



Research Centre on  
ZERO EMISSION  
NEIGHBOURHOODS  
IN SMART CITIES



# OCEAN SPACE CENTRE

Klimagassutslipp fra teknisk utstyr og tekniske installasjoner

ZEN RAPPORT Nr. 42 – 2022



M. K. Wiik, K. Fjellheim, C. Vandervaeren, K. Anton, A. Borg | SINTEF, Statsbygg, Asplan Viak



Research Centre on  
ZERO EMISSION  
NEIGHBOURHOODS  
IN SMART CITIES

### **ZEN Rapport Nr. 42**

Marianne Kjendseth Wiik<sup>1</sup>, Kristin Fjellheim<sup>1</sup>, Camille Vandervaeren<sup>1</sup>, Karin Anton<sup>2</sup>,  
Alexander Borg<sup>3</sup>

<sup>1</sup>SINTEF, <sup>2</sup>Statsbygg, <sup>3</sup>Asplan Viak

**Ocean Space Centre: Klimagassutslipp fra teknisk utstyr og tekniske installasjoner**

ISBN 978-82-536-1770-1 (pdf)

Norwegian University of Science and Technology (NTNU) | [www.ntnu.no](http://www.ntnu.no)  
SINTEF Community | [www.sintef.no](http://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 authors 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, AFRY, Asplan Viak, Multiconsult, Sweco, Civitas, FutureBuilt, Hunton, Moelven, Norcem, Skanska, GK, Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk - Energi, Smart Grid Services Cluster, Statkraft Varme, Energy Norway and Norsk Fjernvarme.

### 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 m<sup>2</sup> 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

Målsetningen med denne ZEN-casen er å kartlegge omfanget av klimagassutslipp fra teknisk utstyr og tekniske installasjoner samt vurdere tilgang og kvalitet på miljødata for disse. Rapporten vil være et grunnlag for å prioritere hvilke deler av de tekniske installasjonene det bør utvikles bedre miljøinformasjon om.

Rapporten bidrar med erfaringstall i en tidlig designfase for Ocean Space Centre (OSC). Ved datamangel har vi benyttet klimagassresultater fra et annet prosjekt, Høgskulen på Vestlandet (HVL). Resultatene viser at de totale klimagassutslippene for livsløpsmodulene A1-A3 (Utbygging) og B4 (Utskifting) for OSC Fløy A er på 2,9 kgCO<sub>2</sub>e/(m<sup>2</sup>·år) for kun tekniske installasjoner og på 9,1 kgCO<sub>2</sub>e/(m<sup>2</sup>·år) hvis man inkluderer utslipp knyttet til bygningskroppen. Rapporten viser at det fortsatt er en stor grad av usikkerhet og antakelser når det gjelder klimagassberegninger for tekniske installasjoner i en tidlig designfase.

Videre arbeid vil inkludere nye klimagassberegninger når omfanget av mengdeberegninger for tekniske installasjoner blir bedre spesifisert og flere spesifikke utslippsfaktorer er tilgjengelig i form av miljødeklarasjoner (EPD) for ulike typer tekniske installasjoner. Videre bør det gjennomføres klimagassberegninger for flere bygninger når detaljerte materialinventarer og bedre utslippsdata for tekniske installasjoner er tilgjengelig. Videre arbeid kan også involvere utvidelse av systemgrensen til flere livsløpsmoduler, inkludert modul D (Konsekvenser utover systemgrensen) og B6 (Energibruk i drift), for å se avveininger mellom klimagassutslipp fra tekniske installasjoner og gevinst fra redusert energibruk og egen energiproduksjon.

## Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon.....	6
2	Bakgrunn .....	7
2.1	Generelt .....	7
2.2	Klimagasskrav til materialbruk i bygninger (ZEN rapport nr. 24).....	7
2.3	Masteroppgaven til Alexander Borg.....	9
2.4	Masteroppgave til Ida Kjekken .....	9
3	Pilotene .....	11
3.1	Ocean Space Centre.....	11
3.2	Undervisningsbygg, HVL.....	11
4	Metode og framgangsmåte .....	13
4.1	Generelt .....	13
4.2	Beskrivelse av beregningsmetoden for klimagassutslipp .....	14
4.3	Utslippsfaktorer .....	14
4.4	Komponentliste .....	15
5	Resultater.....	22
6	Diskusjon.....	28
7	Konklusjon .....	32
8	Referanser.....	33

## 1 Introduksjon

En tidligere ZEN rapport med tittelen *'Klimagasskrav til materialbruk i bygninger. Utvikling av grunnlag for å sette absolutte krav til klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygninger'* har analysert beregnede klimagassutslipp fra mer enn 130 norske prosjekter fra perioden 2009–2020 (1,2). Klimagassutslipp fra teknisk utstyr og tekniske installasjoner var bare dels dokumentert i et fåtall prosjekter (ca. 24 %). Årsaken er at det i denne perioden eksisterte få norske miljødeklarasjoner (EPD) eller andre produktspesifikke data for teknisk utstyr. De fleste prosjekter bruker generiske data fra europeiske databaser som ecoinvent, noe som øker usikkerheten ved beregnet klimagassutslipp.

Resultatene fra de bygningene som dokumenterte utslipp fra teknisk utstyr og tekniske installasjoner, tyder på at teknisk utstyr og tekniske installasjoner kan utgjøre en betydelig andel av de totale klimagassutslippene fra norske bygninger. Grunnen er at teknisk utstyr og tekniske installasjoner i stor grad består av materialer med høye produksjonsutslipp som metall, plast og keramikk. I tillegg kan høy frekvens av utskifting og overdimensjonering øke utslippene ytterligere.

Reduksjon av utslipp fra tekniske installasjoner er en utfordring som må tas på alvor om ZEN skal nå sine mål om reduksjon av direkte og indirekte klimagassutslipp mot netto null, sett i et livsløps-perspektiv.

Målsetningen med denne rapporten er å kartlegge omfanget av klimagassutslipp fra teknisk utstyr og tekniske installasjoner samt vurdere tilgangen og kvalitet på miljødata for disse. Arbeidet skal danne grunnlaget for prioritering av hvilke deler av de tekniske installasjonene det bør utvikles bedre miljøinformasjon om.

Metoder som utvikles og resultater fra analyser, vil bidra til et bredere grunnlag for vurdering av klimagassutslipp fra teknisk utstyr og tekniske installasjoner. Arbeidet vil også støtte videreutvikling av referanseverdier for klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygninger som omfatter hele bygningen inkludert teknisk utstyr. Resultatene vil kunne anvendes i alle typer prosjekter. ZEN-partnere som deltok i denne studien er Statsbygg, Asplan Viak, GK, Civitas, FutureBuilt og SINTEF.

Denne rapporten gir først en bakgrunn for problemstillingen. Deretter følger en beskrivelse av pilot-prosjektene Ocean Space Centre (OSC) i Trondheim og K2-bygget på Høgskulen på Vestlandet (HVL) i Bergen. HVL er brukt for å fylle inn ved datamangel i OSC. Videre presenteres en forklaring på utslippsberegningene og framgangsmåte, etterfulgt av resultater, diskusjon og konklusjon.

## 2 Bakgrunn

### 2.1 Generelt

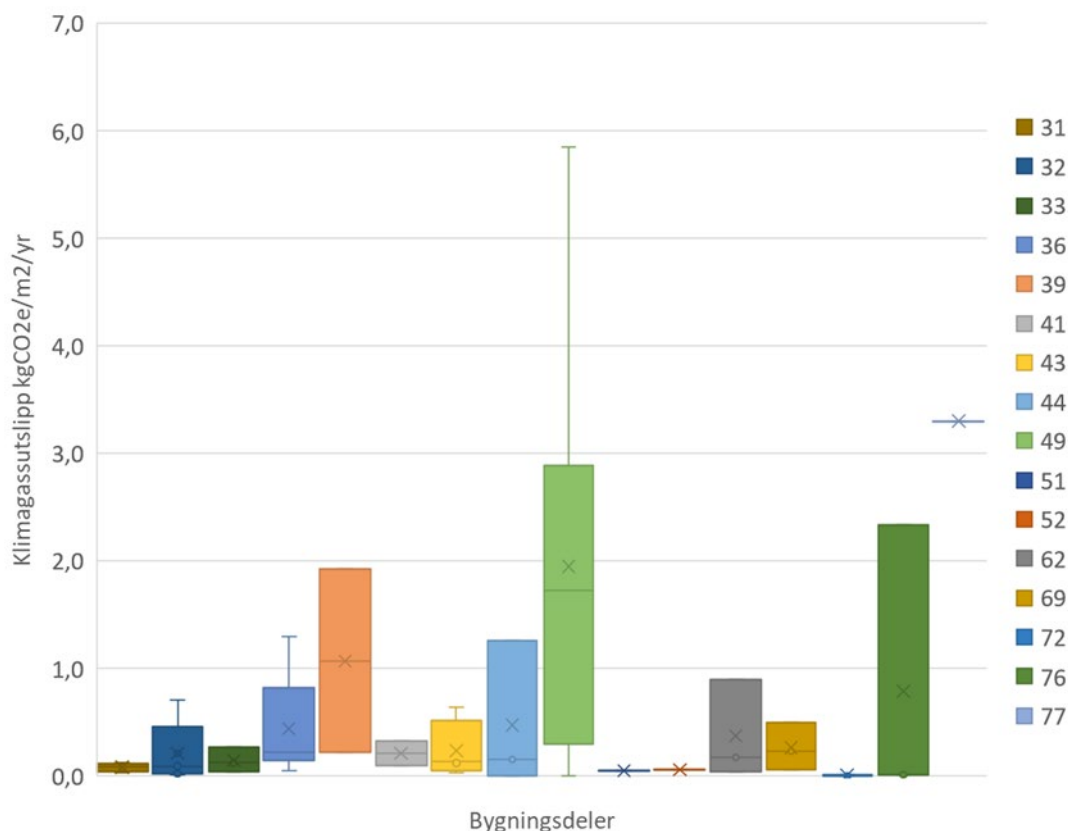
For å innhente relevant informasjon om tidligere gjennomførte klimagassberegninger og tilgjengelige utslippsfaktorer for tekniske installasjoner analyserte vi et utvalg tidligere studier, blant annet en tidligere ZEN rapport som så på klimagasskrav til materialbruk i bygninger og to masteroppgaver skrevet ved NTNU av Alexander Borg og Ida Kjekken. En kort introduksjon til disse arbeidene følger nedenfor.

### 2.2 Klimagasskrav til materialbruk i bygninger (ZEN rapport nr. 24)

ZEN rapport nr. 24 og Wiik et al. (1,2) viser til at det ikke er mange livsløpsanalyser av bygninger som har vurdert klimagassutslipp fra tekniske installasjoner. De få livsløpsanalysene som inkluderer dem, fokuserer på bygningsdelene 32 Varme, 36 Luftbehandling, 44 Lys og 49 Andre elkraftinstallasjoner som solceller (PV)<sup>1</sup> (fra NS 3451 Bygningsdeltabell (3)). Figur 1 viser klimagassutslipp for hver bygningsdel utover bygningskroppen for de bygningene der den informasjonen er oppgitt. Rapporten konkluderte med at det ikke var nok data tilgjengelig på daværende tidspunkt til å fastsette klimakrav for bygningsdelene utenom bygningskropp (bygningdelene 21-29).

---

<sup>1</sup> Denne studien var gjennomført før NS 3451 Bygningsdeltabellen ble revidert i mars 2022. I revidert versjon av standarden er varmpumper plassert under bygningsdel 35 – varmpumpe- og kuldeinstallasjoner, solceller under bygningsdel 47 – lokal elkraftproduksjon og kombinert varme- og kraftverk (CHP) og solfangere plassert under bygningsdel 64 – lokal varmeproduksjon. Før revidert standarden kom var det forvirring i bransjen over hvor disse bygningselementene bør plasseres.



Figur 1. Boksplokk av klimagassutslipp (A1-A3 og B4) fra bygningsdeler utenfor bygningskropp i "som bygd"-fasen (1,2), det vil si 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 solceller (PV), 51 – Basisinstallasjoner for tele og automatisering, 52 – Integriert kommunikasjon, 62 – Person- og varetransport som heis, 69 – Andre tekniske installasjoner, 72 – Utendørs konstruksjoner, 76 – Veger og plasser og 77 – Parker og hager (se fotnote)

Tidligere studier på klimagassutslipp fra tekniske installasjoner i bygninger inkluderer blant annet Living Lab i Trondheim (4–6), Abels hus kontorbygg i Trondheim (7), ZEB Campus Evenstad administrasjonsbygg (8,9) og en tidligere vurdering av OSC (10). Disse prosjektene blir kort introdusert nedenfor.

