5	Stor	8,4	6,0	5,6
S02	2016	Futurebuilt	KGR.no v5	Mellom stor	7,9	5,4	4,5
S03	2013	Framtidens bygg	KGR.no v5	Mellom stor	14,8	7,3	7,9
S04	2012	Framtidens bygg	KGR.no v5	Mellom stor	17,4	13,3	12,6
S05	2018	Ekstern	bLCAd	Mellom stor		3,4	
S06	2019	Ekstern	KGR.no v5	Mellom stor	6,1	3,8	4,5
S07	2019	Ekstern	OneClick	Mellom stor	5,1	5,6	
S08	2019	ZEN	OneClick	Mellom stor	5,5		
S09	2018	Ekstern	bLCAd	Mellom stor		4,6	
S10	2015	Futurebuilt	KGR.no	Mellom stor	7,5	7,6	7,6
S11	2010	Futurebuilt	KGR.no v4	Mellom stor	13,0	22,4	22,4
S12*	2014	Futurebuilt	KGR.no v4	Mellom stor	12,6	3,3	2,3
S13	2018	Ekstern	KGR.no v4	Mellom stor	6,3	3,5	
S14	2016	Ekstern	KGR.no	Mellom stor	5,2		
S15*	2019	Ekstern	OneClick	Stor	3,5	3,1	
S16	2014	Futurebuilt	KGR.no v4	Mellom stor	13,8	11,4	7,1
S17	2014	Futurebuilt	KGR.no	Mellom stor	9,9	7,8	6,1
S18	2020	Futurebuilt	KGR.no	Mellom stor		3,46	
S19	2015	Futurebuilt	KGR.no	Mellom stor	13,8	5,6	5,6
S20	2018	Ekstern	bLCAd	Mellom stor		2,8	

Kode	År	Kilde	Verktøy	Størrelse	Klimagassutslipp kgCO ₂ e/m ² /år A1-A3, B4		
					Referanse	Design	Som bygget
S21	2015	Framtidens bygg	KGR.no v5	Stor	6,1	5,5	4,4
S22	2017	Ekstern	-	Mellom stor			
S23	2015	Ekstern	KGR.no v5	Stor		5,2	4,9
S24	2019	ZEN	OneClick	Stor	4,0	2,2	
S25	2018	Futurebuilt	IFC, EPD, ecoinvent	Mellom stor	10,9	7,9	
S26	2018	ZEB	ZEB	Stor		9,7	
S27	2017	Ekstern	KGR.no v5	Liten	7,8	5,1	
S28	2020	Ekstern	OneClick	Stor	11,6	7,3	
S29	2020	Ekstern	OneClick	Stor	11,6	7,3	
S30	2017	Ekstern	KGR.no	Mellom stor	5,4	4,1	4,1
S31	2016	Ekstern	KGR.no v4	Mellom stor	5,1	3,9	3,9
S32	2017	Ekstern	KGR.no v5	Stor	4,8	4,7	
S33	2019	Ekstern	OneClick	Mellom stor	2,9	3,8	3,8
S34	2019	Ekstern	OneClick	Mellom stor	2,9	3,8	3,8
S35	2019	Ekstern	OneClick	Liten	3,0	2,8	2,8
S36	2019	Ekstern	OneClick	Liten	3,0	2,8	2,8
S37	2019	Ekstern	OneClick	Liten	3,0	2,8	2,8
S38	2019	Ekstern	OneClick	Liten	3,0	2,8	2,8
S39	2016	ZEB	ZEB	Mellom stor			8,4

Vedlegg B

Resultatene for statistisk analysen av bygningsdeler for alle bygningstyper (kgCO₂e/m²/år). Resultatene ekskluderer rehabiliteringsprosjekter.

Bygningsdel	21	22	23	24	25	26	27	28	29	31	32	33	36	39
maks verdi	7,2	4,0	6,2	6,4	4,3	5,5	0,4	3,1	0,8	0,1	0,7	0,3	1,3	1,9
95. prosentil	3,5	2,0	3,4	3,2	2,8	1,5	0,3	0,4	0,7	0,1	0,6	0,3	1,3	1,8
75. prosentil	1,6	0,9	1,3	1,1	1,8	0,6	0,1	0,1	0,4	0,1	0,2	0,2	0,4	1,5
gjennomsnitt	1,2	0,6	1,2	0,9	1,4	0,5	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,4	1,1
median	0,7	0,5	0,8	0,7	1,3	0,4	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1,1
25th prosentil	0,3	0,2	0,5	0,4	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,6
5th prosentil	0,1	0,0	0,3	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3
min verdi	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
Sample størrelse	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119
Faktisk størrelse	93	90	96	95	96	92	7	70	18	4	5	3	9	2

