

MASTEROPPGAVE

OPPGAVENS TITTEL Klimagassutslipp fra VVS-installasjoner i et nytt norsk skolebygg - Erfaring fra en LCA-basert studie av Voldsløkka skole	DATO 25.05.2022
	ANTALL SIDER/ VEDLEGG 53/10
FORFATTER Margrete Rødland	VEILEDER Ann Karina Lassen
UTFØRT I SAMARBEID MED Forskningsprosjektet Grønn VVS	KONTAKTPERSON Anders Reinertsen Liaøy

KORT SAMMENDRAG

I et livsløpsperspektiv utgjør VVS-installasjoner i bygg en betydelig del av det totale klimagassutslippet fra byggematerialer. Dessverre er utslipp knyttet til VVS- installasjoner et fortsatt lite berørt tema. Gjennom denne oppgaven er det ønskelig å bistå med å fylle dette kunnskapsvakuumet ved å svare ut tre mål: Mål I Kartlegge kunnskapsgrunnlaget for livsløpsvurdering av VVS-installasjoner; Mål II Fremlegge representative verdier for klimagassutslipp knyttet til VVS-installasjoner; Mål III Utvikle en egnet prosedyre for livsløpsvurdering av VVS-installasjoner. For å oppnå målene er det utført et litteraturstudium, en livsløpsvurdering av VVS-installasjoner for et casebygg og en analyse angående prosedyrer rundt gjennomføring av LCA for VVS-installasjoner.

NØKKELOD

LCA
VVS-installasjoner
Klimagassutslipp

Forord

Denne masteravhandlingen som inngår i masterprogrammet Energi og miljø i bygg – sivilingeniør ved Institutt for Bygg- og energiteknikk ved OsloMet – storbyuniversitetet.

Forskningen er utført i samarbeid med forskningsprosjektet Grønn VVS. Jeg føler meg heldig som har fått være med denne forskningen og vil uttrykke en stor takk til Grønn VVS for å ha engasjert meg i dette pionerarbeidet. Håpet er at funn og foreslått prosedyre vil kunne bistå byggenæringen i omstillingen mot et Norge som er klimanøytralt i 2030.

Grønn VVS har bistått med flere gode veiledere fra OsloMet og fra Multiconsult. Veiledere fra Oslomet er Ann Karina Lassen, Dimitrios Kraniotis og Peter Geoffrey Schild, som jeg vil takke for kunnskapsrike veiledning, gode spørsmål og full støtte gjennom denne prosessen. Jeg vil spesielt takke min hovedveileder Ann Karina Lassen, som har vært en fantastisk støttespiller og bistått med flotte samtaler. Veileder fra Multiconsult er Anders Liaøy, Simon Utstøl og Christian Steneng. Takk Anders Liaøy for ditt engasjement for forskningsfeltet, det er smittsomt og inspirerende. Takk Simon Utstøl og Christian Steneng for kjappe svar, støtte når materialdata ikke gir mening, veiledning i programvarer og gode innspill.

Til slutt må jeg takke to gode støttespillere og medstudenter som også har deltatt i forskningsprosjektet Grønn VVS: Marianne Christiansen og Amanda Godnes Iversen. Uten det gode samarbeidet, de engasjerende samtalene, oppmuntringen og latterkramper, hadde ikke arbeidet med denne oppgaven vært like spennende!

STED:

Oslo

DATO:

25.mai 2022

SIGNATUR:



Margrete Rødland

Sammendrag

Gjennom Parisavtalen har 189 land, inkludert Norge, forpliktet seg til drastiske reduksjoner av miljøbelastningen av klimagassutslippene. Byggematerialer er en stor global kilde til menneskeskapt klimagassutslipp, og byggenæringen har et stort ansvar for å redusere og dokumentere både direkte og indirekte klimagassutslipp. I et livsløpsperspektiv utgjør VVS-installasjoner i bygg en betydelig del av det totale klimagassutslippet fra byggematerialer. Dessverre er utslipp fra VVS-installasjoner et fortsatt lite berørt tema, og mangel på kunnskap og regelverk medfører at det ofte blir ekskludert fra klimagassvurderinger av bygningsmateriale.

Gjennom denne oppgaven er det ønskelig å bistå med å fylle dette kunnskapsvakuumet ved å svare ut tre mål:

Mål I: Kartlegge kunnskapsgrunnlaget for livsløpsvurdering av VVS-installasjoner.

Mål II: Fremlegge representative verdier for klimagassutslipp fra VVS-installasjoner.

Mål III: Utvikle en egnet prosedyre for livsløpsvurdering av VVS-installasjoner.

For å oppnå målene er det utført et litteraturstudie, en livsløpsvurdering av VVS-installasjoner for et casebygg og en analyse angående prosedyrer rundt gjennomføring av LCA for VVS-installasjoner.

For mål I peker litteraturstudien i sin helhet på et smalt kunnskapsgrunnlag, og et fortsatt ungt forskningsfelt. Av de åtte relevante studiene analysert i denne oppgaven, er fem av dem publisert i løpet av de siste to årene. Med stadig tydeligere klimapolitikk i Europa, kan det være grunn til å tro at den akselererende trenden i forskningsfeltet vil fortsette. Per dags dato er kunnskapsgrunnlaget mangelfullt. Etter arbeidet med LCA-studien for denne oppgaven er konklusjonen at kunnskapsgrunnlaget for LCA av VVS-installasjoner er svakt, og at det er behov for bedre prosedyrer og flere EPDer.

For mål II er det gjennomført en grundig livsløpsvurdering av VVS-installasjoner for skolebygget Voldsløkka skole i Oslo. VVS-installasjoner representerer et klimagassutslipp på 194,44 kg CO₂e/m² BTA ved bruk av norsk energimiks og 260,15 kg CO₂e/m² BTA ved bruk av energimiksen EU28+Norge. Dette utgjør litt under halvparten av et nytt skolebygg sitt totale klimagassutslipp. Utskiftning (B4) utgjør rundt halvparten av dette utslippet, og gir det største bidraget, etterfulgt av produksjonsfasen (C1-C4) og energibruk i drift (B6). Bruker man energimiksen EU28+Norge bytter energibruk i drift og produksjonsfasen plass. Utslipp fra luftbehandling bidrar mest til VVS-installasjoners totale klimagassutslipp, etterfulgt av varmeinstallasjoner og brannsløkking. Luftbehandling utgjør 55 % (59 % med EU28+Norge) av VVS-installasjoners totale klimagassutslipp, der luftbehandlingsaggregat står for rundt en fjerdedel. Varmeinstallasjoner bidrar med 17 % (16 % med EU28+Norge) og brannsløkking med 12 % (9 % med EU28+Norge).

Mål III er oppnådd ved å presentere et forslag til en egnet prosedyre for LCA av VVS-installasjoner i kapittel 6.

Abstract

189 countries, including Norway, have signed the Paris Agreement, pledging to drastically reduce greenhouse gas emissions' environmental impact. Building materials contribute significantly to global greenhouse gas emissions. The building industry has a significant role to play in reducing greenhouse gas emissions and documenting both direct and indirect emissions. From a life cycle perspective, HVAC installations in buildings account for a significant part of the total greenhouse gas emissions from building materials. Unfortunately, emissions related to HVAC installations are still a young field, and a lack of knowledge and regulations means that they are frequently left out of life cycle assessments of building material.

This thesis aims to fill this knowledge gap by addressing three goals:

Goal I: Map the knowledge base for life cycle assessment of HVAC installations.

Goal II: Present representative values for greenhouse gas emissions related to HVAC installations.

Goal III: Develop a suitable procedure for life cycle assessment of HVAC installations.

To achieve these goals, a literature review was conducted, a life cycle assessment of HVAC installations for a school building, and an analysis of the procedure for implementing LCA for HVAC installations.

For goal I, the literature review as a whole suggests a limited knowledge base and a relatively new field of research. Five of the eight relevant studies covered in this thesis were published within the last two years. With Europe's more explicit climate policy, there may be grounds to think that the accelerating trend in research will continue. To date, the knowledge base is deficient. Working on the LCA study for this thesis led to the conclusion that the knowledge base for LCA of HVAC installations is lacking, and that better procedures and additional EPDs are required.

For goal II, a thorough life cycle assessment of HVAC installations was performed for the school building Voldsløkka school in Oslo. HVAC installations emit $194.44 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ BTA}$ when the Norwegian energy mix is used, and $260.15 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ BTA}$ when the EU28+Norway energy mix is used. This amounts to just under half of the total greenhouse gas emissions from a new school building. Replacement (B4) contributes the most to this emission, accounting for nearly half of it, followed by the production phase (C1-C4) and energy use in operation (B6). When the EU28 + Norway energy mix is used, the energy used in operation and the energy used in production are switched. The largest greenhouse gas emissions from HVAC installations are from air treatment, followed by heating and fire extinguishing systems. Air treatment contribute to 55 % (59 % with EU28 + Norway) of total greenhouse gas emissions from HVAC installations, with air handling units account for about quarter of it. Heating installations contribute to 17 % (16 % with EU28 + Norway) while fire extinguishing systems contribute to 12 % (9 % with EU28 + Norway).

Goal III was met by presenting a proposal for a suitable procedure for LCA of plumbing installations in Chapter 6.

Innhold

1	Introduksjon	1
	Mål I	1
	Mål II	2
	Mål III	2
2	Teori	3
2.1	Miljøbelastning og klimagassutslipp	3
2.1.1	GWP og CO ₂ e	3
2.2	Klimagassutslipp fra byggematerial	3
2.2.1	VVS-installasjoner i bygg	4
2.3	Standardisering av miljøprestasjon	4
2.3.1	Miljødeklarasjon, EPD	5
2.3.2	Produktkategoriregel, PCR	5
2.3.3	Programoperatører for miljødeklarasjoner	5
2.3.4	One Click LCA Ltd	6
2.4	Livsløpsvurdering, LCA	6
2.4.1	Standarder for LCA	6
2.5	Bygningsinformasjonsmodell, BIM	7
2.6	Bygningsdelstabell – NS 3451:2022	8
2.7	Bygningers energiytelse – EN 15459-1:2017	8
3	Metode	9
3.1	Forskningsdesign	9
3.2	Metode for Mål I	11
3.2.1	Litteraturstudie	11
3.3	Metode for Mål II	11
3.3.1	Livsløpsvurdering - casestudie	12
3.4	Metode for Mål III	12
4	Litteraturstudie	13
4.1	Litteratursøket	13
4.2	Funn fra litteraturstudien	14
4.2.1	Analytisk gjennomgang av litteraturen	16
4.3	En “liten metaanalyse”	18
4.3.1	Resultat fra “liten metaanalyse”	18
4.4	Resultat og diskusjon for mål I - del 1	20

5 Livsløpsvurdering - casestudie	21
5.1 Hensikt og formål	21
5.2 Omfang og systemgrense	21
5.2.1 Datakvalitet	22
5.2.2 Kvalitetskategori	22
5.3 Casebygg - Voldsløkka skole	23
5.3.1 Materialuttak fra BIM-modell	24
5.3.2 Generaliserbarhet	24
5.4 Datainnsamling og beregningsmetoder	25
5.4.1 Innhenting av produktdata	25
5.4.2 Forutsetning av produkt-levetid	26
5.4.3 Innhenting av miljødata	26
5.4.4 Beregninger og formler	27
5.4.5 Beregne B6	28
5.4.6 LCA av bygningskropp	29
5.5 Tolkning	30
5.5.1 GWP for VVS-installasjoner	30
5.5.2 GWP for komponenter	32
5.5.3 Materialmengde og klimagassutslipp	35
5.5.4 GWP for Voldsløkka skole	36
5.5.5 Vurdering av resultatene for bygningskropp	37
5.5.6 Følsomhetsanalyse energimiks	38
5.5.7 Følsomhetsanalyse, luftbehandlingsaggregat	40
5.6 Resultat og diskusjon for mål I - del 2	41
5.7 Resultat og diskusjon for mål II	42
6 Analyse av prosedyrer	44
6.1 Prosedyrer fra tidligere studier	44
6.2 Prosessen for LCA-studien	45
6.2.1 Beregningsverktøy som ble vurdert lite hensiktsmessig	45
6.2.2 Observasjoner fra egen prosess av LCA for VVS-installasjoner	47
6.3 Resultat for mål III	47
7 Usikkerhetsvurdering	49
7.1 Egenkontroll	49
7.2 Følsomhetsanalyse	49

INNHold

8 Konklusjon	51
8.1 Videre arbeid	53
Vedlegg	57
A Produktdata	57
B Estimerte levetider for VVS-komponenter	61
C Miljødata	62
D Beregningsark	64
E Beregning av levert energi	66

Figurer

2.1	Livsløpsmoduler	7
3.1	Forskningsdesign	10
4.1	GWP for VVS-installasjoner	19
5.1	Voldsløkka Skole	23
5.2	Utsnitt fra beregningsark i Excel	27
5.3	Klimagassutslipp for VVS-installasjoner i prosent	31
5.4	Klimagassutslipp for VVS-installasjoner med to scenarioer av B6	32
5.5	Materialmasse, meter	35
5.6	Materialmasse, kubikkmeter	35
5.7	Golbalt oppvarmingpotensial	35
5.8	Golbalt oppvarmingpotensial	35
5.9	Klimagassutslipp for Voldsløkka skole, for fire scenarioer	36
5.10	Følsomhetsanalyse 1	39
5.11	Følsomhetsanalyse 2	39
5.12	GWP for VVS-installasjoner	41
6.1	Eksempel på en ukomplett IFC-fil hentet fra Revit.	46
6.2	Prosedyre for LCA av VVS-installasjoner.	48
D.1	Utsnitt av LCA-beregningsark i Excel - del 1	64
D.2	Utsnitt av LCA-beregningsark i Excel - del 2	65
E.1	Beregninger av levert energi	66