Pilotprosjektet Living Lab vurderte klimagassutslippene fra materialbruk, inkludert produksjon, utskiftninger og byggefasen (A1-A5, B4), gjennom bygningens livsløp på 60 år. Materialinventaret ble hentet inn manuelt ved å studere arkitekttegningene og produktdatablader fra entreprenøren. Når det gjelder tekniske systemer, så fant de ut at PV-systemet bidro med 23 %, hvitevarene med 8 % og oppvarmingssystemet med varmepumpe og solfangere med 3 % til de totale klimagassutslippene for bygningen (4–6).

For ZEB Campus Evenstad ble materialinventaret hentet fra bygningsinformasjonsmodellering (BIM). 94,5 % av klimagassutslippsfaktorene var hentet fra spesifikke EPD-data, og de resterende var generiske data fra ecoinvent. Resultatene viste at 14 % av de totale klimagassutslippene kommer fra bygningsdel 44 Belysning, etterfulgt av 49 Kombinert kraftvarmeanlegg (10 %), 36 Ventilasjonssystemet (2 %), 31 Sanitær (1 %) og 32 Varme (1 %) (1,2).



### 2.3 Masteroppgaven til Alexander Borg

Abels hus i Trondheim er en seksetasjes kontorbygning på 15 000 m<sup>2</sup> bruttoareal (BTA). Den ble bygd i 2017 i henhold til BREEAM-NOR Excellent, lavenergi A standard og med en energibruk på 93.6 kWh/(m<sup>2</sup>·år). Abels hus har vannbåren varme, varmepumpe, fjernvarme, balansert ventilasjonssystem og VAV (variable air volume). Livsløpsanalysen er gjennomført fra vugge til grav og inkluderer livsløpsmoduler A1-A5 (produksjonsfasen og installasjonsfasen), B1-B4 (bruk, vedlikehold, reparasjon og utskifting), B6 (energibruk i drift) og C1 (demontering). Basert på livsløpsanalysen er det lagd en norsk generisk database for ventilasjonskomponenter (7). I tillegg oppsummeres relevant litteratur for miljøvurdering av ventilasjonssystemer i bygninger i et ZEN Memo (11). Memoet bygger videre på masteroppgaven til Alexander Borg. Masteroppgaven til Alexander Borg inneholder en livsløpsanalyse av ventilasjonsrør, inn- og uttak, samt ventilasjonsaggregater i Abels Hus. Utslippsinventaret er basert på grunnlagsdata for rør og aggregater fra ecoinvent, men tilpasset ulike rørstørrelser og komponenter. Tilpasningene er gjort med utgangspunkt i produktdatablader og EPD-er for spesifikke ventilasjonskomponenter. Fullstendig inventar med datablader finnes i digitalt vedlegg til masteroppgaven.

Component group	Amount	Unit
Extract Air Devices	205	p
Supply Air Devices	539	p
Circular Bends	1877	p
Rectangular Bends	76	p
Circular Ducts	3562	m
Rectangular Ducts	354	m
Outlets	793	p
Plugs	157	p
Reductions	464	p
Fire Dampers	23	p
Flow Dampers	542	p
Silencers	553	p
Air Handling Units	12	p

Figur 2. Oversikt over ventilasjonskomponenter inkludert i utslippsinventaret

### 2.4 Masteroppgave til Ida Kjekken

Kjekken gjennomførte klimagassberegninger for OSC i sin masteroppgave med bruk av OneClick LCA for livsløpsmoduler A1-A5, B4 og C1-C4 for bygningsdeler 32 Varme, 36 Luftbehandling, 37 Komfortkjøling, 4 Elektriske installasjoner, og brukte levetider fra NS 15459:2008 (10). Resultatene viser totalt klimagassutslipp på teknisk utstyr på 4,3 kgCO<sub>2</sub>e/(m<sup>2</sup>·år). En annen studie av klimagassutslipp fra nullutslippsbygninger fant at tekniske installasjoner og utstyr kan bidra mellom 13-45 % av de totale klimagassutslippene (3).

### 2.5 Grønn VVS

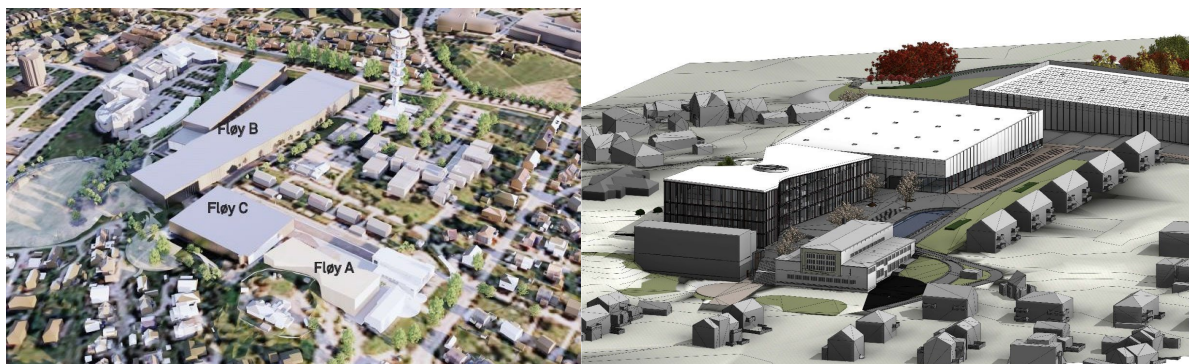
Forskningsprosjektet Grønn VVS har Multiconsult, GK, KLP Eiendom, Hoeg Eiendom, Swegon, Pipelife, Armaturlonsson og Oslo Met som partnere og jobber for å halvere klimagassutslipp fra VVS-installasjoner. Prosjektet har demonstrert at VVS-installasjoner utgjør en betydelig del av de totale klimagassutslippene fra et bygg hvor cirka halvparten kommer fra ventilasjonsanlegget (12).

Forskningsprosjektet viser at klimagassutslipp fra VVS-installasjoner er ofte underrapportert, og at det er mye å spare på systemdesign, produktvalg, og forlengelse av levetiden (13). I tillegg har de utviklet et verktøy som kan brukes ved utarbeidelse av tilbud for VVS-installasjoner (14).

## 3 Pilotene

### 3.1 Ocean Space Centre

Ocean Space Centre er et forsknings- og kompetansesenter innen havteknologi. Prosjektet omfatter høyt spesialiserte laboratorier, havbassenger, kontor- og undervisningsbygninger, verksteder og lagre som samlet utgjør et bruttoareal (BTA) på ca. 48 000 m<sup>2</sup>. Prosjektet er i forprosjektfasen som avsluttes i starten av desember 2020. Prosjektet er nå godt i gang med detaljprosjektering. Prosjektet Ocean Space Centre omfatter flere bygninger og er i hovedsak lokalisert på Tyholt i Trondheim. Ocean Space Centre på Tyholt er delt inn i tre fløyer: A, B og C. Fløy A består av det gamle verneverdige Tankhodet som skal rehabiliteres og et nybygg. Nybygget skal huse arbeidsplasser og læringsareal for NTNU og SINTEF, mens Tankhodet har felles møtesenter, innovasjonssenter og læringsareal for NTNU. Fløy B er et nybygg som vil inneholde de store bassenglaboratoriene, konstruksjons- og maskinlaboratoriet med felles lager og verksted. Fløy C skal etableres i eksisterende bygg for havlaboratorium, og skal huse våte og tørre laboratorier for undervisning samt kantine for hele senteret. Denne rapporten er basert på forprosjektfasen for Fløy A.



Figur 3. Ocean Space Centre (OSC)

Bygningene på Tyholt. I forgrunnen: Fløy A bestående av nybygget og Tankhodet

Kilde: Arkitektens beskrivelse (ARK: Snøhetta)

Fløy A har BTA på 9 136 m<sup>2</sup> og er programmert med student- og undervisningsarealer for NTNU samt kontorarealer for NTNU og SINTEF. Samtidig vil Nybygget være hovedinngang for anlegget som helhet. Nybyggets plan 1 er tenkt som et hovedknutepunkt i prosjektet. Her finner man resepsjon, sosiale møteplasser, kaffebar, leseplasser, bibliotek, studentarealer og sosiale soner. Auditoriene og ytterligere studentarealer er plassert i Tankhodet. Innovasjon-/møtesenter er også plassert i Tankhodet. Omfanget av klimagassberegningene i denne studien er begrenset til Fløy A.

### 3.2 Undervisningsbygg, HVL

Nybygget K2, som er andre byggetrinn for Høgskolen på Vestlandet (HVL) på Kronstad i Bergen, ble ferdigstilt i 2020. Undervisningsbygningen inneholder moderne, fleksible undervisningsrom og arbeidsplasser. K2 har fem etasjer over bakkeplan og en etasje under, med et samlet BRA på 14 300 m<sup>2</sup> som skal gi rom for 300 ansatte og 3 000 studenter. Bygningen har et lavt varmetap på passivhusnivå og er utstyrt med energieffektive tekniske anlegg, deriblant en varmepumpe. Varmt tappevann produseres med CO<sub>2</sub>-varmepumpe, og varme- og kjøleanlegget er en utvidelse av det eksisterende anlegget fra 2014, med ammoniakkvarmepumper og utvidet brønnpark på nå totalt 95 energibrønner, i tillegg til termisk kjølelagring. Det benyttes fjernvarme som spisslast.



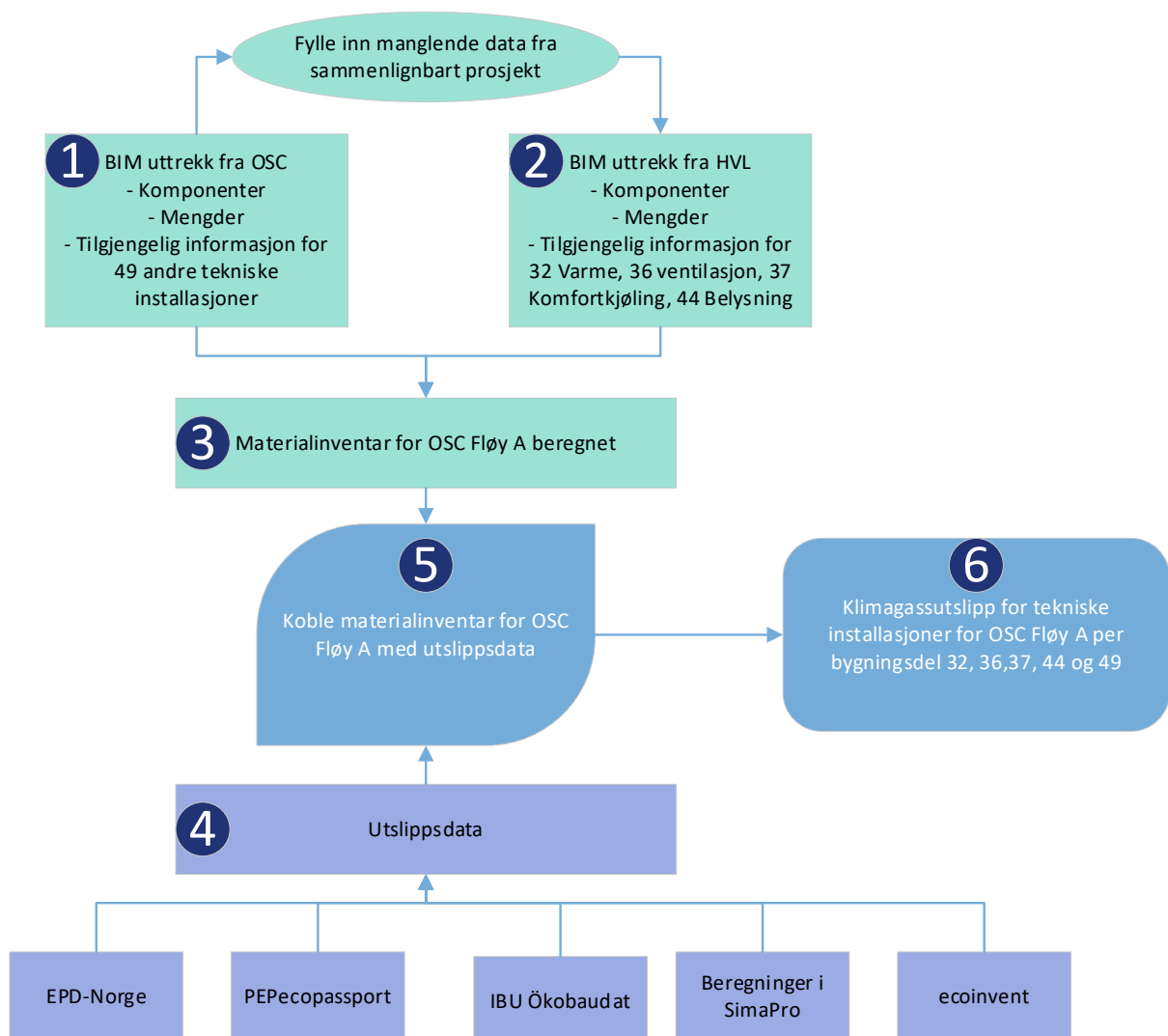
Figur 4. Nybygget K2, Høgskolen på Vestlandet, Bergen. Kilde: Bergens Tidende