Bygningsdel	41	43	44	49	51	52	62	69	72	76	77
maks verdi	0,3	0,6	1,3	5,9	0,1	0,1	0,9	0,5	0,0	2,3	3,3
95. prosentil	0,3	0,6	1,1	5,7	0,1	0,1	0,8	0,5	0,0	2,1	3,3
75. prosentil	0,3	0,3	0,7	2,8	0,1	0,1	0,5	0,4	0,0	1,2	3,3
gjennomsnitt	0,2	0,2	0,5	1,9	0,1	0,1	0,4	0,3	0,0	0,8	3,3
median	0,2	0,1	0,2	1,7	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	3,3
25th prosentil	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	3,3
5th prosentil	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	3,3
min verdi	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	3,3
Sample størrelse	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119
Faktisk størrelse	2	4	3	25	1	1	3	3	3	3	1

Resultater for statistisk analyse av livssyklusmoduler A1-A3 og B4 i referansefasen (kgCO₂e/m²/år).

Bygningstype	Alle*	Boligbygg*	Kontorbygg*	Skolebygg*	Barnehage*	Rehabilitering
maks verdi	28,3	17,2	22,0	17,4	14,0	12,6
95. prosentil	18,6	15,4	21,3	14,4	11,9	10,3
75. prosentil	10,6	9,7	9,3	10,9	6,9	6,6
gjennomsnitt	8,5	8,1	8,8	7,6	6,8	5,7
median	6,5	8,0	7,0	6,1	5,9	5,4
25th prosentil	5,2	5,3	5,1	4,8	5,4	4,8
5th prosentil	3,0	4,9	4,5	2,9	4,3	2,0
min verdi	2,9	4,5	4,0	2,9	4,0	0,0
Sample størrelse	119	31	21	37	15	14
Faktisk størrelse	82	17	16	29	8	12

* Resultatene ekskluderer rehabiliteringsprosjekter.

Resultater for statistisk analyse av livssyklusmoduler A1-A3 og B4 i designfasen (kgCO₂e/m²/år).

Bygningstype	Alle*	Boligbygg*	Kontorbygg*	Skolebygg*	Barnehage*	Rehabilitering
maks verdi	22,4	13,0	14,0	22,4	11,7	4,0
95. prosentil	13,3	11,1	13,3	12,2	10,7	3,7
75. prosentil	8,0	8,1	7,5	7,3	8,4	2,9
gjennomsnitt	6,4	6,4	6,5	5,9	6,4	2,0
median	5,5	5,4	5,6	5,1	6,1	2,0
25th prosentil	3,9	4,1	4,1	3,5	4,0	0,9
5th prosentil	2,8	3,3	2,8	2,8	2,6	0,7
min verdi	2,0	2,6	2,0	2,2	2,2	0,5
Sample størrelse	119	31	21	37	15	14
Faktisk størrelse	103	24	16	33	13	11

* Resultatene ekskluderer rehabiliteringsprosjekter.

Resultater for statistisk analyse av livssyklusmoduler A1-A3 og B4 i som bygget fasen (kgCO₂e/m²/år).

Bygningstype	Alle*	Boligbygg*	Kontorbygg*	Skolebygg*	Barnehage*	Rehabilitering
maks verdi	22,4	21,3	11,0	22,4	9,1	5,6
95. prosentil	12,9	15,2	10,5	12,6	8,9	4,8
75. prosentil	8,1	8,7	7,8	7,1	8,2	3,0
gjennomsnitt	6,6	7,2	5,7	6,1	7,0	2,6
median	5,4	4,9	5,0	4,5	7,0	2,3
25th prosentil	4,1	4,3	3,5	3,8	5,4	2,0
5th prosentil	2,8	3,8	2,5	2,8	5,4	0,9
min verdi	2,0	3,2	2,0	2,8	5,4	0,7
Sample størrelse	119	31	21	37	15	14
Faktisk størrelse	51	13	11	21	5	8

* Resultatene ekskluderer rehabiliteringsprosjekter.



VISION:

**«Sustainable
neighbourhoods
with zero
greenhouse gas
emissions»**

Z E N

Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES



<https://fmezen.no>