Tabeller

4.1	Litteraturoversikt	14
4.2	Systemgrenser og resultat fra litteraturstudiene	17
5.1	Viktige parametre for Voldsløkka skolen	24
5.2	Energiambisjon	24
5.3	Formeloversikt	27
5.4	Valgt forbruksmiks og leverandør av fjernvarme, i One Click LCA Ltd	29
5.5	Klimagassutslipp for VVS-installasjoner, Voldsløkka skole	30
5.6	Resultat for 31 Sanitær	33
5.7	Resultat for 32 Varme	33
5.8	Resultat for 33 Brannsløkking	33
5.9	Resultat for 35 Varmepumpe- og kuldeinstallasjoner	34
5.10	Resultat for 36 Luftbehandling	34
5.11	Resultat for 37 Komfortkjøling	34
5.12	Klimagassutslipp av bygningskropp for skolebygning [kg CO ₂ e/m ² BRA]	37
6.1	Oversikt over prosedyrer brukt i litteraturen	44
6.2	En generalisering av LCA-fremgangsmåter	45
B.1	Levetid for VVS-komponenter	61
C.1	Miljødeklarasjon (EPD) benyttet i oppgaven	62
C.2	Generisk miljødata hentet fra One Click LCA	62
C.3	Oversikt over bruk av miljødata	63

Forkortelser og begrep

BIM - Building Information Model, bygningsinformasjonsmodell

BRA - Bruksareal

BTA - Bruttoareal

Bundne klimagassutslipp - For bygg: Det akkumulerte klimagassutslippet knyttet til materialer og byggeprosesser gjennom hele livssyklusen til en bygning eller et produkt. Det gjelder utslipp knyttet til materialutvinning, transport til produsent, produksjon, transport til byggeplass, montering, utskiftning, riving, avfallsbehandling m.m.

CO₂-ekvivalenter (CO₂e) - Måleenhet for utslipp av klimagasser veid sammen i forhold til dere påvirkning på drivhuseffekten. Forkortes til CO₂e.

EPD - Environmental Product Declaration, miljødeklarasjon

GHG - Greenhouse Gas, klimagass

GWP - Global Warming Potential, globalt oppvarmingspotensial

GWpto - Global Warming Potential, totalt globalt oppvarmingspotensial

HVAC - Heating, ventilation, and air conditioning systems, Varme, ventilasjon og klimaanlegg

LCA - Life Cycle Assessment, livsløpsvurdering/livsløpsanalyse - En flertrinns prosedyre for analyserer miljø- og ressursmessige forhold av et produkt eller en tjeneste, fra råmaterial ekstrakt, til slutten av livet.

Operasjonelle klimagassutslipp - For bygg: Klimagassutslipp knyttet til drifting, som bruk, vedlikehold, reparasjon, ombygging, energibruk i drift.

PCR - Product Category Rule, produktkategoriregler

VVS - Fagområde for varme-, ventilasjons- og sanitærteknikk (inkluderer også kjøling og brannslukking).

VVS-installasjoner - Alle installerte komponenter innunder fagområdet VVS.

1 Introduksjon

Gjennom Parisavtalen har 189 land, inkludert Norge, forpliktet seg til drastiske reduksjoner av miljøbelastningen av klimagassutslippene[1]. Norge har forpliktet seg til 50–55 % reduksjon innen 2030 sammenlignet med referanseåret 1990, og tilnærmet netto null klimagassutslipp innen år 2050 [2]. Byggematerialer er en stor global kilde til menneskeskapt klimagassutslipp [3][4][5], og byggenæringen har et stort ansvar for å redusere og dokumentere både direkte og indirekte klimagassutslipp. I et livsløpsperspektiv utgjør VVS-installasjoner i bygg en betydelig del av det totale klimagassutslippet fra byggematerialer [6][7][8][3][9]. Dessverre er utslipp fra VVS- installasjoner et fortsatt lite berørt tema, og mangel på kunnskap og regelverk medfører at det ofte blir ekskludert fra klimagassvurderinger av bygningsmateriale [10][8].

Forskningsprosjektet Grønn VVS har engasjert forfatter av denne oppgaven til å dykke inn i dette kunnskapsvakuumet for VVS-installasjoner. Forskningsprosjektet har blitt opprettet for å muliggjøre planlegging, utførelse og dokumentasjon av VVS-installasjoner med lavest mulig helhetlig miljø- påvirkning gjennom livsløpet [8]. Denne oppgaven inngår i Arbeidspakke 1 - LCA-analyse, som er første av fire arbeidspakker i forskningsprosjektet. Det overordnede målet for den første arbeidspakken er å bygge opp et robust kunnskapsgrunnlag og å etablere helhetlige representative referanseverdier for bundne klimagassutslipp knyttet til VVS-installasjoner. I denne oppgavens omfang inngår alle komponenter som inngår i bygningsfagene varme, ventilasjon og sanitær, samt komfortkjøling og brannsløkking i bygg. Hensikten med oppgaven er formulert i tre mål.

Det første målet omhandler å kartlegge dagens kunnskapsgrunnlag. Hva vet vi per dags dato om VVS-installasjoners bidrag til byggs klimagassutslipp over et livsløp? Hvilke hinder møter man i prosessen for livsløpsvurdering av VVS-komponenter? Hvilke miljødata er tilgjengelig for VVS-installasjoner? Hvordan kan miljødeklarasjon (EPD) er tas i bruk? Dette er spørsmål som ønskes besvart i denne oppgaven. Formålet er å frambringe et kunnskapsgrunnlag som gir innsikt i dagens praksis. Hensikten er å gi et helhetsbilde av dagens kunnskapsgrunnlag om klimagassvurdering av VVS-installasjoner, og første mål for oppgaven er følgende:

Mål I: Kartlegge kunnskapsgrunnlaget for livsløpsvurdering av VVS-installasjoner.

Det finnes få LCA-studier av VVS-installasjoner, og enda færre med en systemgrense som inkluderer alle komponenter som inngår i VVS-fagene. Det er behov for en grundig kartlegging av klimagassutslipp fra VVS-installasjoner. Det utføres derfor livsløpsanalyse (LCA) av VVS-installasjoner som inngår i bygningsfagene varme, ventilasjon, sanitær, komfortkjøling og brannsløkking i bygg, i et casebygg (Voldsløkka skole i Oslo). I omfanget av LCA-studien inngår de bundne utslippene fra produksjon,

installasjon, transport, utskifting og livsløps-slutfase, og i tillegg det operasjonelle utslippet fra energiproduksjon. Hensikten er at studien kan være med å danne grunnlag for etablering av representative referanseverdier for miljøpåvirkning fra VVS-installasjoner for næringen. Med dette er oppgavens andre mål følgende:

Mål II: Fremlegge representative verdier for klimagassutslipp fra VVS-installasjoner.

Byggenæringen etterspør kunnskap knyttet til gjennomføring av LCA og bruk av EPDer knyttet til VVS-fagene. Kunnskapsgrunnlag og erfaring opparbeidet gjennom litteraturstudien og casestudien danner utgangspunkt for å legge frem et forslag om hvordan LCA av VVS-installasjoner kan gjennomføres. For å øke nytteverdien av denne oppgaven, er det derfor et ønske om å kunne legge frem en detaljert og egnet prosedyre for gjennomførelse av LCA-studier for VVS-installasjoner. Prosedyren vil ta utgangspunkt i en LCA basert på materialuttak fra en bygningsinformasjonsmodell (BIM) og basert på EPDer. Dette er bakgrunnen for tredje og siste mål for oppgaven:

Mål III: Utvikle en egnet prosedyre for livsløpsvurdering av VVS-installasjoner.

De tre målene vil bli forsøkt oppnådd gjennom oppgaven. Det teoretiske rammeverket for oppgaven legges frem i kapittel 2. I kapittel 3 er overordnede metoder for de tre målene presentert. Formålet med forskningen er tredelt. Prosessen for å oppnå målene har vært dynamisk, og det er brukt forskjellige kvantitative og kvalitative metoder. Det er derfor videre valgt et noe utradisjonelt oppsett for oppgaven. I kapittel 4, 5 og 6 presenteres mer detaljert metode og prosess, resultat og diskusjon for henholdsvis en litteraturstudie, en LCA-studie og en analyse av prosedyrer for LCA. I slutten av hvert kapittel presenteres resultat og diskusjon knyttet opp til relevant mål. I kapittel 7 legges det frem en usikkerhetsvurdering av arbeid utført i oppgaven, før konklusjon og forslag til videre arbeid presenteres i kapittel 8.

2 Teori

I dette kapitlet fremlegges det teoretiske rammeverket for oppgaven. Her defineres sentrale ord og begrep som miljøbelastning, klimagassutslipp, GWP, CO₂-ekvivalenter, EPD, PCR, LCA m.m. Krav og prinsipper i viktige standarder er beskrevet. Det vil også være hensiktsmessig å se på miljøbelastning fra byggenæringen.

2.1 Miljøbelastning og klimagassutslipp

Menneskers miljøbelastning på kloden omhandler all negativ endring i miljø som er forårsaket av menneskelig aktivitet eller inngrep [11][12]. Blant de negative endringene inngår nedbrytning av stratosfærisk ozon (ozonlaget); forurensning av land og vann i form av forsurening; luftforurensning i form av fotokjemisk oksidasjon; global oppvarming grunnet økt konsentrasjon av enkelte klimagasser i atmosfæren. Klimagass kan forkortes til GHG fra engelsk “greenhouse gas”. Global oppvarming er miljøbelastningen som skyldes økt utslipp av klimagassene karbondioksid (CO₂), metan (CH₄), lystgass (N₂O), samt de fluorholdige gassene SF₆, HF_{Ker} og PF_{Ker} [13]. Denne oppgaven er avgrenset til miljøbelastning som skyldes de økte klimagassutslippene.

2.1.1 Globalt oppvarmingspotensial, GWP og CO₂-ekvivalenter, CO₂e

Globalt oppvarmingspotensial (GWP) er en indikator på de ulike klimagassenes effekt når det gjelder global oppvarming [12]. GWP bruker CO₂ som målestokk på 1, og skaper en enhet som alle drivhusgasser kan omdannes til. Ved hjelp av GWP kan da utslippene av ulike klimagasser regnes om til enheten **CO₂-ekvivalenter (CO₂e)**.

2.2 Klimagassutslipp fra byggematerial

Byggematerialer er en stor global kilde til menneskeskapt klimagassutslipp [3][4][5]. Produksjon, transport og avfallsbehandling av byggematerialer gjennom hele bygningens livsløp forårsaker store mengder GHG-utslipp hvert år. Ettersom byggeaktiviteten ikke ser ut til å avta, kan man anta at dette bidraget fortsetter.

Klima og miljø er satt på dagsorden, også i byggenæringen. De siste ti årene har det blitt bredere fokus på energi- og miljøprestasjoner til bygg [14]. Selv om klimagassutslipp knyttet til energi i driftsfasen har vært hovedfokuset, får nå vurdering av materialbruk stadig større plass. Som tiltak for å redusere bundne klimagassutslipp fra byggematerialer, blir det også stadig mer fokus på ombruk og rehabilitering [15][16]. På oppdrag for Klima- og miljødepartementet, kartla NIBIO og Civitas i 2020 barrierer og muligheter for lavutslippsmaterialer i bygg [17]. Barrierer som ble løftet fram var mangel på kunnskap generelt; mangel på kunnskap om prosedyre, metoder og modeller for

beregning av klimagassutslipp. Det er også usikkerhet rundt EPDer, og mangel på kunnskap om vedlikehold, drift og levetid for materialer og produkter. Asplan Viak på oppdrag for Enova SF, kom med en lignende rapport samme år [10]. I deres rapport blir igjen mangel på kunnskap pekt på som en barriere for utvikling mot mer klimavennlig materialbruk i byggeprosjekter. Begge rapportene nevner også tiltak som krav til materialprodusenter om dokumentasjon av klimagassutslipp som viktig. Sammenlignet med andre byggevareprodukter, er tilfanget av EPDer for VVS-installasjoner begrenset per dags dato [10].

2.2.1 VVS-installasjoner i bygg

VVS-installasjoner i bygg er alle installerte kompetent underlagt fagområde Varme-, ventilasjons- og sanitærteknikk (VVS) [18]. Her inngår installasjoner for varme, ventilasjon og sanitær, samt komfort- kjøling og brann- slokking. Dette er anlegg som står for byggets funksjonalitet, som blant annet forbruksvann i sanitæranlegget; oppvarming og kjøling av bygget; sørge for godt inneklima i form av ventilasjon; brannsikkerhet ved sprinkleranlegg. Komponenter i disse anleggene kan være komplekse, som for eksemplet et luftaggregat med vifter, luftfiltre, lydempere, varmegjenvinner, varme- og kjølebatteri, m.m [19]. VVS-komponenter har ofte kortere levetid enn selve bygningskroppen. Det medfører behov for utskiftning av komponentene i løpet av bygningens levetid. Ved en opptrapping av rehabilitering av eksisterende bygningskropp kan derfor VVS-installasjoner utgjøre en betydelig større andel av byggs samlede klimagassutslippet enn tidligere. Klimagassutslipp fra VVS- installasjoner er dessverre et fortsatt lite berørt tema, og mangel på kunnskap og regelverk medfører at det ofte blir ekskludert fra klimagassvurderinger av bygningsmaterial [8].