Bygningen har balansert ventilasjon med høyeffektiv varmegjenvinning. Kjøling skjer via ventilasjon med adiabatisk befuktning samt lokal kjøling med fancoiler i undervisningsrom. Totalt netto energibehov er beregnet til 54 kWh per kvadratmeter per år. Til sammenlikning ligger krav i TEK17 på 125 kWh/(m<sup>2</sup> a). Ved å gjøre ytterligere tiltak, samt å ha egen strømproduksjon fra 1 900 m<sup>2</sup> solcellepaneler på taket, er totalt levert energi til bygningen redusert til 15 kWh/(m<sup>2</sup> a). K2 er bygd som et BREEAM Excellent bygg og et nullutslippsbygg (ZEB – O ÷ EQ). Det har en reduksjon i klimagassutslipp på 30 prosent og materialreduksjon på 40 prosent i forhold til ordinære bygg.

## 4 Metode og framgangsmåte

### 4.1 Generelt

Figur 5 viser metode og framgangsmåte for klimagassberegninger av tekniske installasjoner i OSC Fløy A. Det ble tidlig oppdaget at komponentlisten fra OSCs BIM-modell (1) i inneværende fase ikke var detaljert nok til å kunne danne grunnlag for detaljerte klimagassberegninger av tekniske installasjoner. Det forelå et forenklet forprosjekt, og detaljert informasjon om de tekniske systemene var ikke tilgjengelig. Derfor var det nødvendig å se etter et sammenliknbart prosjekt i Statsbyggs portefølje som kilde til supplerende data på materialinventar. Nybygget K2 som er en del av Høgskolen på Vestlandet (HVL) i Bergen, ble vurdert til å være sammenliknbart i størrelse og funksjon. Etersom bygningen var ferdigstilt, var det mye tilgjengelig informasjon om de tekniske installasjonene, og det var mulig å benytte seg av bygningens inventardata (2) og skalere utslippsresultatene til arealet i OSC Fløy A (3). Deretter er utslippsdata samlet inn (4) slik at materialinventarlisten kan kobles til utslippsdata (5) og klimagassberegningene gjennomføres (6).



Figur 5. Metode og framgangsmåte

## 4.2 Beskrivelse av beregningsmetoden for klimagassutslipp

Livsløpsanalyse er en standardisert metode for beregning av klimagassutslipp fra produkter eller tjenester. Målet med å gjøre en livsløpsanalyse er å finne ut hvor mye tekniske installasjoner bidrar til klimagassutslipp i OSC og HVL. I dette tilfellet er NS 3720:2018 *Klimagassberegninger for bygninger* brukt for å beregne klimagassutslippene fra tekniske installasjoner fra HVL og OSC. Systemgrensen er begrenset til livsløpsmodulene A1-A3 produksjonsfasen og B4 utskiftninger. Funksjonell enhet er 1 m<sup>2</sup> BTA over bygningens levetid på 60 år. Materialinventarene er hentet fra BIM-modellen for hvert bygg. Spesifikke utslippsdata er hentet inn fra miljødeklarasjoner fra EPD-Norge. I tilfeller hvor dette ikke var tilgjengelig, har europeisk utslippsdata blitt hentet fra "Product Environmental Footprint" (PEF) Ecopassport og IBU Ökobaudat og ecoinvent (15–17).

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
x	x	x						x									

Figur 6. Systemgrense for livsløpsanalyse av tekniske installasjoner og teknisk utstyr

## 4.3 Utslippsfaktorer

Det har vært en stor utvikling i tilgjengelighet på utslippsdata fra tekniske installasjoner og teknisk utstyr i form av miljødeklarasjoner fra EPD-Norge, Norges EPD-programoperatør, de siste årene (18). Dette har skjedd fordi EPD-Norge har utviklet produktkategorireglene (PCR) for en rekke tekniske installasjoner og teknisk utstyr:

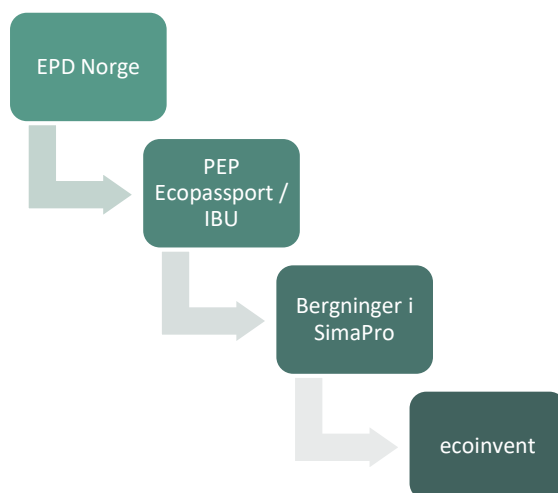
- NPCR 030: 2021 del B for ventilasjonskomponenter
- NPCR 029: 2020 del B for solceller moduler
- NPCR 028: 2020 del B for kabelrør
- NPCR 027: 2020 del B for elektriske kabler

Tabell 1 gir en oversikt over antall norske EPD-er tilgjengelig for ulike typer tekniske installasjoner og teknisk utstyr per oktober 2021. Det er forventet at det kommer flere EPD-er på ventilasjonskomponenter i løpet av det neste året siden produktkategorireglene på ventilasjonskomponenter ble publisert i mai 2021. Statsbygg har også begynt å etterspørre EPD på tekniske installasjoner fra sine entreprenører og leverandører for å drive markedet framover (19). I tillegg har EPD-Norge signert et Memorandum of Understanding (MOU) med PEF fra PEP Ecopassport. PEP Ecopassport er en fransk programoperatør med hovedfokus på elektriske/tekniske produkter og løsninger (15).

Tabell 1. Oversikt over antall norske miljødeklarasjoner (EPD) tilgjengelig for ulike typer tekniske installasjoner og teknisk utstyr per oktober 2021

Kategori	Antall EPD-er tilgjengelig fra EPD-Norge
Elektriske komponenter / kabler	38
Rørsystemer	90
Solcellepaneler og komponenter	5
Ventiler	1
Ventilasjonskomponenter	5

Når produktspesifikke EPD-er fra EPD-Norge ikke er tilgjengelig, skal PEF fra PEP Ecopassport eller EPD fra den tyske programoperatøren IBU Ökobaudat brukes (15,16). Hvis PEF og EPD ikke er tilgjengelig, skal man bruke beregninger i Simapro basert på bakgrunnsdata fra ecoinvent om ventilasjonskomponenter fra Alexander Borgs MSc masteroppgave på Abels hus kontorbygning i Trondheim (7). Når disse ikke er tilgjengelig, skal utslippsdata fra ecoinvent brukes (17). Denne prioriteringen følger en trinnvis bruk av utslippsdata, se Figur 7, hvor spesifikke norske data som bruker norsk strømmiks er prioritert over generiske europeiske data som bruker europeisk strømmiks.



Figur 7. Trinnvis bruk av utslippsdata

#### 4.4 Komponentliste

Målsetningen med komponentlisten var å få en komplett oversikt over de tekniske installasjonene og hente ut informasjon om mengder. Det er hentet ut mengder for følgende systemer i henhold til bygningsdelstabellen:

- 32 Varme
- 36 Luftbehandling
- 37 Komfortkjøling
- 44 Lys
- 49 Andre elkraftinstallasjoner

Likevel var det noen utfordringer med å samle inn nok data og tolke materialinventarene. Materialinventarene består av mengdeberegninger for bygningstekniske installasjoner. For det første var noen av materialinventarene ikke detaljerte nok på OSC, så da har inventarene fra HVL blitt brukt. I noen tilfeller var en oppsummering av materialinventarene tilgjengelig på HVL, og i andre tilfeller var et mer

detaljert inventar tilgjengelig, med en liste over hver eneste komponent. I alle tilfellene har materialinventarene blitt trukket ut fra BIM-fagmodeller i ifc filformat for å kartlegge omfanget av teknisk utstyr. Det ble benyttet *Information Takeoff* i *Solibri Office* for å trekke ut komponenter og egenskaper. Komponentlister ble eksportert til Excel-regneark for videre analyse og strukturering av data. Dataene ble hentet fra ventilasjonsmodell (*OSC.ifc*), "som bygd" ventilasjonsmodell (*81003 RIV\_HVL.ifc*) og rørmodell (*81003 RIR\_HVL.ifc*). Forutsetninger for å ta ut reelle komponentlister og mengder er følgende:

- BIM-modell har detaljeringsnivå og kvalitet tilsvarende digital tvilling.
- BIM modell er strukturert i henhold til Statsbyggs krav oppført i BIM-manualen, blant annet:
  - Alle systemer og objekter i modellen skal ha eget tverrfaglig merkesystem (TFM-kode).
  - Alle objekter skal navngis etter bygningsdelstabell.
  - Alle komponenter skal knyttes til riktige systemnumre.

I tillegg fins det alternative/supplerende metoder/kilder for å hente ut komponentlister og mengder, for eksempel:

- Anbudsgrunnlag og beskrivende deler etter NS 3420
- FDV databaser
- Innkjøpslister

Det er antatt at tekniske installasjoner for bygningsdeler 32, 36, 37 og 44 i HVL tilsvarer tekniske installasjoner i OSC fløy A siden bygningene har lik bygningskategori (kontorbygg) og likner i størrelse. Materialinventaret for bygningsdel 49 var tilgjengelig for OSC Fløy A. Dette er gjort fordi OSC er i en tidlig planleggingsfase hvor det mangler detaljert materialinventar på tekniske installasjoner. Resultatene presenteres derfor for både HVL og OSC i totale klimagassutslipp (tonnCO<sub>2</sub>e) og som en funksjonell enhet for OSC i 1 m<sup>2</sup> BTA over bygningens levetid på 60 år.

### Levetider på komponenter

Det fins mange forskjellige kilder for levetider i Norge, blant annet Byggforskserien 700.320 [2017] om utskiftingsintervaller (20), referanselevetider oppgitt i PCR og EPD (18), *Norsk prisbok* (21) og NS-EN 15459-1:2017 (22). I denne studien har følgende prioritering blitt brukt:

- EPD levetider
- Byggforskserien 700.320 [2017] *Intervaller for vedlikehold og utskifting av bygningsdeler* (20) og Byggforskserien 700.330 *Levetider for sanitærinstallasjoner i boliger* (23,24)

### 32 Varme

For bygningsdel 32 Varme er mengdeuttak av varmekomponenter tatt fra HVLs rørmodell. Her forelå det en detaljert komponentliste som inkluderer alle 245 varme- og kjølekomponenter (kjølekomponentene finnes under 37 Komfortkjøling og Tabell 4), og som er brukt til å lage en oppsummering per type material eller komponent, se Tabell 2. Denne oppsummeringen er supplert med informasjon fra forvaltning, drift og vedlikehold (FDV) innsamlingsverktøy TIDA og systemskjema. Rørbeslag ble antatt å utgjøre 15 % av mengdene for stålrør basert på tommelfingerregel. Vekten på ventilene ble antatt å være 300 g/stk. basert på produktdatabladsøk av ventiler. Denne modellen var mindre strukturert og krevde flere manuelle kontrollsjekker. Det ble også gjort noen antakelser og tilnærminger når det gjaldt rørlengder og rørbeslag. Resultatet er presentert i form av totale mengder, enten i antall eller kilo.



Tabell 2. Mengdeuttak fra Høgskulen på Vestlandet (HVL) Bergen. Varmeanlegg. RSL = Referanse levetid (Reference Service Life)

	Datakilde	RSL	Mengde	Enhet
<b>322 Fordelingsnett til radiatorer og ventilasjonskurs</b>				
Galvaniserte stålrør	NEPD nr.: 2144-971-NO (2020)	60	14 047	kg
Beslag	Ventistål: Sirkulære ventilasjonskanaler (0,42mm)	60	2 107	kg
<b>324 Armatur</b>				
Kuleventiler	NEPD nr.: 2147-970-EN (2020)	30	656	Stk.
Innreguleringsventiler	Cimberio: valves	30	9	Stk.
Termostatstyrt radiatorventil		30	86	Stk.
Radiator reguleringsventil		30	243	Stk.
<b>325 Utstyr varmedistribusjon</b>				
<i>Pumper</i>			14	Stk.
Radiatorer	UNIC-00005-V01.01-EN Hot-water radiator (1 000 W)	50	272	Stk.
<i>Filter</i>			1	Stk.
<i>Luftutskillere</i>			1	Stk.
<i>Ekspansjonssystem</i>			1	Stk.

På tidspunktet da livsløpsanalysen ble gjennomført, fantes det ikke produktspesifikke EPD-er for varmerør og beslag. Derfor ble det bestemt å bruke EPD-er for sirkulære ventilasjonskanaler i stedet for generiske data siden begge produktene består av galvaniserte stålrør. Begge produktene er oppgitt med vekt i kilo, og dette benyttes som bakgrunn for beregning av klimagassutslipp. Alle ventiler bruker en spesifikk EPD for ventiler, mens radiatorene bruker en EPD fra IBU Ökobaudat. For pumper, filtre, luftutskillere og ekspansjonssystemer var det ikke mulig å finne spesifikke eller generiske kilder til utslippsdata. Disse komponenter utgjør en liten andel av varmeanlegget og er derfor utelatt fra klimagassberegningene.

### 36 Luftbehandling

For bygningsdel 36 er mengdeuttak av ventilasjonskomponenter tatt fra HVLs ventilasjonsmodell. Informasjonsuttak ble avgrenset til et areal på 2 231 m<sup>2</sup> BTA som dekkes av et ventilasjonssystem og betjener kontorer, multirom, arbeidssoner, sosiale soner og diverse støttefunksjoner plassert i etasje U.-5. Ventilasjonssystemet er bygd opp av inntaks- og avkastriker, et aggregat, kanalnett med delsortiment, reguleringsspjeld og ventiler. I denne studien ble det ikke tatt høyde for isolasjon, festningsmateriell og brannspjeld. IFC-modeller gir mulighet til å trekke ut data med objektets/komponentens navn, type, systemtilhørighet og geometri. Ved å undersøke dataene kan man utfra objektets geometri definere kanalenes diameter og lengder og til slutt regne ut kanalenes vekt basert på leverandørens datablad med tekniske spesifikasjoner. Når det gjelder kartlegging av kanalens fittings (overganger, bend, T-påstikk o.l.) ble det gjort noen tilnærminger i reduksjon av antall typer fittings, men som har omtrent lik geometri og vekt. Resultatet av mengdeuttaket er listet opp i Tabell 3, der komponenter er summert i antall eller kilo.

Tabell 3. Mengdeuttak fra Høgskulen på Vestlandet (HVL) Bergen. Ventilasjonssystem. RSL = Referanse levetid (Reference Service Life)

	Datakilde	RSL	Mengde	Enhet
<b>362 Kanalnett for luftbehandling</b>				
Spirokanaler	NEPD nr.: 2144-971-NO (2020) Ventistål: Sirkulære ventilasjonskanaler (0,9 mm)	60	6 456	kg
Rektangulære kanaler	NEPD nr.: 2145-971-NO (2020)	60	2 214	kg
Fittings	Ventistål: Rektangulære ventilasjonskanaler (0,9 mm)	60	2 013	kg
<b>364 Utstyr for luftfordeling</b>				
VAV spjeld	NEPD nr.: 2147-970-EN (2020)	30	60	Stk.
Tilluftsenhet VAV	Cimberio: valves	30	63	Stk.
Tilluftsventiler		30	79	Stk.
Avtrekksventiler		30	72	Stk.
Stengespjeld		30	2	Stk.
<b>365 Utstyr for luftbehandling</b>				
Aggregat	PEP nr.: PEP ecopassport® UNIC-00010-V01.01-EN	17	1	Stk.
Lyddemper	Beregninger i Simapro	60	150	Stk.

Produktspesifikke EPD-er fra EPD-Norge er brukt for ventilasjonskanaler og beslag samt ventiler. En PEF fra PEP Ecopassport er brukt til aggregat, og beregninger i Simapro er brukt for lyddemper.

### 37 Komfortkjøling

For bygningsdel 37 Komfortkjøling er mengdeuttak av kjølekomponenter tatt fra HVLs rørmodell. Her er det en detaljert komponentliste som inkluderer alle 245 varme- og kjølekomponenter (varmekomponenter fins under 32 Varme og Tabell 2), som er brukt til å lage en oppsummering per type material eller komponent, se Tabell 4. Denne oppsummeringen er supplert med informasjon fra FDV innsamlingsverktøy TIDA og systemskjema. Rørbeslag er antatt til å være 15% av stålrør mengdene basert på tommelfingerregel. Vekten på ventilene er antatt til å være 300g/stk. basert på produkt-databladsøk av ventiler. Denne modellen var mindre strukturert og krevde flere manuelle kontrollsjekker i selve modellen. Det ble også gjort noen antagelser og tilnærminger når det gjaldt rørlengder og rørbeslag. Resultatet er presentert i form av totale mengder i enten antall eller kg.

Tabell 4. Mengdeuttak fra Høgskulen på Vestlandet (HVL) Bergen. Komfortkjøleanlegg. RSL = Referanse levetid (Reference Service Life)

	Datakilde	RSL	Mengde	Enhet
<b>370 Fordelingsnett til kjøletak/fancoils- og ventilasjonskurs</b>				
Galvaniserte stålrør	NEPD nr.: 2144-971-NO (2020)	60	18 272	kg
Beslag	Ventistål: Sirkulære ventilasjonskanaler (0,42 mm)	60	2 741	kg
<b>374 Armatur</b>				
Kuleventiler	NEPD nr.: 2147-970-EN (2020)	30	324	Stk.
Spjeldventiler	Cimberio: valves	30	10	Stk.
Innreguleringsventiler		30	172	Stk.
Termostatstyrt kjøleventil		30	146	Stk.
Toveis ventiler kjølebatteri		30	7	Stk.
<b>375 Utstyr kjøledistribusjon</b>				
<i>Pumper</i>			11	Stk.
Kjølebafler	Beregninger i Simapro	60	135	Stk.
<i>Filter</i>			1	Stk.
<i>Luftutskillere</i>			1	Stk.
<i>Ekspansjonssystem</i>			1	Stk.

På tidspunktet da livsløpsanalysen ble gjennomført, fantes det ikke produktspesifikke EPD-er for kjølerør og beslag. Derfor ble det bestemt å bruke EPD-er for sirkulære ventilasjonskanaler i stedet for generiske data siden produktene ikke er så ulike, og begge består av galvaniserte stålrør. Alle ventiler bruker en spesifikk EPD for ventiler. For pumper, kjølebafler, filtre, luftutskillere og ekspansjonssystemer var det ikke mulig å finne spesifikke eller generiske utslippsdatakilder. Disse komponentene utgjør en liten andel av kjøleanlegget og er derfor utelatt i klimagassberegningene.

#### 44 Lys

For bygningsdel 44 Lys består lysinventaret for HVL av 2 519 LED lysarmaturer og nødlys. En detaljert inventarliste var tilgjengelig for alle lysarmaturer og nødlys med produktspesifikke produktnavn, men det var vanskelig å koble disse til utslippsdata siden produsentene per i dag ikke har miljødeklarasjoner knyttet til produktene sine. Produktene har derfor blitt gruppert etter type og er koblet til den datakilden for klimagassutslipp som ble vurdert til å passe best.

Tabell 5. Mengdeuttak fra Høgskulen på Vestlandet (HVL) Bergen. Belysning. RSL = Referanse levetid (Reference Service Life)

	Datakilde	RSL	Mengde	Enhet
Gruppering av kontor LED belysning	PEP nr.: 43991578-721b-4f93-8467-a7683060a26b LED office luminaire 52 W - 5,95 kg	30	1 289	Stk.
Gruppering av LED spotlys	LGRP-00325-V01.01-FR Hublots LED Chartres Essentiel ON/OFF	10	627	Stk.
Gruppering av LED industribelysning	2019-12-04T10:05:26+01:00 Diffuser (damp room) T8-36 W (LFL)	30	87	Stk.
Stolpelys utendørs	Beregninger i Simapro - LED office light+ Aluminium pole	30	63	Stk.
Nøddlys	HAGE-00150-V01.01-EN LED floodlight	10	453	Stk.

#### 49 Andre elkraftinstallasjoner<sup>2</sup>

Materialinventaret er spesifikt for OSC i en veldig tidlig designfase og består av 500 m<sup>2</sup> solceller med installert effekt på 0,1 MWp, batteriinstallasjon på 0,25 MWt, varmpumpe på 2 189 kg med ca. 14 x 300 m energibrønner av 144 mm stålrør og 45 mm PE kollektorslange (tur-retur). Ettersom det ikke er spesifisert type varmpumpe eller antall, er det gjort en forenklet antakelse om at store deler av varmpumpa består av stål. Stål i varmpumper er antatt å ha 7 820 kg/m<sup>3</sup> i tetthet (25). Vekt på stålrør i brønnene er antatt å være 14,476 kg/m og vekt på PE-rør i brønnene er antatt å være 0,45 kg/m (26,27). Levetid på solceller er 30 år. Det er antatt at solcellene er produsert med 50 % mindre klimagassutslipp omtrent 30 år fram i tid sammenliknet med dagens produksjon (28). Levetid på batterier er 15 år, levetid på varmpumper er 15 år, og levetid på brønner er 60 år.

Tabell 6. Mengdeuttak fra Ocean Space Centre (OSC). Andre tekniske installasjoner. RSL = Referanse levetid (Reference Service Life)

	Datakilde	RSL	Mengde	Enhet
Solceller	NEPD nr.: 2993-1671-EM (2021) First Solar: Series 6 PV module (209 x 1232 x 49mm) 420–450 Wp	30	500	m <sup>2</sup>
Batteri	LGRP-00983-V01.01-EN UPS KEOR-T EVO 10 to 60 kVA with batteries	15	0,25	MWh
Varmepumper	Ecoinvent. Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {RER}  production   Alloc Rec, U	15	2 189	kg
Brønner	Ecoinvent. Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {RER}  production   Alloc Rec, U	60	59 514	kg

<sup>2</sup> Denne studien var gjennomført før NS 3451 Bygningsdeltabellen ble revidert i mars 2022. I revidert versjon av standarden er varmpumper plassert under bygningsdel 35 – varmpumpe- og kuldeinstallasjoner, solceller under bygningsdel 47 – lokal elkraftproduksjon og kombinert varme- og kraftverk (CHP) og solfangere plassert under bygningsdel 64 – lokal varmproduksjon. Før revidert standarden kom var det forvirring i bransjen over hvor disse bygningselementene bør plasseres.