2.3 Standardisering av miljøprestasjon

Det finnes mange måter å dokumentere miljøprestasjon på, noen med mer kvalitet og kredibilitet enn andre. International Organization for Standardization (ISO) har derfor standardisert miljømerker og miljødeklarasjoner i ISO 14020-serien [20][21]. Serien gir veiledning for etablering av miljømerker og en deklarasjoner basert på tre merketyper, I, II og III.

- **Type I:** Et miljøsertifiseringsorgan verdsetter et produkt, og spesielt godt rangerte produkter får en miljømerking (for eksempel Svanemerket og EU Ecolabel) [ISO 14024]
- **Type II:** Produktprodusenten erklærer sitt eget produkt i henhold til utvalgte krav. [ISO 14021]
- **Type III:** Tredjepartsverifisert. Standarden setter krav til hvordan en miljødeklarasjon (EPD) skal bygges opp, og fastsettes at EPDene skal være deklarerert og utstedt av en programoperatør. [ISO 14025]

2.3.1 Miljødeklarasjon, EPD

En miljødeklarasjon (EPD) er et kortfattet dokument som oppsummerer miljøprestasjonen til en komponent, et ferdig produkt, eller en tjeneste over et livsløp [22]. EPDen skal utvikles på grunnlag av en livsløpsanalyse (LCA) etter den internasjonale ISO 14040-serien. EPDen presenterer ferdigberegnet miljøbelastning for det deklarererte produktet per deklarerert enhet (meter, kubikkmeter, kilogram, stk, m.m.). Miljøbelastning i form av globalt oppvarmingspotensial blir oppgitt i kilogram CO₂-ekvivalenter per deklarerert enhet. I henhold til NS 3720:2018 skilles det mellom to nivå datakvalitet for EPDer, nivå 1 og 2 [23].

- **Datakvalitet på nivå 1** Spesifikk data som er vurdert for et konkret produkt. EPDer av denne datakvaliteten oppfyller kriteriene for Type III iht. ISO 14025.
- **Datakvalitet på nivå 2** Alle LCA-data som ikke tilfredsstillers nivå 1. Det gjelder EPD for et gjennomsnittsprodukt, generisk EPD eller såkalt bransje-EPDer for et eller flere produkt.

2.3.2 Produktkategoriregel, PCR

For å utvikle en EPD for et spesifikt produkt, må det først eksistere en produktkategoriregel (PCR) for kategorien det spesifikke produktet tilhører [24]. PCRer gir reglene, kravene og retningslinjene for å utvikle en EPD for en bestemt produktkategori. De er utviklet basert på en prøve-LCA og gir retningslinjer som funksjonell enhet, omfang for LCA og datakvalitet. Ofte er PCRene utviklet i henhold til den europeiske standarden EN 15804, men det finnes også andre utviklere for PCR. Standarden sikrer at EPDer blir sammenlignbare, ved at de samme LCA-metodene brukes for alle produktgrupper. PCRen må bli publisert hos en programoperatør for å være gyldig.

2.3.3 Programoperatører for miljødeklarasjoner

Programoperatøren har ansvaret for å utarbeide, vedlikeholde og kvalitets sikre EPDer. De opprettholder også offentlig tilgjengelige lister og registreringer av PCR og EPD. ECO platform er paraplyorganisasjonen til de ulike nasjonale programoperatørene i Europa [25][22]. ECO platform skaper et samarbeid for å garantere et sammenhengende rammeverk for EPD. Blant medlemmer finner vi programoperatører for byggenæringen IBU (Tyskland), PEP ecopassport (Frankrike), International EPD (Sverige), og EPD Norge (Norge). Andre programoperatører i byggesektoren er INIES (Frankrike), UL Environment (USA) og Bau EPD (Australia).

2.3.4 One Click LCA Ltd - LCA-verktøy og miljødatabase

One Click LCA Ltd er en programvare for livssyklusvurdering for byggebransjen. Programvaren har en robust miljødatabase, som integrerer data fra nesten alle de tilgjengelige EPD-plattformene rundt om i verden [26]. One Click LCA produserer også EPDer og generiske miljødata. LCA-beregninger med denne programvaren kan utføres iht. NS 3720:2018.

2.4 Livsløpsvurdering, LCA

En livsløpsvurdering (LCA) er en flertrinnsprosedyre for å analysere miljø- og ressursmessige forhold av et produkt eller en tjeneste, fra råmaterial ekstrakt, til slutten av livesløpet [27].

2.4.1 Standarder for LCA

ISO 14040 [20] og ISO 14044 [21] er ledende internasjonale standarder for LCA. ISO 14040 beskriver prinsippene og rammeverket for LCA, mens ISO 14044 spesifiserer krav og gir retningslinjer for LCA. Standardene fastsetter metoder for å utføre LCA av et produkts miljøpåvirkning fra vugge til grav. I følge den norske oversettelsen av standarden ISO 14040:2006 [20] er det fire faser i en LCA-studie:

- (a) **Fastsettelse av hensikten og omfanget** - Klargjøre mål og grensesnitt for LCA
- (b) **Livsløpsregnskapsfasen (LCI-fasen)** - Føre regnskap for alt som er involvert i “systemet” av interesse. Det inkluderer råmaterialer, energi etter type, vann og utslipp til luft, vann og land etter spesifikke stoffer.
- (c) **Livsløpseffektvurderingsfasen (LCIA-fasen)** - Innsamlede data fra LCI analyseres for miljøpåvirkning.
- (d) **Tolkningsfasen** - Funn i LCI og LCIA blir sett i sammenheng. Vurdering om resultat samstemmer med hensikt og omfang. Konkludere og gi anbefalinger.

Blant standarder som gir metoder for å vurdere klimagassutslipp fra bygg, er den europeiske standarden EN 15978 og den norske standarden NS 3720:2018. I NS 3720:2018 “Metode for klimagassberegninger for bygninger” [23] legges det frem metode og regler for å gjennomføre en LCA av bygninger tilrettelagt for Norske forhold. Standarden bygger på norsk oversettelse av den europeiske standarden EN 15978 [28]. Den skiller seg fra den europeiske standarden ved å avgrense til beregninger for utslipp fra klimagasser, og inkludere en ny modul B7, for transport i bruksfasen. I følge NS 3720:2018 skal man fastsette en funksjonell ekvivalent, for å gjøre det mulig å utrede en referanseenheter som kan benyttes ved fremleggelse av resultat. Den omfatte bygningstype, tekniske og funksjonelle krav, totalt bruttoareal (m^2 BTA), påkrevd levetid. Detsom ikke annet er oppgitt, benyttes en levetid for bygning på 60 år.

Systemgrenser for LCA er organisert i stadier og moduler som brukes til å vurdere bygningen, og samme organisering brukes i EPDer for å vurdere byggevarer, prosesser og tjenester [23]. Livsløpet, vugge-til-grav, er inndelt i stadiene for produksjon (modul A1-A3), gjennomføring (modul A4-A5), bruksstadie (modul B1-B8) og livsløps-slutt (modul C1-C4). Bundne utslipp er akkumulerte klimagassutslippet knyttet til materialer og byggeprosesser gjennom hele livsløpet. Det gjelder utslipp knyttet til materialutvinning, transport til produsent, produksjon, transport til byggeplass, montering, utskiftning, riving, avfallsbehandling m.m. Her inngår modulene A1-A5, B4 og C1-C4. Operasjonelle utslipp er utslipp knyttet til drift, som bruk, vedlikehold, reparasjon, ombygging, energibruk i drift, (B8 vannforbruk i drift), transport i drift. Her inngår modulene B1-B3 og B5-B7. Modul D vurderes dessuten utenfor systemets grense for analysen, og bruken er valgfri selv når en fullstendig livssyklusanalyse av bygningen utføres. I tabell 2.1 presenteres en oversikt over livsløpsmoduler iht. standarden.

A1-A3			A4-A5		B1-B8								C1-C4				D
PRODUKT-stadie			GJENNOMFØRINGS-stadie		BRUKS-stadie								LIVSLØPETS SLUTT-stadie				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

Figur 2.1: Livsløpsmoduler iht. NS 3720:2018

2.5 Bygningsinformasjonsmodell, BIM

Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) er en metode for å digitalisere informasjon i arkitektur-, ingeniør- og konstruksjonsbransjen [29]. Basert på en intelligent modell og skybasert plattform, danner BIM en tverrfaglig plattform for informasjonsdeling fra planlegging og design til konstruksjon og drift. Autodesk Revit er en BIM-programvare, der man kan 3D-modellere former, strukturer og systemer, og det har funksjoner for bygging, arkitektonisk utforming, konstruksjonsteknikk. BIM-modell kan bygges opp med generiske objekter, eller med produktspesifikt data som tilbys av enkelte produsenter.

2.6 Bygningsdelstabell – NS 3451:2022

NS 3451 Bygningsdelstabell og systemkodetabell for bygninger og tilhørende uteområder (2022) fastsetter inndeling av bygninger etter bygnings- og installasjonsdeler for systematisering, klassifisering og koding [18]. Den kan brukes som referansesystem i tegninger og skjema for markering av bygningsdeler og komponent. I utgaven fra 2022 er det lagt ved en tabell for systemer. Standarden skal i henhold til NS 3720:2018 benyttes for å klassifisere og kode alle komponenter som inngår i LCA-studier.

2.7 Bygningers energiytelse – EN 15459-1:2017

Denne europeiske standarden EN 15459-1:2017 gir beregningsmetoder for de økonomiske spørsmålene ved varmesystemer og andre systemer som er involvert i bygningens energibehov og energiforbruk [30]. En viktig del av denne standarden er de informative dataene for komponenter gitt i Annex D. For denne studien er listen over økonomisk levetid for komponenter gitt i år (minmaks) mest aktuell. En økonomisk levetid for en bygningskomponent tilsvarer den reelle levetiden for komponenten, men overstrider ikke den tekniske levetiden [31]. Tekniske levetid er tiden det tar før komponenten er slitt ut.

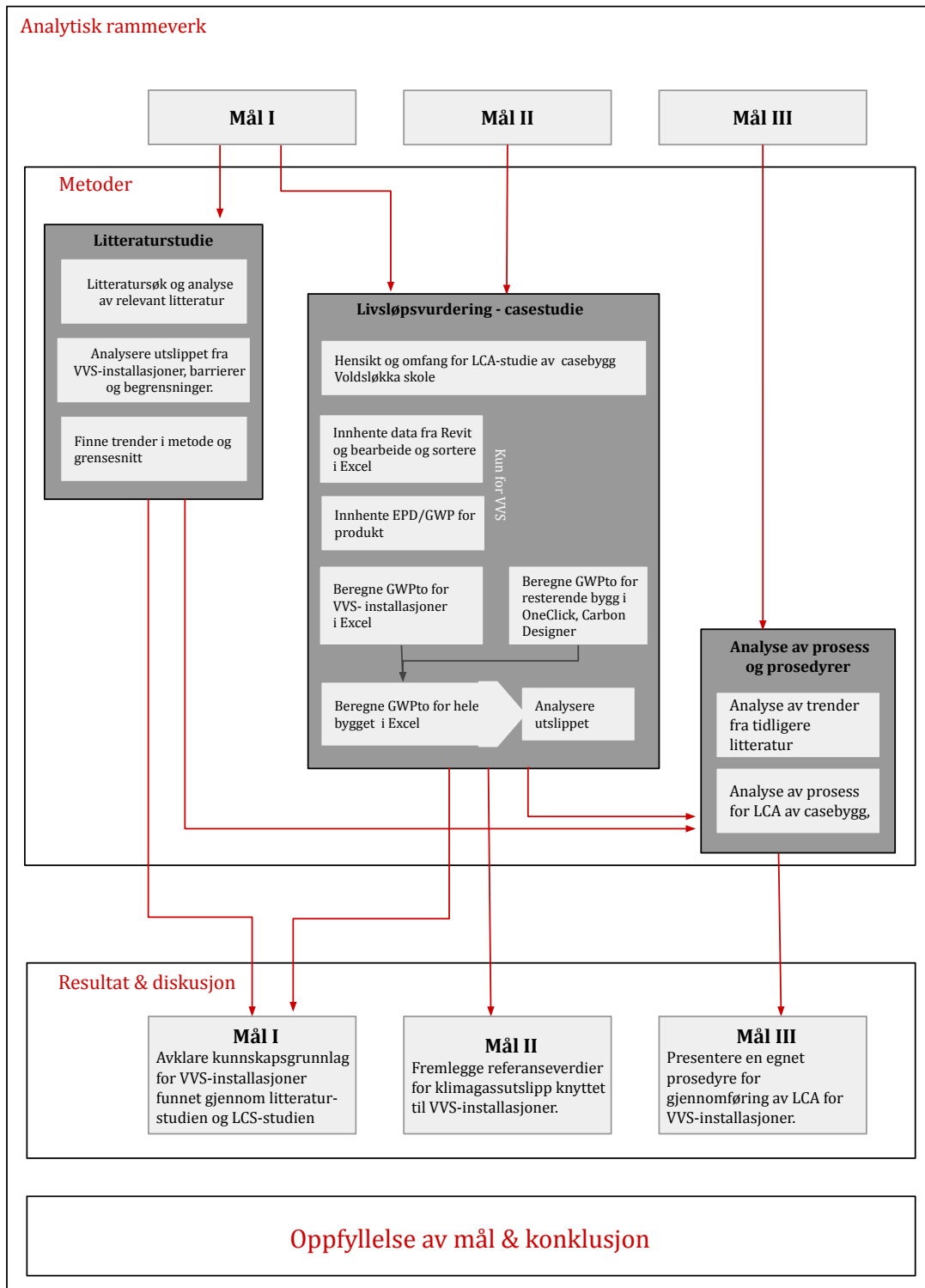
3 Metode

Formålet med forskningen er tredelt og det er blitt brukt forskjellige kvantitative og kvalitative metoder for å oppnå de forskjellige målene. Denne delen av oppgaven skisserer overordnede metoder brukt for å oppnå forskningsmålene presentert i kapittel 1. Først blir det presentert et overblikk over prosessen og metoder for oppgaven. Videre fremlegges den overordnede metodiske tilnærmingen til mål I, II og III. Mer detaljert metode- og prosessbeskrivelse for mål I, II og III, presenteres fortløpende i henholdsvis kapittel 4, 5 og 6.