	<b>Datakilde</b>	<b>RSL</b>	<b>Mengde</b>	<b>Enhet</b>
	Ecoinvent. Polyethylene pipe, DN 200, SDR 41 {GLO}  market for earth tube heat exchanger, polyethylene, DN 200   Alloc Rec, U	60	8 222	m

### Usikkerhet

I denne studien er det mye usikkerhet knyttet til datainnsamling og kobling til utslippsdatakilde. Usikkerheten er knyttet til usikkerheter i inventaret for HVL, utslippsberegningene for HVL, tidlig designfase for OSC og derfor også inventaret for OSC. Det var heller ikke mulig å beregne konfidensintervall (en rekke estimater for en ukjent parameter definert som et intervall med en øvre og nedre grense) basert på informasjonen tilgjengelig for denne casen på tekniske installasjoner. Usikkerheten kan forklares i form av "kjente kjente" (known knowns) – det vi er oppmerksomme på og forstår, "kjente ukjente" (known unknowns) – det vi er oppmerksomme på, men ikke forstår, "ukjente kjente" (unknown knowns) – det vi forstår, men ikke kjenner til, og "ukjente ukjente" (unknown unknowns) – det vi ikke forstår og ikke kjenner til. Det er veldig få "kjente kjente" i denne studien siden OSC er i en veldig tidlig designfase hvor mye som er knyttet til tekniske installasjoner ennå ikke er bestemt. Det er grunnen til at det ble besluttet å supplere inventarene med data fra HVL Bergen. Datainnsamlingen og utslippsdatakildene har gjort det klart at en stor del av inventaret er "ukjente kjente". For eksempel har vi et detaljert materialinventar på belysning, men ikke noe tilsvarende på spesifikke utslippsdata i form av EPD-er. Det betyr at vi måtte forenkle dataløsningen ved å gruppere materialinventaret slik at det blir mulig å koble det til generiske utslippsdatakilder. Siden det er så mange hull i datagrunnlaget, kan man anta at det også fins "ukjente ukjente"-faktorer både når det gjelder datainnsamling og utslippsdatakilde, noe som øker usikkerheten med denne studien.

Kjente	<b>Kjente Kjente</b> Ting vi er oppmerksomme på og forstår	<b>Kjente Ukjente</b> Ting vi er oppmerksomme på men ikke forstår
	<b>Ukjente Kjente</b> Ting vi forstår, men ikke kjenner til	<b>Ukjente Ukjente</b> Ting vi ikke forstår og ikke kjenner til
Ukjente	Kjente	Ukjente

Figur 8. Matrise for usikkerhet

I denne studien diskuterer vi usikkerheten opp mot scenarioanalysemetoden ved å sammenlikne resultatene med resultatene fra ZEN rapport nr. 24 *Klimagasskrav til materialbruk i bygninger* (1) og Kjekens masteroppgave (10). ZEN-rapporten gir høye og lave anslag for klimagassutslipp knyttet til ulike bygningsdeler for tekniske installasjoner, mens Kjekens masteroppgave gir klimagassutslipp for OSC Fløy A basert hovedsakelig på utslippsfaktorer fra OneClickLCA, som igjen er basert på generiske produkter. OneClickLCA er et beregningsverktøy for livsløpsanalyse med sin egen innebygde utslippsdatabase (29).

## 5 Resultater

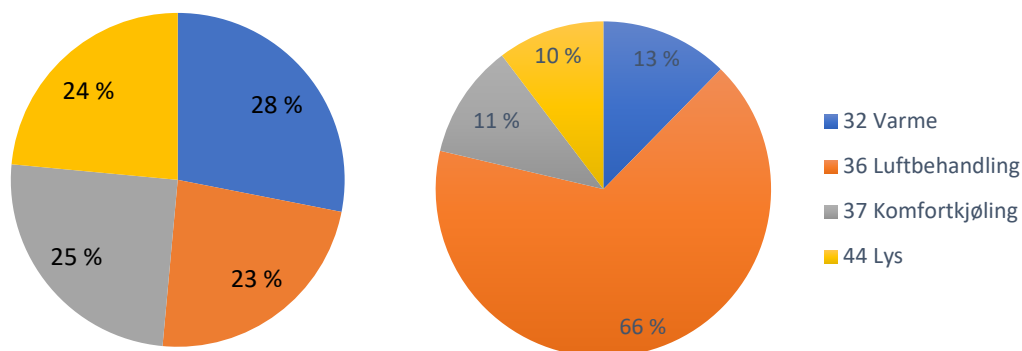
Tabell 7 viser klimagassutslippene for HVL og OSC fløy A per bygningsdel, per livsløpsmodul og per funksjonell enhet på kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> BTA/år. HVL har et bruttoareal på 14 411 m<sup>2</sup>, mens OSC fløy A har et bruttoareal på 9 136 m<sup>2</sup>. Luftbehandlingssystemet på HVL, som danner grunnlaget for materialinventaret og beregningen, er kun dimensjonert for et bruttoareal på 2 231 m<sup>2</sup>. Referanseperioden og bygningens levetid er 60 år. Resultatene for bygningsdel 2 Bygning er beregnet ut fra gjennomsnittet fra ZEN-rapport nr. 24 og Wiik et al. for alle typer bygninger (1; 2). Dette viser at tekniske installasjoner kan stå for rundt 30 % av de totale utslippene til et bygg i produksjonsfasen (A1-A3) og 70 % av utslippene i utskiftingsfasen (B4). Prosentandelen vil i stor grad være avhengig av om bygningsdel 49 er tatt med eller ikke. Her er det også viktig å merke seg at utslipp fra energibruk i drift ikke er inkludert i beregningene. Resultatene for OSC Fløy A for bygningsdelene 32, 36, 37 og 44 er beregnet ved å ta resultatene fra HVL per funksjonell enhet og skalere opp per kvadratmeter netto areal. Fordelingen av utslippene per livsløpsmodul A1-A3 og B4 for tekniske installasjoner er dermed det samme for både OSC Fløy A og HVL.

Tabell 7. Klimagassutslipp resultatene for Høgskulen på Vestlandet (HVL) og Ocean Space Centre (OSC) fløy A. FU = funksjonell enhet

	FU kgCO <sub>2</sub> e/(m <sup>2</sup> ·år)	HVL		OSC	
		A1-A3 tonnCO <sub>2</sub> e	B4 tonnCO <sub>2</sub> e	A1-A3 tonnCO <sub>2</sub> e	B4 tonnCO <sub>2</sub> e
2 Bygning	6,2	3 752,6	1 608,3	2 379,0	1 019,6
32 Varme	0,2	93,8	7,5	59,5	4,7
36 Luftbehandling	1,3	85,0	83,7	347,9	342,8
37 Komfortkjøling	0,2	88,9	1,4	56,4	0,9
44 Lys	0,2	59,8	109,9	37,9	69,7
SUM tekniske intallasjoner (32,36,27,44)	1,9	327,5	202,5	501,6	418,1
<b>Totalsum (2,32,36,27,44)</b>	<b>8,1</b>	<b>4 080,1</b>	<b>1 810,8</b>	<b>2 880,7</b>	<b>1 437,7</b>
49 Andre elkraft installasjoner	1,0	-	-	431,3	104,4
SUM tekniske intallasjoner	2,9	327,5	202,5	932,9	522,5
<b>Totalsum inkl. andre installasjoner</b>	<b>9,1</b>	<b>4 080,1</b>	<b>1 810,8</b>	<b>3 311,9</b>	<b>1 542,0</b>

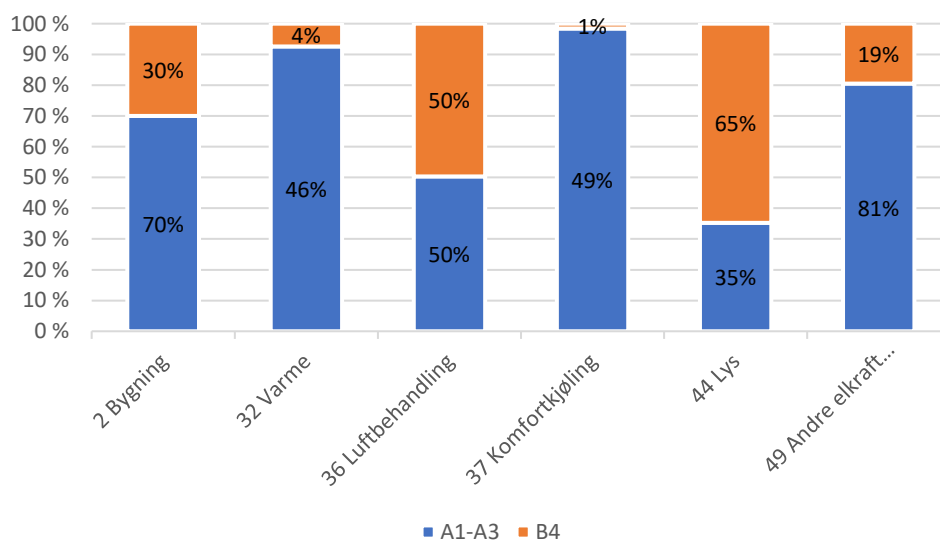
Figur 9 viser prosentandel av klimagassutslipp for tekniske installasjoner fra HVL og OSC. Klimagassutslipp fra 49 Andre elkraftinstallasjoner er ikke inkludert i figurene da dette vil variere betydelig avhengig av type installasjoner som inkluderes her. Det er også andre installasjoner som varmpumper og solceller ved HVL, men disse dataene er ikke samlet inn i denne casen.

Figur 9 viser også at selv om resultatene per funksjonell enhet er det samme for begge bygningene, så varierer mengden utslipp basert på mengder materialer innenfor de forskjellige bygningsdelene. Det er i stor grad bygningsdel 36 Luftbehandling som utgjør den store prosentvise forskjellen mellom HVL og OSC, der utslippene fra luftbehandling står for hele 75 % ved OSC Fløy A, mens denne andelen kun er 32 % for HVL.



Figur 9. Prosentandel av klimagassutslipp for tekniske installasjoner fra HVL (venstre) og OSC Fløy A (høyre)

Figur 10 viser fordelingen av utslippene mellom livsløpsmodul A1-A3 og B4. Her ser man at for utslippene knyttet til 32 Varme og 37 Komfortkjøling oppstår den største andelen av utslippene i A1-A3 Produksjonsfasen. For 36 Luftbehandling skjer ca. halvparten av utslippene i A1-A3 når bygget settes opp, og 50 % av utslippene skjer gjennom bygningens levetid grunnet utskifting av komponenter (B4). Når det gjelder belysning, så står utskifting av lys i løpet av bygningens levetid (B4) for hele 65 % av utslippene, mens utslippene ved oppføring (A1-A3) kun står for 35 %.



Figur 10. Prosentandel av klimagassutslipp for tekniske installasjoner mellom livssyklusmodulene A1-A3 Produksjonsfasen og B4 Utskiftinger for OSC Fløy A.

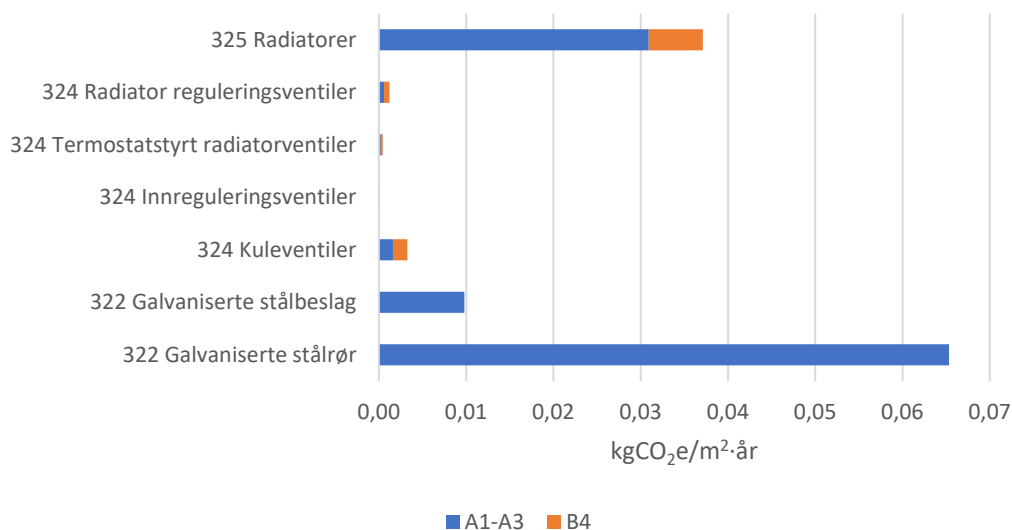
Tabell 8. Klimagassutslipp –resultater for hver komponent

Komponent	A1-A3 (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> ·år)	B4 (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> ·år)
32 Varme	0,11	0,01
322 Galvaniserte stålrør	0,07	0
322 Galvaniserte stålbeslag	0,01	0
324 Kuleventiler	1,6E-03	1,6E-03
324 Innreguleringsventiler	2,2E-05	2,2E-05
324 Termostatstyrt radiatorventiler	2,1E-04	2,1E-04
324 Radiator reguleringsventiler	6,0E-04	6,0E-04
325 Radiatorer	0,03	0,01
36 Luftbehandling	0,63	0,63
362 Spirokanaler	0,18	0
362 Rektangulære kanaler	0,09	0
362 Beslag	0,08	0
364 VAV spjeld	9,64E-04	9,64E-04
364 Tilluftsenshet VAV	1,01E-03	1,01E-03
364 Tilluftsventiler	1,27E-03	1,27E-03
364 Avtrekksventiler	1,16E-03	1,16E-03
364 Stengespjeld	3,21E-05	3,21E-05
365 Aggregat	0,25	0,62
365 Lyddemper	0,03	0
37 Komfortkjøling	0,1	1,64E-03
370 Galvaniserte stålrør	0,08	0
370 Stålbeslag	0,01	0
374 Kuleventiler	8,06E-04	8,06E-04
374 Spjeldventiler	2,49E-05	2,49E-05
374 Innreguleringsventiler	4,28E-04	4,28E-04
374 Termostatstyrt radiatorventil	3,63E-04	3,63E-04
374 To-veis ventiler kjølebatteri	1,74E-05	1,74E-05
375 Kjølebafler	3,49E-03	0
44 Lys	0,06	0,1
Kontor LED belysning	0,05	0,05
LED spotlys	0,01	0,04
LED industribelysning	1,68E-03	1,68E-03
Stolpelys utendørs	3,12E-03	3,12E-03
Nødlys	0,01	0,03
49 Andre elkraftinstallasjoner	0,79	0,19
Solceller	0,07	0,05
Batteri	0,03	0,08
Varmepumper	0,02	0,06
Stålrør til brønner	0,53	0
PE-rør til brønner	0,14	0

32 Varme



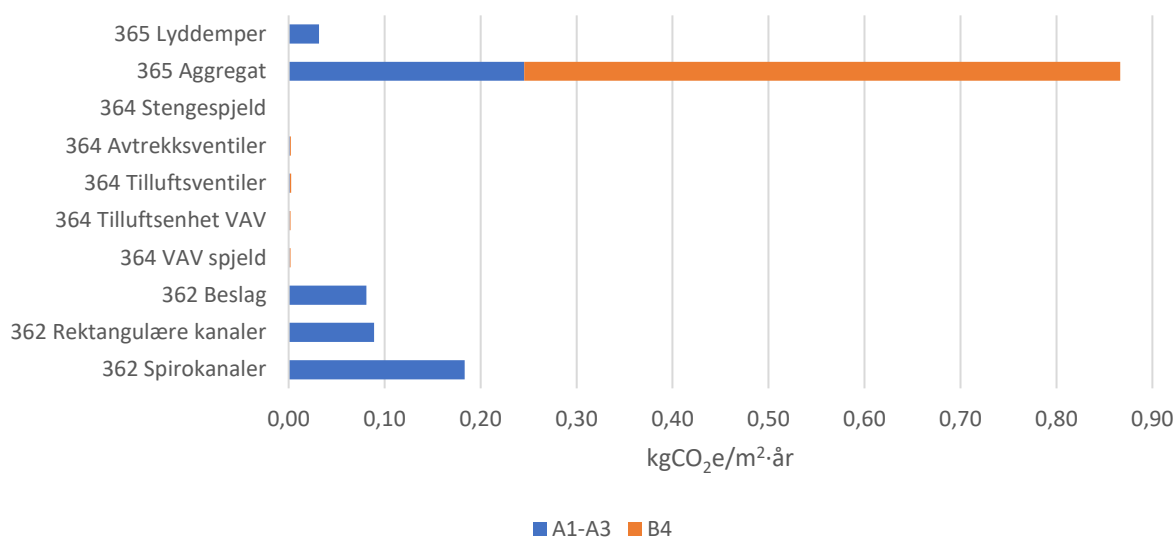
Resultatene for bygningsdel 32 Varme viser at den største bidragsyteren er galvaniserte stålrør (56 %), etterfulgt av radiatorer (32 %), galvaniserte stålbeslag (8 %), kuleventiler (3 %), radiator reguleringsventiler (1 %), termostatstyrte radiatorventiler (0,4 %) og innreguleringsventiler (0,04 %). Pumper, filtre, luftutskillere og ekspansjonssystemet faller utenfor og er ikke med i resultatene siden de utgjør en liten andel av varmesystemet og det var vanskelig å finne utslippsfaktorene for disse delene. Resultatene viser også at 93 % av utslippene oppstår i produksjonsfasen (A1-A3), og 7 % av utslippene oppstår fra utskiftninger i bruksfasen (B4).



Figur 11. Klimagassutslipp fra HVL 32 Varme

### 36 Luftbehandling

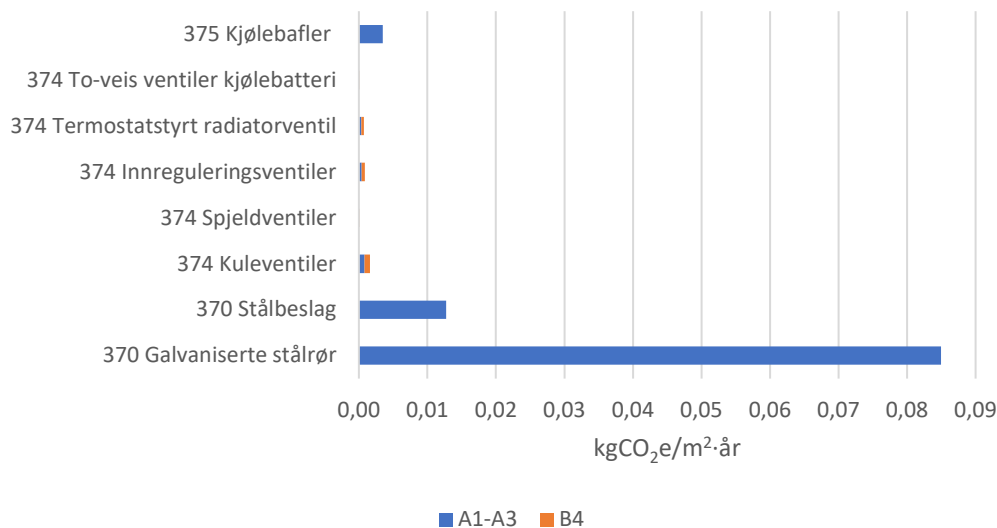
Resultatene for bygningsdel 36 Luftbehandling viser at den største bidragsyteren er aggregat (69 %), etterfulgt av spirokanaler (15 %), rektangulære kanaler (7 %), beslag (6 %), lydempere (3 %), tilluftsventil (0,2 %), avtrekksventiler (0,2 %), tillufts-enhet VAV (0,2 %), VAV-spjeld (0,2 %) og stengespjeld (0,01 %). Resultatene viser også at 50 % av utslippene oppstår i produksjonsfasen (A1-A3), og 50 % av utslippene oppstår fra utskiftninger i bruksfasen (B4).



Figur 12. Klimagassutslipp fra HVL 36 Luftbehandling

### 37 Komfortkjøling

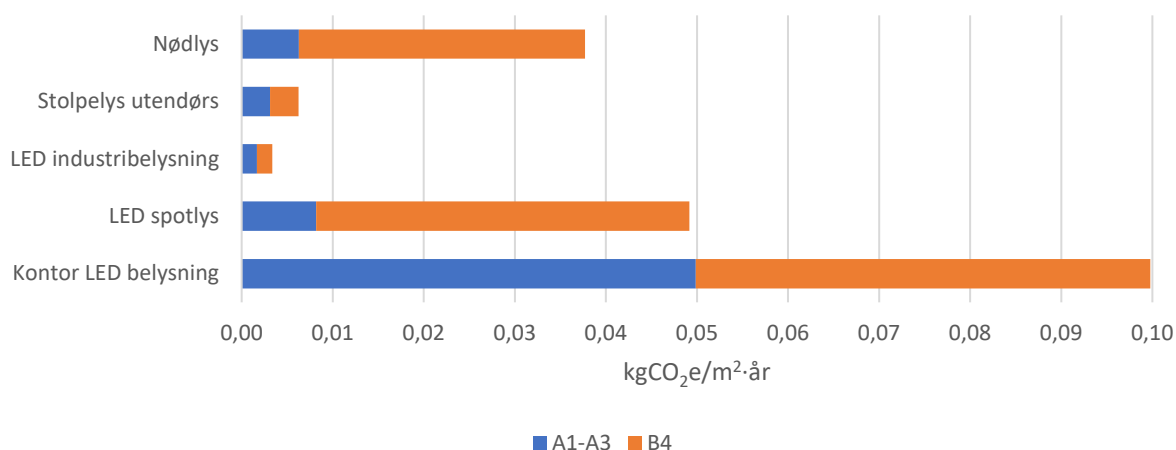
Resultatene for bygningsdel 37 Komfortkjøling viser at den største bidragsyteren er galvaniserte stålrør (81 %), etterfulgt av stålbeslag (12 %), kjølebafler (3 %), kuleventiler (2 %), innreguleringsventiler (1 %), termostatstyrte radiatorventiler (1 %), spjeldventiler (0,05 %) og toveis ventiler kjølebatterier (0,03 %). Resultatene viser også at 98 % av utslippene oppstår i produksjonsfasen (A1-A3), og 2 % av utslippene oppstår fra utskiftinger i bruksfasen (B4).



Figur 13. Klimagassutslipp fra HVL 37 Komfortkjøling

### 44 Lys

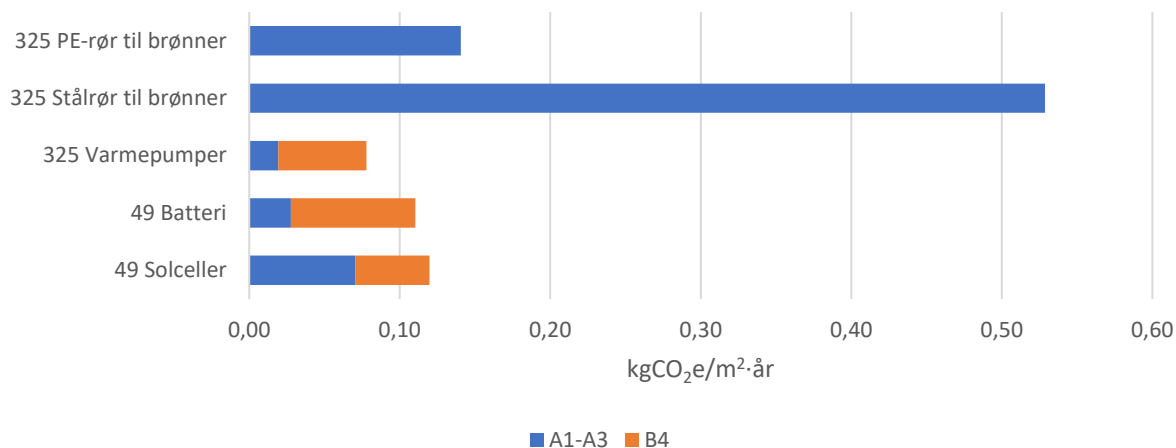
Resultatene for bygningsdel 44 Lys viser at den største bidragsyteren er kontor LED-belysning (51 %), etterfulgt av LED spotlys (25 %), nødlis (19 %), stolpelys utendørs (3 %) og LED industribelysning (2 %). Resultatene viser også at 35 % av utslippene oppstår i produksjonsfasen (A1-A3), og 65 % av utslippene oppstår fra utskiftinger i bruksfasen (B4).



Figur 14. Klimagassutslipp fra HVL 44 Lys

#### 49 Andre elkraftinstallasjoner

Resultatene for bygningsdel 49 Andre elkraftinstallasjoner viser at den største bidragsyteren er stålrør brukt til brønnene (54 %), etterfulgt av PE-rør brukt til brønnene (14 %), solceller (12 %), batterier (11 %) og varmepumper (8 %). Resultatene viser også at 81 % av utslippene oppstår i produksjonsfasen (A1-A3), og 19 % av utslippene oppstår fra utskiftinger i bruksfasen (B4).