3.1 Forskningsdesign

Det har vært en omfattende prosess for å oppnå målene for forskningen. De forskjellige målene er tilnærmet med forskjellige metoder, figur 3.1 ¹ presenterer prosessene i oppgavens forskningsdesign. Som det vises i figuren har fremgangen i oppgaven vært dynamisk, og funn for et formål har gitt innspill til et annen. Oppgaven består av tre overordnede metodiske tilnærminger; et litteraturstudie; en LCA-studie; en analyse av prosess og prosedyrer.

¹Figur er inspirert av lignende figurer funnet i litteraturen, blant annet [32, s. 11]



Figur 3.1: Forskningsdesign

3.2 Mål I Kartlegge kunnskapsgrunnlaget for livsløpsvurdering av VVS-installasjoner

Første mål for oppgaven er å kartlegge kunnskapsgrunnlaget for klimagassvurdering av VVS-installasjoner. Som nevnt i kapittel 1 er mangel på kunnskap løftet frem som et hinder for å utføre LCA av VVS-installasjoner. Mål I innebærer å gi et helhetsbilde og større forståelse av hva den nåværende kunnskapen representerer. Det er gjennomført en litteraturstudie for å kartlegge kunnskapsgrunnlag og tidligere erfaringer. Opparbeidet kunnskap og erfaring fra casestudie, gir også nyttig bidrag til å kartlegge den nåværende situasjonen for klimagassvurdering av VVS-installasjoner. Realitet og diskusjon for mål I er derfor presentert i to deler, der del 1 er en gjennomgang av relevante funn fra litteraturstudien og del 2 er en gjennomgang av funn fra livsløpsstudien.

3.2.1 Litteraturstudie

Litteraturstudie som metode gjennomføres for å vurdere størrelsen på forskning som finnes på feltet og forskningsgapet for oppgaven [29]. Et litteratursøk er utføres for å samle relevant litteratur. De aktuelle artiklene er oppsummert og analysert for å finne paralleller mellom varierende resultater og omfang, forutsetninger, inventar og datakvalitet i studiene. Videre er det gjennomført en analyse av studiene der resultat for VVS-installasjoner slås sammen fra flere studier på en numerisk måte. Denne analytiske metoden har likhetstrekk med metoden metaanalyse, som anvendes for å oppsummere effektstørrelsen av studier innenfor et smalt eller begrenset område. Analysen er av et mye mindre omfang enn en tradisjonell metaanalyse, og kan på ingen måte likestilles med en metaanalyse. På grunn av metodiske likhetstrekk og mangel på bedre ord, har analysen likevel fått navnet en “liten metaanalyse” i denne oppgaven. En mer detaljert fremleggelse av metode og prosess presenteres i kapittel 4. I slutten av kapittelet presenteres første del av resultat og diskusjon relevant for mål I.

3.3 Mål II Fremlegge representative verdier for klimagassutslipp fra VVS-installasjoner

Det andre målet for oppgaven går ut på å analysere klimagassutslipp fra VVS-installasjoner. Her inngår å fremlegge representative verdier av klimagassutslipp fra VVS-installasjoner, som kan brukes som referanser for fremtidige studier. Det er også et ønske å presentere en effektverdi av VVS-installasjoners bidrag til byggs totale klimagassutslipp. Metoden anvendt for å oppnå mål II er en grundig livsløpsvurdering av VVS-installasjoner i et casebygg.

3.3.1 Livsløpsvurdering - casestudie

For å gi objektiv og vitenskapsbasert informasjon om utslippene fra VVS-installasjoner er det gjennomført en livsløpsvurdering av casebygget Voldsløkka skole i Oslo. Det gjennomføres en grundig LCA av VVS-installasjonene i casebygget. Metoden for LCA-studien er basert på NS 3720:2018 og NS-EN ISO 14040:2006, som ble beskrevet i underkapittel 2.4.1. Komponentdata (material og mengde) er blitt tildelt fra Grønn VVS, og er fra en BIM-modell i Revit. Globalt oppvarmingspotensial er beregnet utfra EPDer så langt det har latt seg gjøre. Beregninger er utført i Excel. Videre modelleres bygningskroppen i modulen Carbon Designer i det nettbaserte klimagass-verktøyet One Click LCA Ltd, iht. NS 37 20:2018. Totalt globalt oppvarmingspotensial for referansebygget og for VVS-installasjonene er samlet i et nytt excel-ark for videre analyse. En mer detaljert fremleggelse av metode og prosess presenteres i kapittel 5. I slutten av kapittel 5.5 presenteres også resultat og diskusjon relevant for mål II, og resultat og diskusjon relevant for mål I - del 2.

3.4 Mål III Utvikle en egnet prosedyre for livsløpsvurdering av VVS-installasjoner

Det tredje og siste målet for denne oppgaven går ut på vurdere forskjellige fremgangsmåter for LCA av VVS-installasjoner. For mål III skal sluttresultatet være et forslag til en egnet prosedyre for LCA av VVS-installasjoner. Metoden for å oppnå målet er en analyse av prosedyrer og egen arbeidsprosess for LCA. For å opparbeide grunnlag til å kunne foreslå en egnet prosedyre er det utført en systematisk gjennomgang av prosedyrer brukt i tidligere studier, og en kvalitativ vurdering av egen arbeidsprosess for LCA. Metoden for analysen av forskjellige prosesser og prosedyrer utdypes i kapittel 6. I slutten av kapittelet presenteres resultat for mål III.

4 Litteraturstudie

I dette kapittelet legges litteraturstudien frem. Som nevnt er formålet med denne studien å gi et helhetsbilde og større forståelse av hva det nåværende kunnskapsgrunnlaget for klimagassutslipp knuttet til VVS-installasjoner representerer. Først presenteres de relevante studiene i en kronologisk rekkefølge sortert etter utgivelsesår. Videre vil det diskuteres studienes systemgrenser, resultat, begrensninger og barrierer. De forskjellige prosedyrene forfatterne har anvendt i studiene er sett på i kapittel 6.

4.1 Litteratursøket

Relevant litteratur er identifisert gjennom de vitenskapelige databasene Scopus, ScienceDirect og søkemotor Google Scholar. En god akademisk tittel skal signalisere hva teksten skal handle om, og for å sikre relevante studier er derfor søkeordene begrenset til ord som forekommer i studiens overskrift [33]. Det er også forsøkt et søk med norske ord, uten hell, og søket gjennomføres derfor på engelsk. Scopus, ScienceDirect og Google Scholar, gir 10, 4 og 17 treff fortløpende. De samme studiene vises på tvers av portalene. Listen over relevant litteratur er ikke særlig omfattende, der Google Scholar gir flest treff med følgende søkeord:

```
allintitle: ("Embodied carbon") OR ("life cycle assessment") OR ("life cycle assessments") OR ("LCA")  
plumbing OR HVAC OR "technical installations" OR "technical equipment"
```

Søket fra Google Scholar gir 17 treff, der en artikkel opptreer dobbelt og fem er utilgjengelige. De resterende artiklene er vurdert ut fra følgende kriterier:

- VVS-installasjoner er inkludert i LCA-studie.
- Livsløpsanalysen følger en av LCA-standard nevne i , se 2.4.1.
- Systemgrensen for LCA-studien er tilnærmetlik som i denne oppgaven.
- Studien er fagfellevurdert.

Forskningsprosjektet Grønn VVS har også stilt med flere gode artikler. Fem av de relevante studiene fra litteratursøket ligger også i denne litteraturlisten fra Grønn VVS. Det ble supplert med to studier fra litteraturlisten fra Grønn VVS som ikke ble funnet i søket i dette litteraturstudien. Dette gir åtte relevante studier, der en av dem er en metastudie. Studienes resultat er presenter på forskjellige måter. Kun seks av studiene legger frem resultatene på en slik måte at man kan hente ut data som kun omhandler utslipp fra VVS-installasjoner. I tabell 4.1 presenteres studiene i en kronologisk rekkefølge etter publiseringsår.

4.2 Funn fra litteraturstudien

Tabell 4.1: Litteraturoversikt

Publisert	Forfatter	Tittel	Land	Ref.
2021	García-Sanz-Calcedo et al.	Measurement of embodied carbon and energy of HVAC facilities in healthcare centers	Spania	[34]
2021	Hoxha et al.	Influence of technical and electrical equipment in life cycle assessments of buildings: case of a laboratory and research building.	Østerrike	[35]
2021	Kjeken	Embodied Carbon of Technical Installations in a Norwegian Office and Teaching Building An LCA-based study of the Ocean Space Center	Norge	[32]
2020	Kiamili et al.	Detailed assessment of embodied carbon of HVAC systems for a new office building based on BIM	Sveits	[36]
2020	Wiik et al.	Klimagasskrav til materialbruk i bygninger	Norge	[37]
2019	Ylmén et al.	Life cycle assessment of an office building based on site specific data	Sverige	[6]
2017	Passer et al.	Innovative Building Technologies and Technical Equipment Towards Sustainable Construction: A Comparative LCA and LCC Assessment.	Østerrike	[38]
2011	Chen et al.	Life cycle assessment of HVAC systems in office buildings	Australia	[39]

García-Sanz-Calcedo et al. 2021 [34]

García-Sanz-Calcedo et al. gjennomfører en LCA-studie av seks helsebygg i Spania. Målet med studien er å kvantifisere det bundne klimagassutslipp og energien til HVAC-systemer. Med den funksjonelle enheten 1 m² (built surface area), levetiden for HVAC-installasjonene er antatt 15 år. Gjennomsnittlig klimagassutslippet for installasjonene er estimert til å være 48,95 kg CO₂/m² og gjennomsnittlig bundne energi er 587,32 MJ/m². For en levetid lik et bygg på 60 år er dette 195,8 kg CO₂/m².

Hoxha et al. 2021 [35]

Hoxha et al. ser på miljøpåvirkningene for Electronics Based Systems Building (EBS) ved Graz University of Technology, et laboratorium og forskningsbygg i Østerrike. Formålet med artikkelen var å presentere en detaljert beregning av bygningens miljøpåvirkninger ved å inkludere det tekniske og elektriske utstyret i systemgrensen. Innenfor studiens systemgrenser vurderes materialet og komponentene til bygningsstoff, teknisk og elektronisk utstyr for bygningens livssyklusfaser av produksjon, konstruksjon, utskifting, driftsenergi og vann, og utrangert levetid. Indikator for globalt oppvarmingspotensial (GWP) og primærenergi (PE) var beregnet iht. EN-15978. Funksjonell enhet er på 1 m² energireferanseareal (ERA) per år, tatt i betraktning en referanselevetid for bygning på 50 år. For Klimagassutslipp er det funnet at det globale oppvarmingspotensialet er 28,3 kg CO_{2e}/m²ERA/år, eller 1 415 kg CO_{2e}/m²ERA. For denne studien er det interessant å se

på utslippet fra teknisk utstyr, som Hoxha et al. fant at var ansvarlig for 18 % av de totale miljøpåvirkningene, og 13,1 % av GWP.

Kjeken 2021 [32]

Kjeken har beregnet bunden klimagassutslipp av tekniske installasjoner med PV for kontro- og undervisningsbygget Ocean Space Center i Norge. Tekniske installasjoner som inngikk i systemgrensen var varme, kjøling, ventilasjon og elektriske installasjoner. Indikator for globalt oppvarmingspotensial (GWP) var beregnet iht. NS 3720:2018 med verktøyet OneClick LCA Norge NS 3720. Funksjonell enhet var satt til å være 1 m² bruttoareal (BRA) over en estimert levetid for bygget på 60 år. Kjeken finner at klimagassutslippet for tekniske installasjoner med PV var på 258,9 kg CO₂e/m²BRA og står for 46 % av bygges totale utslipp.

Kiamili et al. 2020 [36]

Kiamili et al. ser på bundne klimagassutslipp fra HVAC-systemer for et nytt kontorbygg i Sveits. LCA-studien er gjennomført iht. EN 15978. Med et høyt detaljnivå, brukes BIM for å vurdere virkningen av HVAC-systemene. De tekniske installasjonene som inngikk i systemgrensen var varme, kjøling, ventilasjon og elektriske installasjoner. Funksjonell enheten var satt til å være 1 m² A_E (energy reference area) over en estimert levetid for bygget på 60 år. Energireferansearealet tilsvarer oppvarmet gulvareal og er 22 000 m². Resultatet er oppgitt i årlige utslipp. Klimagassutslipp av HVAC-systemer ligger i området 15-36 % av den totale utslipp til kontorbygg. Når man ser på hele HVAC-systemet, utgjør den totale påvirkningen fra filtrene i bruksfasen av bygget 11 % av den totalpåvirkningen.

ZEN Report No. 24 - 2020 [37]

I ZEN Report No. 24 har Wiik et al. utført en metastudie som tar for seg 133 bygninger i Norge. LCA-studien er for alle bygningsmaterialer. Selv om det er over en smalere systemgrense, inngår VVS-installasjoner også i denne studien (kun for modulene A1-A3 og B4). Målet med studien er å bygge opp referanseverdier til byggenæringen for utslippsnivå for materialbruk i bygg. Kun funksjonell enhet er harmonisert mellom byggene. Bygningskategorier som inngår er kontorbygg, næringsbygg, skolebygg, flerbrukshaller, svømmeanlegg, bofellesskap, omsorgsbolig, eneboliger, m.m. Den funksjonelle enheten er 1 m² BRA over en levetid på 60 år. Gjennomsnittlig resultat for alle bygningstyper er 324 kg CO₂e/m², med kvartilbredde på 240-492 kg CO₂e/m². For skolebygg har bygningene et gjennomsnitt på 270 kg CO₂e/m², med kvartilbredde på 228-366 kg CO₂e/m² over stadiene A1-A3 og B4. VVS, elkraft, tele og automatisering og tekniske installasjoner (byggningsdelene 31-69 iht. NS 3451: 2009) ansvarlige for 21 % av det totale klimagassutslippet (ca. 2,5 kg CO₂e/m²/år).

Ylmén et al. 2019 [6]

Ylmén et al. utfører en LCA-studie av et nytt kontorbygg i Sverige. Det utføres en detaljert LCA etter konstruksjon ved bruk av data levert av entreprenørene. Med fokus på konstruksjon, er målet for studien å avgjøre hvilke deler som har størst betydning for total miljøbelastning. Funksjonell enhet er satt til $1 \text{ m}^2 A_{temp}$ over en livstid på 50 år. A_{temp} er en definisjon på bygningsareal brukt i Sverige. Utslippstall er hentet fra EPDer der det var mulig, fra Ecoinvent, og ellers fra datasystemet Life Cycle Data (ILCD). Resultatene som er relevante for det globale oppvarmingspotensialet (GWP) til HVAC-systemer står for ca. $165 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^2$ (avlesning fra tabell). Studien fremhever viktigheten av å vurdere HVAC-systemer i LCA-studier, der de har vist seg å ha en betydelig innvirkning, spesielt på grunn av utskiftninger.

Passer et al. 2017 [38]

Passer et al. ser på hvordan variasjon av det tekniske bygningsutstyret og energistandardene påvirker miljømessige og økonomiske ytelser for boligbygg i Østerrike. 45 varianter av et boligbygg ble evaluert ved å bruke metodikken for livssyklusvurdering (LCA) og livssykluskostnad (LCC). Variantene består av fire hovedkonstruksjonstyper (tegl, betong, flisbetong og prefabrikkerte trekonstruksjoner) i kombinasjon med ulike energistandarder (lav til pluss energi) og ulike tekniske byggesystemer (pellets, varmepumpe, solvarme og solcelle). Funksjonell enhet ser ut til å være 1 m^2 bruttoareal over 100 år. Det er noe vanskelig å tolke resultatene. Resultatene regnes om til over 50 år i analysen.

Chen et al. 2011 [39]

Studien utforsker miljøpåvirkninger av typiske HVAC gjennom en casestudie av et kontorbygg i Australia. Funksjonell enhet er satt til å være 1 m^2 bruksareal over en estimert levetid for bygget på 50 år. Metoden for LCA baserer seg på tidligere studier og IOS 14001 [40]. Resultatene viser at karbonutslippene hovedsakelig kommer fra produksjons-, drifts- og vedlikeholds-stadier, med 39 % av de totale karbonutslippene tilskrevet elektrisitetsforbruk i driftsfasen, 30 % kommer fra bunden og produksjonsenergi fra produksjon, prosessering og levering av VVS-produkter, og 28 % skyldes vedlikeholds- og utskiftning.

4.2.1 Analytisk gjennomgang av litteraturen

Relevant litteratur ble valgt med ønske om å finne studier med lik systemgrense og omfang som i denne oppgaven. Det er likevel store forskjeller mellom studiene. En studie har helsebygg som casebygg, en ser på boligbygg, to på undervisningbygg, og resterende er gjennomført for kontorbygg. Ved gjennomgang av den relevante litteraturen, er det tydelig at funn fra forskjellige kilder kan være vanskelig å sammenligne. Tabell 4.2 viser en oversikt over hovedresultat for studiene, med

systemgrense, omfang og estimert levetid. Passer et al. og García-Sanz-Calcedo et al. skiller seg ut med tanke på den estimerte levetid for LCA-studien. Passer, A. et al. har laget beregningen over den nokså høye levetiden på 100 år, likevel er ikke utslippet betydelig høyt. García-Sanz-Calcedo et al. har derimot utført beregninger kun for HVAC-systemer, uten å sammenligne resultatene med resterende bygg. Levetiden på 15 år er valgt som en estimert levetid for installasjonene. Hoxha et al. og Kjekken får de høyeste utslippene, men inkluderer også mer enn kun VVS-installasjoner i studiene sine. Det er interessant at Wiik et al., som har en vurdering av VVS, elkraft, tele og automatisering og tekniske installasjoner, ikke har høyere resultatet. Studien har da også et av de mindre systemgrensene, der de kun ser på utslipp fra A1-A3 og B4.

Tabell 4.2: Systemgrenser og resultat fra litteraturstudiene

Publisert	Forfatter	LCA-standard	Livsløpsmoduler	Omfang	kg CO ₂ -ekv/m ²	Levetid
2021	García-Sanz-Calcedo et al.	ISO 14040, ISO 14044	A1-A4 B4 C1-C4	HVAC-systemer	48,95	15
2021	Hoxha et al.	ISO 14040-serien	A1-A3, A4-A5 B4, B6-B7 C2, C4	Teknisk og elektrisk utstyr	387.00	50
2021	Kjekken	NS 3720, ISO 14040-serien	A1-A3, A4-A5 B4 C1-C4	Tekniske installasjoner m/PV	258.92	60
2020	Kiamili et al.	EN 15978	A1-A3 B4, B6 C1-C3	HVAC-systemer	280.20	60
2020	Wiik et al.	NS 3720	A1-A3 B4	Bygningsdelene 31-39	ca. 150	60
2019	Ylmén et al.	EN 15804	A1-A5 B4, B6 C1-C4	HVAC-systemer	165.00	50
2017	Passer et al.	EN 15978, ISO 14040/14044	A1-A3 B4, B6 C1-C4	Tekniske anlegg	26.67	100
2011	Chen et al.	ISO 14001	A1-A3, A4-A5 B4 C1-C4	HVAC-systemer	34.21	50

4.3 En “liten metaanalyse”

Som vist over har studiene som analyseres i litteraturstudien noe forskjellig omfang og systemgrense, og dette hindrer muligheten for å sammenligne resultatene. Sammenligninger av resultater bør kun gjøres når objektene er like med tanke på systemgrenser og funksjoner. Det gjennomføres derfor en analyse der kun resultat for VVS-installasjoner vurderes. Resultat som omhandler VVS-installasjoner er hentet ut fra de aktuelle studiene og er videre bearbeidet for å kunne sammenlignes. På grunn av likhetstrekk og mangel på bedre ord, er analysen blitt kalt en “liten metaanalyse”. Fem av studiene legger frem resultatene på en slik måte at det er mulig å hente ut og analysere utslippet fra kun VVS-installasjoner. Videre har fire av disse studiene presentert resultater slik at det også er mulig å identifisere klimagassutslipp per modul. Fordi omfanget av studiene varierer (se tab.4.2), vil en sammenligning ikke bli optimal, men vil gi en indikasjon på omtrent hvilket nivå utslippet ligger på.

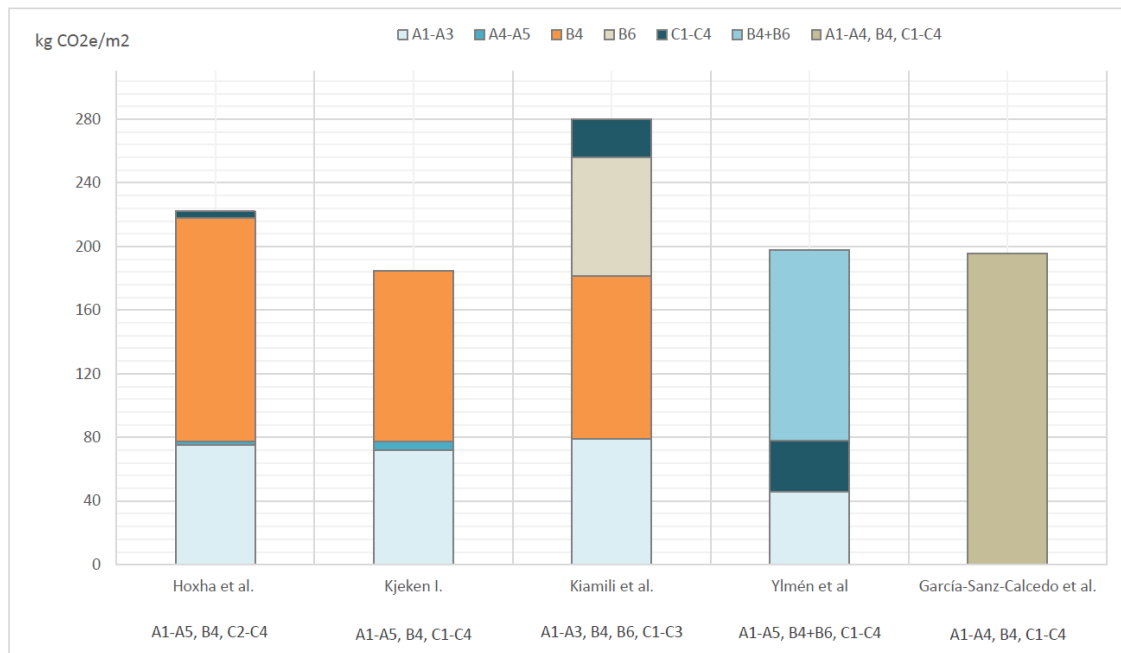
Alle fem studiene har en funksjonell enhet satt til 1 m^2 over estimert levetid for bygget. Studiene har da likevel ikke brukt samme definisjoner på byggets areal. De funksjonelle enhetene er satt til 1 m^2 , der areal definert etter BRA (bruksareal), A_E (energy reference area) eller A_{temp} . BRA er brukt i Norge, A_{temp} i Sverige og A_E brukes i Sveits. De definerer en måte å måle et bygningsareal, der alle ekskluderer byggets yttervegger. De er relativt like i grensesnitt og er derfor betraktet som sammenlignbare i denne analysen [36][41]. Videre er det tatt hensyn til at studiene har forskjellige estimerte levetider. Globalt oppvarmingspotensial er omregnet slik at alle studienes resultat for VVS-installasjoner har funksjonell enhet over en estimert levetid på 60 år.

4.3.1 Resultat fra “liten metaanalyse”

Tatt i betraktning begrensningene for denne sammenligningen, gir resultatet et estimat av klimagassutslipp for VVS-installasjoner funnet i litteraturen. Resultatet vises i figur 4.1. Under hvert studie er stadier som inngår i LCA lagt ved. For studiene i denne analysen ligger klimagassutslippet for kun VVS-installasjoner mellom 185 og $280 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$. Hoxha et al., Kjekken og Kiamili et al. vurderer VVS-installasjoners effekt på total global oppvarmingspotensial for bygget. De estimerer VVS-installasjoners bidraget til å ligge på henholdsvis 13 %, 33 % og 15–36 %. Kiamili et al. inkluderer B6 i sin studie, men har ikke med C4.

García-Sanz-Calcedo et al. oppgir kun resultat for GPWto. Figur 4.1 viser at utslippet over modulene A1-A4, B4 (utskiftning) og C1-C4 er på $198,5 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$ over estimert levetid på 60 år. For resten av studiene er det interessant å se hvilke stadier og moduler som størst effekt på det store bidraget. Stadiet B4 for utskiftning utgjør en betydelig del av det totale klimagassutslippet. Dette gir en indikasjon på hvor viktig det er å ikke neglisjere B4 i et klimagassregnskap for VVS-installasjoner.

For utenom produksjonsfasen, kan det virke som også energibruk i drift B6 utgjør en betydelig andel av VVS-installasjoner bidrag til klimagassutslipp. Sammenlagt står B4 og B6 her for over halvparten av det globalt oppvarmingspotensial til VVS-installasjoner. Analysen bekrefter hvor viktig det er å, i tillegg til A1-A3, inkludere livsløpsmodulene for utskiftning B4 og energibruk i drift B6 i en LCA. Dette er moduler som må være med i et klimagassregnskap, for å gi et robust og realistisk resultat, nær det faktisk globale oppvarmingspotensial til VVS-anlegg.