Figur 15. Klimagassutslipp fra OSC 49 Andre elkraftinstallasjoner

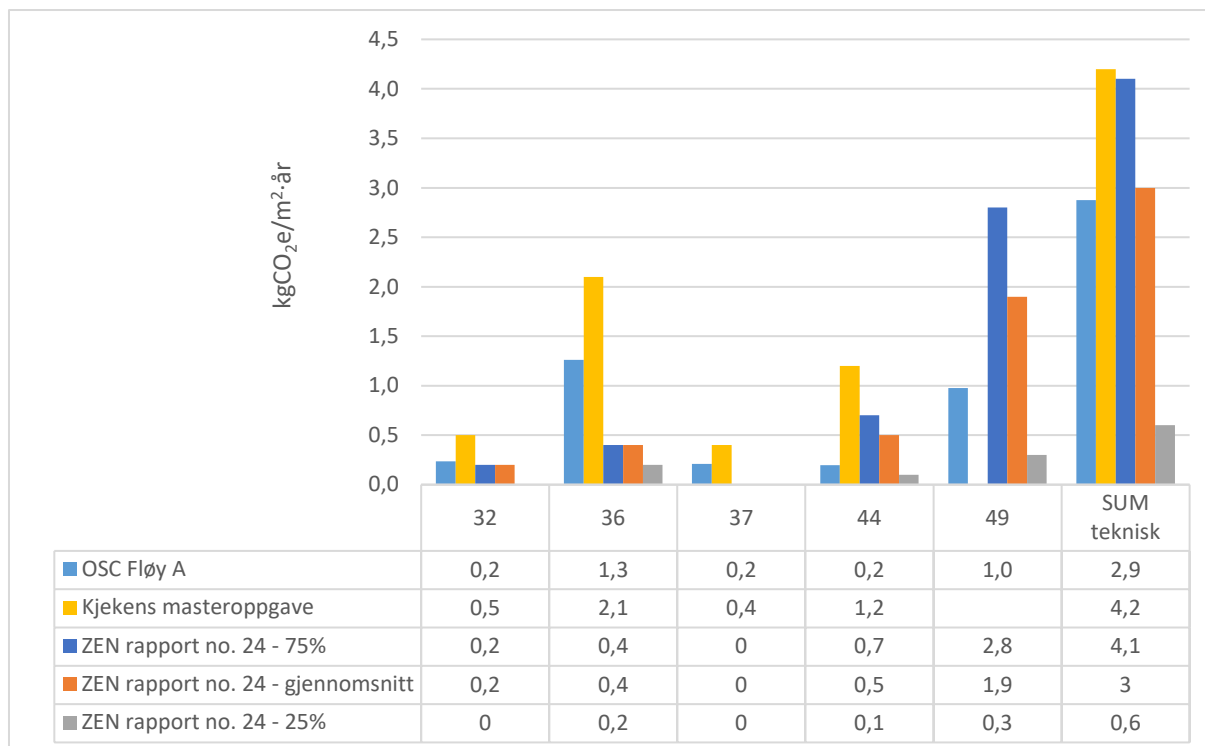
## 6 Diskusjon

Målsetningen med denne casen var å beregne klimagassutslipp fra alle tekniske installasjoner i Ocean Space Centre (OSC), men det ble det fort klart at det ikke fantes tilstrekkelig data eller materialinventar for å gjøre dette for alle tekniske bygningsdeler (31-79) i en tidlig designfase. Kun for bygningsdel 49 Andre elkraftinstallasjoner fantes det tilstrekkelig med data fra OSC. De resterende bygningsdelene hvor det forelå tilstrekkelig data og materialinventar for å gjennomføre klimagassberegninger er hentet fra Høgskulen på Vestlandet (HVL) og inkluderer 32 Varme, 36 Luftbehandling, 37 Komfortkjøling og 44 Lys. Dette er også de bygningsdelene som var oftest rapportert i de 130+ bygninger for ZEN rapport nr. 24 om klimagasskrav til materialbruk i bygninger (1).

Studien på OSC og HVL likner studien som ble gjennomført på ZEB Living Lab i 2016 (4–6). Her var klimagassberegningene gjennomført i en tidlig designfase på ZEB Living Lab. Materialinventaret måtte samles inn basert på arkitekttegninger, og det eksisterte få miljødeklarasjoner for hovedkomponenter og materialer som brukes i bygningskroppen. Klimagassberegningene innebar den gangen datahull og antakelser på innhold av inventaret. Et bedre resultat med mindre usikkerhet kan oppnås hvis klimagassberegningene på ZEB Living Lab gjentas i dag med spesifikt materialinventar fra byggefasen og spesifikke miljødeklarasjoner på hovedkomponenter og materialer som inngår i bygningskroppen nå som markedet for EPD har modnet seg for de fleste byggevarer. Det kan argumenteres for at et bedre resultat med mindre usikkerhet også kan oppnås på OSC når et mer detaljert materialinventar ligger til grunn i detaljprosjektfasen, og når flere EPD-er på tekniske installasjoner gjøres tilgjengelig på markedet de neste årene. Med denne studien har vi skapt erfaringstall i en tidlig designfase for OSC basert på klimagassresultatene fra et annet prosjekt, HVL.

### Totale klimagassutslipp

De totale klimagassutslippene i OSC for livsløpsmodulene A1-A3 og B4 og der bygningsdelene 21-29, 32, 36, 37, 44 og 49 er med ligger på 9,1 kgCO<sub>2</sub>e/(m<sup>2</sup>·år), eller 2,9 kgCO<sub>2</sub>e/(m<sup>2</sup>·år) for kun tekniske installasjoner (ekskludert bygningsdel 21-29). I Kjekens masteroppgave om OSC (10) er de totale klimagassutslippene på 4,3 kgCO<sub>2</sub>e/(m<sup>2</sup>·år) for bygningsdelene 32, 36, 37, 41, 43, 44 og 49 for livsløpsmodulene A1-A5, B4, C1-C4. Det Kjekken har inkludert i materialinventaret som ikke er med i denne studien, er isolasjon, elektriske kabler og kabelstiger samt byggefasen og slutfasen. Det vi har inkludert i denne studien som ikke er med i Kjekens masteroppgave, er utendørs stolpelys. Klimagassutslippene fra PE- og stålrør til brønnene og varmpumper er inkludert under bygningsdel 49 i denne studien, og under bygningsdel 32 i Kjekens masteroppgave, noe som kan forklare hvorfor klimagassutslippene fra tekniske installasjoner varierer mellom de to studiene. I ZEN rapport nr. 24 (1) er gjennomsnittet for de totale klimagassutslippene for bygningsdelene 21-29, 32, 36, 37, 44 og 49 for livsløpsmoduler A1-A3 og B4 på 9,2 kgCO<sub>2</sub>e/(m<sup>2</sup>·år), med 25 til 75 prosentintervaller på 3-12 kgCO<sub>2</sub>e/(m<sup>2</sup>·år). Denne studien svarer ganske godt på gjennomsnitt til resultatet av ZEN rapport nr. 24. I ZEN-rapporten er summen av bygningsdelene for kun tekniske installasjoner (32, 36, 37, 44 og 49) for livsløpsmoduler A1-A3 og B4 på 3 kgCO<sub>2</sub>e/(m<sup>2</sup>·år), med 25 til 75 prosentintervaller på 2,2-4,1 kgCO<sub>2</sub>e/(m<sup>2</sup>·år). En sammenlikning av disse resultatene for tekniske installasjoner er visst i Figur 16.



Figur 16. Resultater for klimagassutslipp for OSC Fløy A, fra Kjekens masteroppgave (10) og fra ZEN rapport nr. 24 (1) for bygningsdelene 32 Varme, 36 Luftbehandling, 37 Komfortkjøling, 44 Lys og 49 Andre elkraftinstallasjoner. NB: Resultatene fra Kjekens masteroppgave for bygningsdel 44 er aggregert med bygningsdelene 41, 43 og 49, varmepumper og brønner er rapportert under 32.

Resultatene viser at klimagassutslippene fra tekniske installasjoner i OSC ( $2,9 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ ) er på linje med klimagassutslipp fra ZEN rapport nr. 24 ( $3 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ ). Det er tenkt at klimagassutslipp fra tekniske installasjoner fortsatt er underrapportert, og at de utgjør en større andel av de totale klimagassutslippene i en bygning. Dette støttes opp av at tekniske installasjoner ofte er lagd med råmaterialer og prosesser med høye klimagassutslipp (for eksempel stål, plast og kjemikalier) og har hyppigere utskiftninger på grunn av kortere levetider enn andre komponenter i en bygning. Likevel er det viktig å huske på at OSC er et utypisk bygg med mer tekniske installasjoner enn et vanlig bygg, og det er vanskelig å si hvor representative resultatene fra denne studien er for andre bygninger. Når resultatene fra OSC ( $2,9 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ ) sammenliknes med resultatene fra Kjekens masteroppgave ( $4,3 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ ), selv om systemgrensene er litt annerledes, så ser vi at det er en stor forskjell i resultatene. Det kan forklares ved at Kjekken har inkludert noen flere komponenter, livssyklusmodulene A4-A5 og C1-C4, generiske europeiske klimagassutslippsfaktorer samt forskjellige levetider. Klimagassberegninger bør gjennomføres for OSC og andre bygninger når detaljerte materialinventarer på tekniske installasjoner og bedre utslippsdata på tekniske installasjoner er tilgjengelig, slik at det kan utvikles bedre erfaringstall i en tidlig designfase.

### 32 Varme

I OSC er klimagassutslippene for bygningsdel 32 Varme på  $0,1 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{år}$ . I Kjekens masteroppgave (10) var dette noe høyere,  $0,5 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ , selv om materialinventaret i denne studien er noe mer detaljert. Dette er fordi Kjekken har plassert varmepumper og brønnene under denne bygningsdelen. I tillegg har VAV tilluftsventilen veldig høye utslipp i Kjekens studie og høyere utslipp på grunn av en

levetid på 20 år med hyppigere utskiftinger. I ZEN rapport nr. 24 (1) varierer klimagassutslipp fra ikke beregnet til  $0,7 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ , og gjennomsnittet – basert på de som har regnet med denne bygningsdelen – er på  $0,2 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ . I ZEN rapport nr. 24 var det kun fem bygninger av 119 som rapporterte på 32 Varme.

### 36 Luftbehandling

I OSC er klimagassutslippene for bygningsdel 36 Luftbehandling på  $1,3 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ . I Kjekens masteroppgave var dette noe høyere,  $2,1 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ , selv om materialinventaret i denne studien er noe mer detaljert. Avvik i resultatene kan forklares med valg av datakilde for klimagassutslippsfaktorer, hvor vi har valgt spesifikke klimagassutslippsfaktorer som representerer norsk marked og ofte er lavere enn generiske, europeiske klimagassutslippsfaktorer. I ZEN rapport nr. 24 varierer klimagassutslipp fra  $0,1$  til  $1,3 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ , og gjennomsnittet er på  $0,4 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ . I ZEN rapport nr. 24 var det kun ni bygninger av 119 som rapporterte på 36 Luftbehandling.

### 37 Komfortkjøling

I OSC er klimagassutslippene for bygningsdel 37 komfortkjøling på  $0,1 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ . I Kjekens masteroppgave var dette noe høyere,  $0,4 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ , selv om materialinventaret i denne studien er noe mer detaljert. Avvik i resultatene kan forklares med valg av datakilde for klimagassutslippsfaktorer, hvor vi har valgt spesifikke klimagassutslippsfaktorer som representerer norsk marked og ofte er lavere enn generiske, europeiske klimagassutslippsfaktorer. Ingen bygninger fra ZEN rapport nr. 24 har rapportert inn denne bygningsdelen. Det antas at mange aggregerer klimagassutslipp fra 36 Luftbehandling og 37 Komfortkjøling under bygningsdel 36.

### 44 Lys

I OSC er klimagassutslippene for bygningsdel 44 Lys på  $0,2 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ . I Kjekens masteroppgave er klimagassutslipp fra 44 Lys aggregert med bygningsdelene 41, 43 og 49. For ZEN rapport 24 varierer klimagassutslipp fra ikke beregnet til  $1,3 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ , og gjennomsnittet – basert på de som har regnet med denne bygningsdelen – er på  $0,5 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ . I ZEN rapport nr. 24 var det kun tre bygninger av 119 som rapporterte på 44 Lys.