Figur 4.1: Globalt oppvarmingspotensial for VVS-installasjoner

4.4 Resultat og diskusjon for mål I - del 1

Litteraturstudien er utført for å oppfylle mål I og mål III. Oppfyllelse av mål III vil bli diskutert i kapittel 6. I dette delkapittelet av litteraturstudien presenteres resultat relevant for å oppnå mål I. Mål I for denne oppgaven omhandler å kartlegge dagens kunnskapsgrunnlag. Målet oppfylles ved å kartlegge tidligere studier, og også ved å innhente erfaring fra livsløpsvurderingen som presenteres i kapittel 5. Dette er derfor første del av en vurdering av dagens kunnskapsgrunnlag, og neste del tar for seg erfaringene fra LCA og er presentert i delkapittel 5.6.

Lite uventet viser litteraturstudien at livsløpsvurdering av klimagassutslipp fra VVS-installasjoner er et noe begrenset forskningsfelt, og listen over relevant litteratur er ikke særlig omfattende. Det finnes få LCA-studier av VVS-installasjoner, og videre færre med en systemgrense som inkluderer alle komponenter som inngår i VVS-fagene varme, ventilasjon, sanitær, komfortkjøling og brannsløkking i bygg (bygningstype 31, 32, 35, 36 og 37). Videre baseres få studier på miljødata fra EPDer alene. Studiene presenterer resultatene med en funksjonell enhet satt til 1 m² over estimert levetid. Bygningsarealet er definert forskjellig og med forskjellige grensesnitt. Levetiden for bygget er på enten 50 år eller 60 år. Det kan være et hinder at funksjonell enhet ikke har harmonisk tidshorisont og bygningsareal. Ut fra studiene tatt med i den "lille metaanalysen" ser man at VVS-installasjoners klimagass-bidrag i studiene i stor grad er avhengig av livsløpstadiene utskiftning (B4) og energibruk i drift (B6). Det totale klimagassutslipp fra kun VVS- installasjoner i et livsløpsperspektiv, ser ut til å ligge mellom 185 og 280 kg CO₂e/m² over en estimert livstid på 60 år. Tre studier har også vurdert VVS-installasjoners effekt på total global oppvarmingspotensial for bygget. De estimerer VVS-installasjoners bidraget til å ligge på 13 %, 33 % og 15–36 %.

Litteraturstudien i sin helhet peker på et smalt kunnskapsgrunnlag, og et fortsatt ungt forskningsfelt. Av de åtte relevante studiene analysert i denne oppgaven, er fem av dem publisert i løpet av de siste to årene. Med stadig tydeligere klimapolitikk i Europa, kan det være grunn til å tro at den akselererende trenden i forskningsfeltet vil fortsette. Per dags dato er likevel kunnskapsgrunnlaget mangelfullt.

5 Livsløpsvurdering - casestudie

I dette kapitlet legges det frem en mer detaljert metode og prosess for livsløpsvurdering av VVS-installasjoner i et casebygg. Grønn VVS stiller med casebygg, materialgrunnlag, byggeprogram, produktdatablad, m.m. LCA-studien er gjennomført iht. NS 3720:2018. I delkapittel 5.1, 5.2 fastsettes av hensikten og omfanget for LCA-studien, her presenteres også avgrensninger og en guide til datakvalitet brukt i studien. I delkapittel 5.3 presenteres casebygget Voldsløkka skole, med begrensninger og generaliserbarhet knyttet til casebygget. Prosess for innhenting av produktdata og miljødata, samt beregningsprosess og formler presenteres i delkapittel 5.4. Fremgang for B6 i eget delkapittel. Til slutt legges det frem prosess for LCA av bygningskroppen, som utføres med Carbon Designer i LCA-verktøyet One Click LCA Ltd. Resultat presenteres i delkapittel 5.5, før tolkning av LCA presenteres i delkapittel 5.6 Her drøftes livsløpseffekten av forskjellige VVS-komponenter, og av alle VVS-installasjoner opp mot totalresultat for bygget. I dette kapitlet inngår vurderinger og drøfting av LCA-resultatene, vurdering av forskjellige scenarier og vurdering av resultatenes robusthet.

5.1 Hensikt og formål

Det finnes få LCA-studier av VVS-installasjoner, og videre færre med en systemgrense som inkluderer alle komponenter som inngår i VVS-fagene. Hensikten med LCA-studien er som nevnt i innledningskapitlet å fremlegge en helhetlig livsløpsvurdering, som tar for seg alle komponenter som inngår i VVS-fagene, for å etablere representative referanseverdier for klimagassutslipp fra VVS- installasjoner. Formålet er å oppnå mål I. LCA-studien vil også være med å oppnå mål I og mål III, ved å kvalitativt utforske prosessen for LCA, med de barrierer og begrensninger som inngår.

5.2 Omfang og systemgrense

Omfanget av denne studien er en vugge-til-grav-analyse av VVS-installasjoner med systemgrensen satt til modulene for bundne utslipp fra produksjon, installasjon, transport, utskifting og livsløps-slutfase (A1-A5, B4 og C1-C4), og i tillegg operasjonelle utslipp fra energibruken i drift (B6), iht. NS 3720:2018 [23]. Casebygget er et skolebygg i Oslo. VVS-komponenter som inngår i studien er komponenter for varme, ventilasjon, sanitær, komfortkjøling og brannsløkking i bygg (bygningkode 31, 32, 35, 36 og 37). Komponentdata er basert på BIM-modell, produktdatablad, byggeprogram og samtaler med Grønn VVS. Beregninger av klimagassutslipp skal baseres på miljødata i form av EPD, så langt det lar seg gjøre. Formålet er å se på klimagassutslipp, derfor er studien bergenset til vurdering av miljøpåvirkningskategorien globalt oppvarmingspotensial (GWP). Fordi ikke annet er oppgitt, settes estimert levetid for bygget til 60 år iht. NS 3720:2018 [23]. Med dette er den funksjonelle enheten satt til å være 1 m^2 av byggets totale bruttoareal (BTA) over en estimert levetid for bygget på 60 år.

5.2.1 Datakvalitet

I teorikapittelet beskrives datakvalitet på nivå 1 og 2 iht. NS 3720:2018. I følge standarden kan resultatets robusthet avdekkes som følge av datakvalitet, og optimalt burde all data være av datakvalitet på nivå 1. Fordi alle komponenter i oppgaven til en viss grad er basert på forutsetninger, enten i form av produsent, mengder, materiale eller funksjon, bør all data i oppgaven anses å være av datakvalitet på nivå 2.

5.2.2 Kvalitetskategori for innhenting av produktdata og miljødata

Kvalitet og nøyaktighet av enhver livssyklusvurdering er avhengig av kvalitet og nøyaktighet av inputdata. Innhenting av produktdata og data for klimagassutslipp fra miljødata kan være et stort og omfattende arbeid. Et materialuttak fra BIM-modell har sine mangler og begrensninger [29]. Materialuttaket er ikke perfekt. Komponenter må kontrolleres for riktig bygningsfag og bygningskategori. Majoriteten av komponentene har materialmengde oppgitt i enheten stykk, der det er behov for enheten vekt. For enkelte komponenter er vekt og materialbeskrivelser oppgitt i produktdatablad. For andre komponenter er produktspesifikk informasjon mer begrenset, og valg må tas basert på antagelser. Lignende utfordringer møtes ved innhenting av miljødata, der mengden produktspesifikke EPD for VVS-installasjoner er begrenset sammenlignet med for eksempel andre byggevarer. Det er behov for en systematisk fremgangsmåte for håndtering av mangler blant produkt- og miljødata.

Det finnes flere alternativ for håndtering av datainnnsamling, som igjen er basert på forskjellig forutsetninger og antagelser. For å kunne karakterisere hvor egnet forskjellige alternativ til datainnhenting er, kan det være pragmatisk å lage en prioriteringsliste over alternativene. I sin doktorgrad “Assessment og GHG emissions from materials during building design” gjør Resch en analyse av forskjellige tilnærminger til datamangel [9]. Det er vurdert egnethet med tanke på produktform og datakvalitet. Rekkefølgen på listen som presenteres her over kvalitetskategorier for håndtering av datainnnsamling, er basert på Resch sine vurderinger. Listen er i prioritert rekkefølge etter robusthet.

Kvalitetskategori

1. Produktspesifikk data.
2. Produktspesifikk data for tilnærmet likt produkt (95 % lik material-oppbygning og lik funksjon).
3. Generisk data.
4. Beregnet ut fra material for produktet.

Datainnhenting basert på kvalitetskategori 1 er mest egnet for å representere sanne verdier. For hvert hopp ned på listen, reduseres egnetheten ytterligere og beregningene er mindre robuste.

5.3 Casebygg - Voldsløkka skole



Figur 5.1: Voldsløkka Skole

Casebygget for oppgaven er Voldsløkka skole i Oslo, som skal stå ferdig i 2023. Skoleanlegget har et bruttoareal (BTA) på 14 360 m² fordelt på et nybygg over fire etasjer og det verneverdige Heidenreichbygget (H-bygget) som totalrehabiliteres. Nybygget vil heretter bli referert til som Skolebygget eller S-bygget og Heidenreichbygget som H-bygget. Byggene knyttes sammen med en bro mellom byggene i plan 2.

Skoleanlegget tilfredsstillt energikrav satt i Byggeteknisk forskrift (TEK17). Ut over dette tilfredsstillt skolebygget inkludert bro kriterier til pluss hus iht. definisjonen til FutureBuilt av 2014, og bygges med solceller på både tak og fasader. H-bygget skal også være energieffektivt og oppnår energikarakter B, og oppvarmingskarakter mørkegrønn, da store deler av bygget varmes opp med noe annet enn olje, gass og elektrisitet. Det termiske energibehovet dekkes av en kombinasjon av CO₂-varmepumpe med 14 energibrønner til oppvarming og frikjøling, og fjernvarme. Det er høye miljøambisjoner også for byggeprosessen. Maskiner på byggeplassen skal som minimum benytte fossilfri drivstoff og målsettingen er mest mulig utslippsfrie løsninger. I omfanget av LCA-studien er det VVS-installasjoner som vurderes. Solceller er derfor ekskludert i denne LCA-studien. En vurdering av klimagassutslipp fra PV-produktene og solcelleproduksjon for B6, er dermed utenfor studiens systemgrense. Viktige parametre for skoleanlegget er presentert i tabell 5.1. Tabell 5.2 viser byggenes energiambisjoner.

Tabell 5.1: Viktige parametre for Voldsløkka skolen

Parameter	S-Bygget	H-Bygget	Enhet
Bruttoareal, BTA	10 800	3 560	m ²
Bruksareal, BRA	8 900	2 300	m ²
Etasjer totalt (etg. under bakken)	6 (1)	2	
Energibehov	56,6	119,2	kWh/m ²
Levert energi	37,1	112,01	kWh/m ²

Tabell 5.2: Energiambisjon

S-Bygget	Plusshus iht. FutureBuilt
H-Bygget	Energikarakter B og oppvarmingskarakter mørkegrønn

5.3.1 Materialuttak fra BIM-modell

Forskningsprosjektet Grønn VVS stiller med casebygg til denne oppgaven og har levert et materialuttak i Excel-filformat. Uttaket er eksportert fra BIM-programvaren Revit, ved bruk av et C# -skript. Selv om det meste av informasjonen i materialuttaket finnes i BIM-modellen og kan hentes ut, må det nevnes at skriptet utfører et stort sorteringsarbeid. Materialuttaket omfatter produktdata for komponentene for varme, ventilasjon og sanitær, samt komfortkjøling og brannsløkking. Excel-fil for uttaket består av 1 893 rader med komponenter, med flere kolonner med tilhørende bygningskode, materialmengde, enhet, dimensjon, kategori, og diverse Revit-navn med mer.

5.3.2 Generaliserbarhet

Det er et mål at LCA-studien av VVS-installasjoner i casebygget skal kunne gi representative referanseverdier for skolebygg. Det må derfor gjøres en vurdering av hvor representativ Voldsløkka skole, med sine høye klimaambisjoner, er som referansebygg. Oslo kommune stiller krav til at nye skoleanlegg skal tilfredstille passivhus iht. i NS3701:2012 "Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Yrkesbygninger" [42]. I Klimastrategi for Oslo mot 2030 skjerpes kravene til at "...kommunens egne nybygg som hovedregel skal ha plussstandard." [43, s. 50]. I Norge generelt er det en økt satsing på klima- og energitiltak i nybygg, og klimaambisjoner får en stadig større betydning for innretning av offentlige byggeprosjekt [44]. På tross av, eller kanskje på grunn av høye klimaambisjoner, kan det derfor se ut som Voldsløkka skole kan kvalifisere som et representativt referansebygg for nybygg av bygningskategori skolebygning.

5.4 Datainnsamling og beregningsmetoder

Beregning av klimagassutslipp fra VVS-installasjoner er utført i Excel. Det innebærer først å innhente nødvendig data. Innsamling av produkt- og miljødata er utført i samarbeid med medstudenter. Produktdata er basert på en Revit-modell av skoleanlegget. Miljødata for VVS-komponentene er basert på EPDer så langt det lar seg gjøre. For bearbeiding av produktdata og innhenting av miljødata benyttes prioriteringslisten for kvalitetskategori, se 5.2.2. Denne prosessen beskrives i korte trekk i delkapittel 5.4.1 og 5.4.3. I delkapittel 5.4.4 presenteres en oversikt over beregninger og formler for livsløpsregnskapet. Energibruken i drift, B6, beregnes i One Click LCA Ltd etter NS 3720:2018, ut fra resultat fra energiberegninger som er tildelt fra Grønn VVS. Dette utdypes i delkapittel 5.4.5. Beregninger av resterende bygningsmasse utføres med modulen Carbon Designer i One Click LCA, og beskrives i detalj i delkapittel 5.4.6.

5.4.1 Innhenting av produktdata

I denne oppgaven er et ønske å gjennomføre en grundig LCA av VVS-installasjoner. Derfor er det hentest detaljert informasjon fra et materialuttak fra BIM-modellen og kombineres med produkt-datablad. Fra det tildelte materialuttaket fra Revit, kartlegges alle produktdata som er innenfor systemgrensen. Det er snakk om produktdata i form av geometriske data, materialdata. Materialuttaket består av 1 893 forskjellige produkt, tatt med forskjell i dimensjoner. Produktene er klassifisert inn i 185 komponentgrupper og kodet med to-sitret og tre-sitret bygningskategori iht. fra NS 3451:2022 [18]. Materialmengdens enhet er bearbeidet, ved behov, etter en enhet egnet for beregning av klimagassutslipp. Komponentens enhet må samsvare med deklart enhet i miljødata. Bearbeiding av produktdata er utført etter prioriteringslisten for kvalitetskategori fra delkapittel 5.2.2. 50 % produktdata for komponentene er basert på produktspesifikk data, enten direkte fra uttaket eller hentet fra produktdatablad. Der vekt eller materialdata ikke er oppgitt for i produktdatablad, er produktdata basert på data for tilnærmende like produkt. Dette gjelder 44 % av komponentene. Resterende komponenter har kun generiske informasjon oppgitt i uttaket fra Revit. Vekt og materialdata er da funnet ved bruk av generisk data eller beregnet ut fra material for produktet. Det må også nevnes at der data, for eksempel vekt for en enkelt dimensjon, har manglet fra produktdatablad, er interpolering blitt tatt i bruk for å estimere verdien. En oversikt over komponenter med kvalitetskategori for innhenting av produktdata og miljødata er gitt vedlegg A.

5.4.2 Forutsetning av produkt-levetid

Levetiden for VVS-komponentene er i all hovedsak basert på økonomisk levetid hentes fra EN 15459-1:2017 AnnexD [30]. Der det oppgis min-max-verdi for levetiden, er gjennomsnittsverdien brukt. Det finnes ikke levetid for ventilasjonsaggregat og sprinkler i standarden². Det er valgt å benytte øvre grense for funksjonell levetid hentet fra rapporten “Levetider i praksis - Prinsipper og bruksområder” fra 2009 av Multiconsult [31]. En tabelloversikt over levetider er gitt i vedlegg B.

5.4.3 Innhenting av miljødata

I denne oppgaven er det forsøkt å utføre klimagassvurdering av VVS-installasjoner ved bruk av EPD-data. EPDene skal tilfredsstillende kriterier for Type III iht. ISO 14025, og være basert på en PCR iht. EN 15804. De burde være deklart for et markedsområde som inkluderer Norge. Det er antatt at dette sikrer at estimert utslipp knyttet til produksjon og transport er mer likt det faktiske utslippet. Det er videre antatt at GWP oppgitt i EPDer øker linjert med materialmengde. Ved mangel av EPD for produktet eller om EPD mangler faser som inngår i systemgrensen for oppgaven, er det supplert med miljødata for fasen hentet etter kvalitetskategori fra 5.2.2. Databaser for miljødata brukt i denne innsamlingsprosessen er presentert under i prioritert rekkefølge:

1. Programoperatør som er medlem av ECO Platform.
2. Andre programoperatører
3. One Click LCA Ltd sine egne generiske miljødata.

For kun tre av VVS-komponentene finnes det en EPD for det spesifikke produktet per dags dato. To av ventilasjonsaggregatene er av type eQ50 fra FläktGroup, og har en tilgjengelig EPD for produktet. For brannbeskyttelse av ventilasjonskanaler av type CONLIT Fire Mat EI30* fra Rockwool er det også en bestemt EPD knyttet til produktet. Ellers er majoriteten av miljødata for VVS-produktene, 78 %, hentet fra produktspesifikk data for tilnærmet likt produkt. Her skal funksjonen være lik og 95 % av materialoppbygningen skal være lik. Funksjon og materialoppbygning er undersøkt i produktdatablad for produkt fra Voldløkka skole, opp mot produktdatablad for det deklarte produktet. Det er antatt at kanaldeler er tilnærmet lik tilhørende kanal, og klimagassutslippet beregnes ut fra av samme EPD. Det samme gjelder for rørdeler og tilhørende rør. Videre er 4 % av miljødata hentet fra generiske data og 15 % er basert på miljødata beregnet ut fra material for produktet. En tabell med oversikt over brukt miljødata er gitt i vedlegg C.

²Håndtering av mangel på levetider for komponent, er basert på veiledning og samtale med medstudenter.

5.4.5 Beregne B6, energibruk i drift

Klimagassberegninger for energibruk i drift, B6, baseres på beregning for levert energi utført etter NS 3031:2014, som presisert i NS 3720:2018. Beregninger av B6 er i denne studien basert på tidligere energiberegninger for Voldsløkka skole, utført i forprosjektstadiet av Norconsult. Energiberegningene oppgir totalt levert energi, dekningsgrader for varmepumpen og fjernvarme, samt energibehov og systemvirkningsgrad for energipostene romoppvarming, tappevann, varmebatteri, vifter, pumper, belysning, teknisk utstyr, romkjøling og kjølebatteri. Disse beregningene er utført med beregningsprogrammet SIMIEN fra Programbyggerne, versjon 6.012. SIMIEN utfører simuleringer iht. NS 3031:2014. Klimagassberegninger av B6 er utført i LCA-verktøyet One Click LCA Ltd.

Voldsløkka skole skal dekke det termiske energibehovet med en kombinasjon av CO₂-varmepumpe (oppvarming og frikjøling) og fjernvarme. For å kunne legge inn rett energibruk i drift i One Click LCA, må levert energi deles opp i elektrisitet og fjernvarme. Videre kan det være en fordel å legge inn forbruk etter energipost, for å lettere kunne tilegne klimagassutslippet for B6 rett bygningsdel. Levert energi per energipost er derfor beregnet ut fra systemvirkningsgrad og energibehov, der det er tatt høyde for dekningsgrad av varmepumpen og/eller fjernvarme. Beregningene er gjort for H-bygget og S-bygget hver for seg, da de ikke dekkes i lik grad av varmepumpen og fjernvarme. For mer detaljer se vedlegg E. Resultatet av dette ga levert energi, fordelt per energipost, og fordelt på elektrisitet og fjernvarme.

One Click LCA krever at leverandør for fjernvarme og elektrisitet velges. Da ikke annet er oppgitt, er det valgt et gjennomsnitt over to år for fjernvarme i Oslo. På grunn av bygningers lange levetid, innebærer antakelser om elektrisitetsforsyning også en antagelse om utslippsintensiteter for fremtidige elektrisitetsforsyning. Elektrisitet fra Norge er i hovedsak basert på vannkraft. Det er forbundet med lavt globalt oppvarmingspotensial sammenlignet med elektrisitet basert på kull og gass. Elektrisitet fra resten av Europa er i større grad basert på energikilder som kull, gass, kjernekraft, m.m. NS 3720:2018 fastsetter at det skal benyttes to ulike scenarioer for elektrisitetsforsyning, en produksjonsmiks for elektrisitet for Norge og en for EU28+Norge. Begge scenarioene er gjennomsnittlig for 3 år, spådd over en beregningsperiode på 60 år. Valg av miljødataene for B6 i One Click LCA er presentert i tabell 5.4. Resultat for B6 er deretter hentet inn i Excel med beregningene av de resterende fasene, og presenteres i kapittel 5.5.

Tabell 5.4: Valgt forbruksmiks og leverandør av fjernvarme, i One Click LCA Ltd

Elektrisitetstype 1)	Norway, 60 years forecasted average (IEA/NS3720 energy mix, projection from 2016-2018 average)
Elektrisitetstype 2)	EU28 + Norway, 60 years forecasted average (IEA/NS3720 energy mix, projection from 2016-2018 average)
Leverandøren av fjernvarme	District heat, Oslo, Norway, 2016-2018 average

5.4.6 LCA av bygningskropp

I denne delen av LCA-studien vurderes VVS-installasjoners effekt på total global oppvarmingspotensial for bygget. For å kunne vurdere VVS-installasjoner sitt bidrag til Voldsløkka skole sitt totale klimagassutslipp, er det behov for å utføre en LCA av resterende bygningsmasse. Det er blitt vurdert flere beregningsverktøy for å gjennomføre dette. I rapporten “Kartlegging av klimagassberegninger for bygg og anlegg i Oslo” fra 2020 gir Fuglseth et al. forslag til hvordan det kan bygges opp tilpassede referansebygg med modulen Carbon Designer i programvare One Click LCA [26]. Med denne modulen er det derfor modellert et referansebygg tilpasset bygningskropp for Voldsløkka skolen. Det er tatt høyde for at skoleanlegget består av to skoler ved å modellere H-bygget og S-bygget hver for seg. Parametre som inngår i modellene er blant annet geometriske-parametre, bygningsstruktur, beregningsperiode, bygningstype, norskeforhold og rammeverk, m.m. Modellene omfatter kun selve bygningskroppen, det vil si at tekniske systemer, VVS og utendørs materialbruk er ekskludert. For å få et mer presist resultat, er det fulgt følgende anbefalinger for gjennomføring av modellberegninger i Carbon Designer gitt i rapporten til Fuglseth et al.[26]:

- Benytte versjon iht. NS3720.
- Unngå bruk av lokal kompensasjon-funksjonalitet, for dette ikke blir realistisk.
- Benytte «teknisk brukstid» for levetid, med mindre det er helt spesielle grunner og et bygg som er prosjektert med høy frekvens av ombygging og utskifting av brukere.

LCA av bygningskroppen følger samme livsløpsstadier og funksjonell enhet som LCA av VVS-installasjoner. I teorikapittelet er det løftet frem at ved rehabilitering av eksisterende bygningsmasse, vil VVS-installasjoners bidrag til bundne klimagassutslipp for bygg øke. Det er derfor undersøkt hvor stor betydning VVS-installasjoner vil ha i nybygg sammelignet med i rehabiliteringsprosjekt. Det er gjennomført to scenarier for resterende bygning: Betydningen av klimagassutslipp for VVS-installasjoner et rehabiliteringsprosjekt og i et nybygg. Resultat fra LCA av VVS-installasjoner og fra dette referansebygget er samlet i Excel for videre analyse. Fordi bygningskroppen modellert i Carbon Designer er en forenklet modell av Voldsløkka skole, kan det diskuteres hvor representative resultatene er. Det er derfor i tillegg gjennomført en vurdering av resultatene for bygningskroppen opp mot referanseverdier fra tidligere studier.

5.5 Tolkning

I dette delkapittelet presenteres resultat med tolkning fra klimagassberegninger utført for VVS-installasjoner og bygningskroppen for Voldsløkka skole. Først legges det frem resultat for beregninger av VVS-installasjoner. Det er gjennomført vurderinger av det globale oppvarmingspotensialet av komponenter med stort bidrag. Videre er resultat for hver bygningsdel presentert. Det er gjennomført vurderinger av hvilke faktorer som har størst påvirkningseffekt klimagassutslipp knyttet til VVS-installasjoner. Det vil også være nødvendig å vurdere hvor robuste resultatene er. I slutten av dette kapittelet er LCA-studien vurdert opp mot mål for denne oppgaven.

Resultat fra studien er i overensstemmelse med den fastsatte hensikten og omfanget, for utenom i den kritiske vurderingen av bygningskroppen i delkapittel 5.5.5. Der er vurderinger gjort for et smalere omfang for å kunne sammenligne resultat med resultat fra tidligere studier.