### 49 Andre elkraftinstallasjoner

I OSC er klimagassutslippene for bygningsdel 49 Andre elkraftinstallasjoner på  $1,0 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ . I Kjekens masteroppgave var dette på  $1,2 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ . Forskjellen kan forklares ved at denne studien inkluderer PE- og stålrør til brønnene, varmpumper og batteri i materialinventaret for 49 Andre elkraftinstallasjoner, mens Kjekens masteroppgave har plassert dem under bygningsdel 32 Varme. Kjekens resultater er en sammenslåing av alle resultatene for bygningsdel 4, og inkluderer utslipp fra bygningsdelene 41, 43, 44 og 49. For ZEN rapport nr. 24 varierer klimagassutslipp fra ikke beregnet til  $5,9 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ , og gjennomsnittet – basert på de som har regnet med denne bygningsdelen – er på  $1,9 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{m}^2\cdot\text{år})$ . Det er en antakelse i nullutslippsbygninger (ZEB) at solceller (PV) er produsert med 50 % lavere utslipp om 30 års tid. Kjekens masteroppgave bruker ikke denne antakelsen, men nullutslippsbygningene i ZEN rapport nr. 24 bruker samme antakelse om framtidig produksjon av solceller. Den samme antakelsen er brukt i denne studien på OSC, og er den eneste bygningsdelen som bruker materialinventaret direkte fra OSC. Det bør også nevnes at energiproduksjon ikke er inkludert her, men rapporteres som gevinst i modul D som er utenfor omfanget av denne studien. Bygningsdel 49

omfatter andre elkraftinstallasjoner, altså installasjoner som ikke er standard i de fleste bygninger, og som i stor grad vil variere fra prosjekt til prosjekt. Det er derfor viktig å rapportere på klimagassutslippene per bygningsdel på tosifret nivå for å kunne sammenlikne mellom prosjekter og for å kunne videreutvikle gode referanseverdier.

### Materialmengder

Det er knyttet en høy grad av usikkerhet til uthenting av materialmengder fra bygningsinformasjonsmodellering (BIM) og tolkninger av disse. Det er noen begrensninger knyttet til å ta ut materialemengder fra BIM for deretter å tolke materialemengdene og koble dem til produkter og komponenter med datablader og miljødeklarasjoner (EPD). Man er avhengig av hvor godt detaljert BIM-modellen er, og det kan være vanskelig å sikre at alle komponentene er med, og at det ikke er dobbelttelling. Man kan også oppleve datamangel både på materialinventaret i en tidlig designfase og på klimagassutslippsfaktorer for tekniske installasjoner siden tekniske installasjoner ofte ikke er spesifisert i en så tidlig fase, og ofte endres når man deretter prosjekterer bygget. Det er anbefalt at den som utfører livsløpsanalysen, samarbeider med fagpersoner for å kvalitetssikre materialinventaret. I en tidlig designfase kan man også bruke tommelfingerregler på materialemengder, for eksempel at beslag tilsvarer 15 % ventilasjonskanaler, når detaljert design ennå ikke er tilgjengelig.

### Utslippskilder

Det har vært utfordrende å koble materialmengdene til utslippsdata siden dette krever kunnskap om hvordan bygninger og tekniske installasjoner er satt sammen og hvordan man leser miljødeklarasjoner. Det var noen problemer med tilgjengelighet på utslippsdata siden det per i dag er mangel på publiserte utslippsdata i form av miljødeklarasjoner (spesifikke data) for mange tekniske komponenter. Her måtte vi fylle datahull med utslippsdata fra PEF i PEP Ecopassport (europeisk data), IBU Ökobaudat, utslippsdata fra Borgs masteroppgave og ecoinvent (generisk data). Dette kan føre til økt usikkerhet. Det er forventet at det kommer flere produktspesifikke miljødeklarasjoner på tekniske installasjoner i nærmeste framtid siden det er opprettet flere PCR på ulike typer tekniske installasjoner.

## 7 Konklusjon

I denne studien har vi forsøkt å skape erfaringstall i en tidlig designfase for OSC basert på klimagassresultatene fra et annet prosjekt, HVL. Studien har vist at det fortsatt er en stor grad av usikkerhet og behov for antakelser på klimagassberegninger for tekniske installasjoner i en tidlig designfase. Resultatene viser at de totale klimagassutslippene for livsløpsmodulene A1-A3 og B4 og bygningsdelene 21-29, 32, 36, 37, 44 og 49 for OSC er på 9,1 kgCO<sub>2</sub>e/(m<sup>2</sup>·år), eller 2,9 kgCO<sub>2</sub>e/(m<sup>2</sup>·år) for kun tekniske installasjoner.

Videre arbeid vil inkludere å gjennomføre nye klimagassberegninger når det foreligger et mer detaljert materialinventar for OSC og når flere spesifikke utslippsfaktorer er tilgjengelige (i form av EPD-er) for ulike typer tekniske installasjoner. For å få en oversikt over omfang av utslipp og muligheter for klimagassutslippsreduksjon bør det også gjennomføres beregninger for flere bygninger når detaljerte materialinventarer og bedre utslippsdata på tekniske installasjoner er tilgjengelig. Videre arbeid kan også involvere utvidelse av systemgrensen til flere livsløpsmoduler, inkludert modul D og B6, for å se avveininger mellom klimagassutslipp fra tekniske installasjoner og gevinst fra redusert energibruk og egen energiproduksjon. Det bør også arbeides videre med å innhente utslippsfaktorer for de resterende bygningsdelene, som 31 Sanitær, 33 Brannslukking, 4 Elektriske installasjoner og 5 Automasjon.



## 8 Referanser

1. Wiik MK, Selvig E, Fuglseth M, Resch E, Lausset C, Andresen I, et al. Klimagasskrav til materialbruk i bygninger. Utvikling av grunnlag for å sette absolutte krav til klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygninger [Internet]. Oslo: SINTEF Academic Press; 2020 p. 41. (SINTEF, editor. ZEN report). Available from: [https://fmezen.no/wp-content/uploads/2020/05/ZEN-Report-no-24\\_Klimagasskrav-til-materialbruk-i-bygninger.pdf](https://fmezen.no/wp-content/uploads/2020/05/ZEN-Report-no-24_Klimagasskrav-til-materialbruk-i-bygninger.pdf)
2. Wiik MK, Selvig E, Fuglseth M, Lausset C, Resch E, Andresen I, et al. GHG emission requirements and benchmark values for Norwegian buildings. IOP ConfSeries Earth Environ Sci. 2020;
3. Standard Norge. Bygningsdelstabell / Table of building elements (NS 3451:2009). 2009;
4. Inman MR, Houlihan Wiberg A. Life Cycle GHG Emissions of Material Use in the Living Laboratory. ZEB Project report no. 24. ISBN:978-82-536-1481-6. 2015.
5. Inman MR, Houlihan Wiberg A. Life Cycle GHG Emissions of Material Use in the Living Laboratory. In Grada Publishing: Czech Technical University in Prague; 2016. p. 1664.
6. Wiik MRK, Wiberg AAMH. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Material Use in the Living Laboratory. In Hong Kong: Construction Industry Council; 2017. p. 1825–30.
7. Borg AA. The Environmental Impact of Ventilation Systems in a Norwegian Office Building from a Life Cycle Perspective. Norwegian University of Science and Technology: Department of Energy and Process Engineering; 2016.
8. Eivind Selvig, Marianne Kjendseth Wiik, Åse Lekang Sørensen. Campus Evenstad - Jakten på nullutslippsbygget ZEB-COM. 2017.
9. 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.
10. Kjekken I. Embodied Carbon of Technical Installations in a Norwegian Office and Teaching Building. An LCA-based study of the Ocean Space Centre. Norwegian University of Science and Technology: Department of Civil and Environmental Engineering; 2021.
11. Bergsdal H. Environmental assessment of ventilation systems in buildings. Current status in LCA literature. Oslo, Norway; 2020 p. 22. Report No.: ZEN Memo no.22.
12. Rødland M. Klimagassutslipp fra VVS-installasjoner i et nytt norsk skolebygg - Erfaring fra en LCA-basert studie av Voldsløkka skole. Oslo: Oslo MET; 2022 p. 76.
13. Christiansen M. Klimagassutslipp knyttet til VVS-installasjoner for et eksisterende norsk skolebygg. En LCA-studie av Urtekvartalen Fabrikken. Oslo: Oslo MET; 2022 p. 88.
14. Iversen AG. Verktøy for klimagassregnskap av VVS-installasjoner ved utarbeidelse av tilbud. Oslo: Oslo MET; 2022 p. 76.
15. PEP Association. PEP Ecopassport [Internet]. France; 2021. Available from: <http://www.pep-ecopassport.org/>

16. Federal Ministry of the Interior, Building and Community. ÖKOBAUDAT. Sustainable Construction Information Portal [Internet]. Germany; 2021. Available from: <https://www.oekobaudat.de/en.html>
17. Ecoinvent. Ecoinvent database v3.1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland. 2014.
18. EPD Norge. Environmental Product Declarations [Internet]. 2016 [cited 2016 Jan 1]. Available from: <http://www.epd-norge.no/>
19. Mathisen G. Nye EPD-krav fra Statsbygg. Nemitek [Internet]. 2020 [cited 2021 Dec 14]; Available from: <https://nemitek.no/epd-glava-statsbygg/nye-epd-krav-fra-statsbygg/132163>
20. Bks 700.320 intervaller for vedlikehold og utskiftninger av bygningsdeler. Oslo: SINTEF Academic Press; 2010.
21. Norconsult Informasjonssystemer AS, Bygghanalyse AS. Norsk prisbok [Internet]. Sandvika: Norconsult Informasjonssystemer AS; 2017. Available from: <http://www.norskprisbok.no/Home.aspx>
22. NS-EN 15459-1:2017. NS-EN 15459-1:2017 Bygningers energiytelse - Økonomisk evalueringsprosedyre for energisystemer i bygninger - Del 1: Beregningsprosedyrer, Modul M1-14 [Internet]. NS-EN 15459-1:2017 2017 p. 56. Available from: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=928422>
23. Byggforskserien. 700.320 Intervaller for vedlikehold og utskifting av bygningsdeler [Internet]. 2017. Available from: [https://www.byggforsk.no/dokument/3312/intervaller\\_for\\_vedlikehold\\_og\\_utsifting\\_av\\_bygningsdeler](https://www.byggforsk.no/dokument/3312/intervaller_for_vedlikehold_og_utsifting_av_bygningsdeler)
24. Byggforskserien. 700.330 Levetider for sanitærinstallasjoner i boliger [Internet]. 2003. Available from: [https://www.byggforsk.no/dokument/3112/levetider\\_for\\_sanitaerinstallasjoner\\_i\\_boliger](https://www.byggforsk.no/dokument/3112/levetider_for_sanitaerinstallasjoner_i_boliger)
25. Engineering Toolbox. Solids - Densities [Internet]. online; 2009 [cited 2021 Dec 14]. Available from: [https://www.engineeringtoolbox.com/density-solids-d\\_1265.html](https://www.engineeringtoolbox.com/density-solids-d_1265.html)
26. Engineering Toolbox. ASME/ANSI B36.10/19 - Carbon, Alloy and Stainless Steel Pipes - Dimensions - Metric Units [Internet]. online; 2003 [cited 2021 Dec 14]. Available from: [https://www.engineeringtoolbox.com/asme-steel-pipes-sizes-d\\_42.html](https://www.engineeringtoolbox.com/asme-steel-pipes-sizes-d_42.html)
27. Engineering Toolbox. PE Pipes and Weights [Internet]. online; 2006 [cited 2021 Dec 14]. Available from: [https://www.engineeringtoolbox.com/pe-pipe-weights-d\\_324.html](https://www.engineeringtoolbox.com/pe-pipe-weights-d_324.html)
28. Kristjansdottir T, Good CS, Inman MR, Schlanbusch RD, Andresen I. Embodied greenhouse gas emissions from PV systems in Norwegian residential Zero Emission Pilot Buildings. Sol Energy. 2016;133:155–71.
29. Bionova. OneClick LCA [Internet]. online: Bionova; 2018 [cited 2019 Jan 1]. Available from: <https://www.oneclicklca.com/>



**VISION:**

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



Research Centre on  
ZERO EMISSION  
NEIGHBOURHOODS  
IN SMART CITIES



<https://fmezen.no>