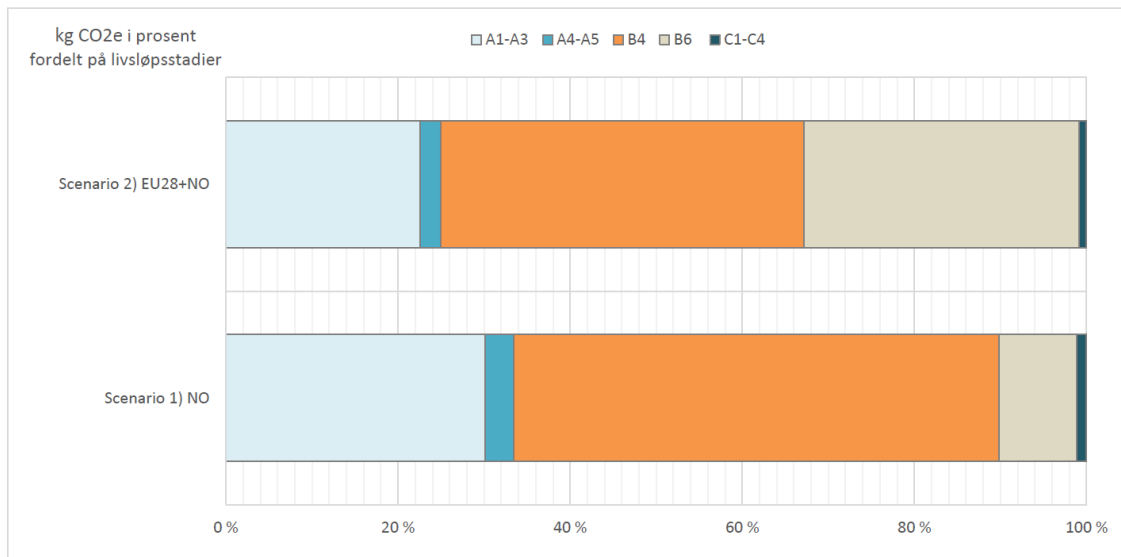
5.5.1 Globalt oppvarmingspotensial for VVS-installasjoner

I tabell 5.5 er klimagassutslippet for VVS-installasjonene i Voldsløkka skole presentert etter modul iht. NS 3720:2018. Globalt oppvarmingspotensial er oppgitt i kg CO₂e over funksjonell enhet på 1 m² BTA, der bruttoareal er på 14 360 m². Etter standarden er det utført beregninger med to scenarier av energimiks for elektrisitet. Livsløpsstadiene som gir størst effekt på det totale klimagassutslippet er B4 utskifting, etterfulgt av B6 energibruk i drift med energimiksen EU28+NO. Valg av energimiksen EU28+Norge gir GWP på over 900 000 kg CO₂e mer enn den basert på norsk energimiks alene. Globalt oppvarmingspotensial for VVS-installasjonene i Voldsløkka skole for scenario 1) beregnet til å være 194,44 kg CO₂e/m² BTA. For scenario 2) er det beregnet til å være 260,15 kg CO₂e/m² BTA.

Tabell 5.5: Klimagassutslipp for VVS-installasjoner, Voldsløkka skole

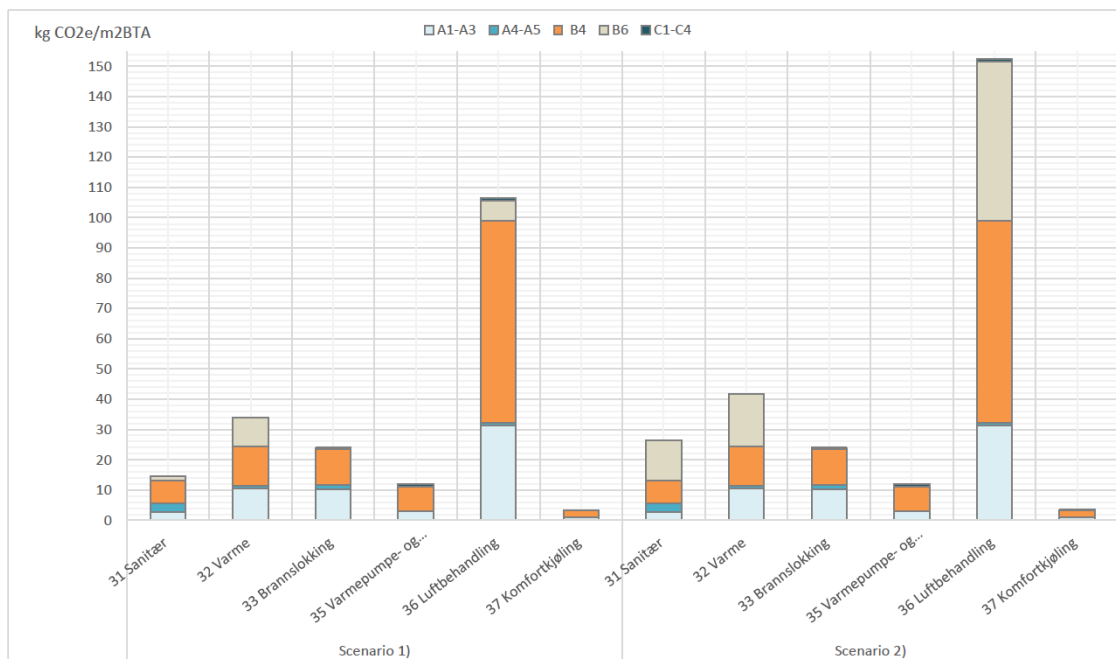
Klimagassutslipp, over 60 år [kg CO ₂ e/m ² BTA]		
Livsløpsstadie	Modul	GWpto
Produktfase	A1-A3	58,66
Konstr/install. fase	A4-A5	6,42
Utskifting	B4	109,64
Energibruk i drift		
Scenario 1) NO	B6	17,45
Scenario 2) EU28 + NO	B6	83,17
Slutfase	C1-C4	2,27
Totalt, scenario 1)		194,44
Totalt, scenario 2)		260,15

I figur 5.3 presenteres en oversikt over hvordan livsløpsstadiene er fordelt i prosent for de to forskjellige scenariene for energimiks. For både scenario 1) og 2) er det livsløpsstadien B4 for utskiftning som har størst effekt på det totale oppvarmingspotensialet, og bidrar med henholdsvis 56 % og 42 %. Etter utskiftning gir enten produksjonfasen eller energibruk i drift størst bidrag til det totale utslippet for VVS-installasjoner. Her avhenger det av scenario for energimiks.



Figur 5.3: Klimagassutslipp for VVS-installasjoner i prosent, fordelt på livsløpsstadier

I figur 5.4 vises klimagassutslipp per bruttoareal fordelt etter bygningsdel, for hvert scenario for B6. For Voldsløkka skole ser vi at det er 36 Luftbehandling som er den bygningsdelen som bidrar mest til det totale globale oppvarmingspotensialet knyttet til VVS-komponenter. Avhengig av scenario, står 36 Luftbehandling for 55 % og 59 % av det totale bidraget.



Figur 5.4: Klimagassutslipp for VVS-installasjoner med to scenarier av B6

5.5.2 Globalt oppvarmingspotensial for komponenter

I tabell 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 og 5.11, presenteres globalt oppvarmingspotensial for henholdsvis bygningsfag 31 Sanitær, 32 Varme, 33 Brannsløkking, 35 Varmepumpe- og kuldeinstallasjoner, 36 Luftbehandling og 37 Komfortkjøling. Her presenteres resultatene med enhet kg CO₂e. Komponenter som utgjør et betydelig bidrag er blant annet luftbehandlingsaggregat, stålrør og -rørdele, spjeld, radiator, varmpumpe, fordelere, kanaler og kanaldeler, luftfilter, m.m. For luftbehandlingsaggregat, stålrør, stålrørdele, kanaler og kanaldeler og radiator er det korrelasjon mellom materialmengde og klimagassutslipp. For komponentene spjeld, varmpumpe, fordelere og luftfilter kan det virke som klimagassutslipp i sterkere grad er knyttet til komponentenes levetid enn materialmengde. For eksempel har fordelere levetid på 10 år. Med en estimert levetid for bygget på 60 år, er det i beregningene tatt høyde for at disse komponentene må skiftes ut 5 ganger. For luftfiltre med en levetid på 1 år må flitrene skiftes ut 59 ganger i løpet av bygges levetid. I delkapittel 5.5 er det sett nærmere på hvor følsomme resultatene kan være i forhold til variasjon i blant annet tidshorisonter.

Tabell 5.6: Resultat for 31 Sanitær

Bygningsfag	Bygningsdel	Komponent	Mengde	Enhet	GWP [kg CO ₂ e]	
31 Sanitær	312 Ledningsnett for sanitærinstallasjoner	Rør, kobber	2 249	m	8 864	
		Rør, plast	1 350	m	32 864	
		Rør, rustfritt	258	m	2 492	
		Rør, stål	1 184	m	67 341	
		Rørdel, kobber	48	kg	198	
		Rørdel, plast	2 881	kg	24 272	
		Rørdel, rustfritt	454	kg	3 242	
		Rørdel, stål	86	kg	615	
		314 Armaturer for sanitærinstallasjoner	Div. ventiler	137	kg	6 564
			Motorisert ventil	6	kg	280
	Fordelere		365	kg	23 645	
	315 Utstyr for sanitærinstallasjoner	Ekspansjonskar	210	kg	1 177	
		Akkumulatortank	1 824	kg	14	
		Fettutskiller	320	kg	1 756	
		Pumpe	300	kg	10 683	
		Avløpsenhet, rustfritt	23	kg	719	
		Avløpsenhet, plast	186	kg	108	
	316 Isolasjon av sanitærinstallasjoner	Rørskål m/aluminiumsfolie	7	m ³	1 522	
		Kondensisolasjon i cellegummi	4	m ³	2 589	

Tabell 5.7: Resultat for 32 Varme

Bygningsfag	Bygningsdel	Komponent	Mengde	Enhet	GWP [kg CO ₂ e]
32 Varme	322 Ledningsnett for varmeinstallasjoner	Rør, plast	707	m	1 507
		Rør, stål	2 639	m	36 712
		Rørdel, kobber	35	kg	174
		Rørdel, plast	149	kg	272
		Rørdel, rustfritt	38	kg	210
		Rørdel, stål	544	kg	2 458
	324 Armaturer for varmeinstallasjon	Div. ventiler	140	kg	6 679
		Fordelere	1 155	kg	74 897
		325 Utstyr for varmeinstallasjoner	Varmeveksler	11	kg
	Radiator		2 873	kg	222 244
	Energimåler		2	kg	714
	Pumpe		40	kg	1 410
	326 Isolasjon av varmeinstallasjoner	Rørskål	22	m ³	4 727
		m/aluminiumsfolie			

Tabell 5.8: Resultat for 33 Brannslukking

Bygningsfag	Bygningsdel	Komponent	Mengde	Enhet	GWP [kg CO ₂ e]
33 Brannslukking	331 Installasjon for manuell brannslukking med vann	Brannpost	575	kg	6 120
		332 Installasjon for brannslukking med sprinkler	Rør, stål	6 200	m
	Rørdel, stål		8 998	kg	109 428
	Rørdel, plast		89	kg	1 086
	Sprinkler		2 786	stk	3 853

Tabell 5.9: Resultat for 35 Varmepumpe- og kuldeinstallasjoner

Bygningsfag	Bygningsdel	Komponent	Mengde	Enhet	GWP [kg CO ₂ e]
35 Varmepumpe- og kuldeinstallasjoner	352 Installasjoner for kjøling av fryserom	Rør, rustfritt	1 137	m	25 588
		Rørdel, rustfritt	5 648	kg	2 865
		Rørdel, stål	410	kg	4 996
	354 Installasjoner til kjøling og varme for industri og produksjon	Div. ventiler	312	kg	14 930
	356 Installasjoner for oppvarming og kjøling i bygg	Varmepumpe	3 000	kg	116 223
		Kondensisolasjon i cellegummi	14	m ³	7 988

Tabell 5.10: Resultat for 36 Luftbehandling

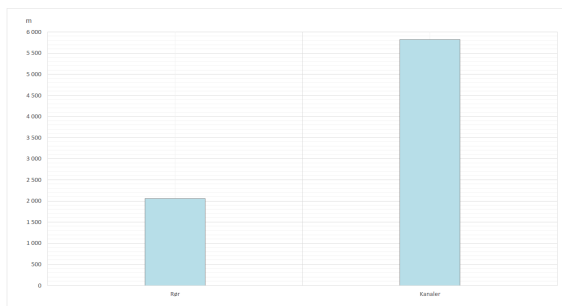
Bygningsfag	Bygningsdel	Komponent	Mengde	Enhet	GWP [kg CO ₂ e]
36 Luftbehandling	362 Kanalnett for luftbehandling	Sirkulær kanal	5 679	m	166 196
		Rektangulær kanal	143	m	48 110
		Sirkulær kanal del	12 317	kg	71 093
		Rektangulær kanal del	6 086	kg	67 123
	364 Utstyr for luftfordeling	Tilluftsventil	6 856	kg	57 430
		Avtrekksventil	122	kg	1 070
		Spjeld	5 898	kg	254 180
		Brannspjeld	2 756	kg	40 443
		Lyddempere	2 574	kg	10 938
		Inspeksjonsluke	642	kg	3 708
		Avtrekkshette	482	kg	10 520
		365 Utstyr for luftbehandling	luftbehandlingsaggregat	25 362	kg
	366 Isolasjon av installasjon for luftbehandling	Luftfilter	22	stk	156 200
		Etttervarmebatteri	6	kg	167
		Inntak og avkast, uten og m/vifter	1 570	kg	19 884
		Lamellmatte	90	m ³	6 042
		Kondensisolasjon	30	m ³	3 749
		Branmatte	6	m ³	1 170

Tabell 5.11: Resultat for 37 Komfortkjøling

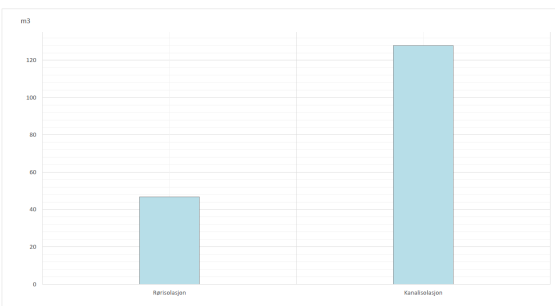
Bygningsfag	Bygningsdel	Komponent	Mengde	Enhet	GWP [kg CO ₂ e]
37 Komfortkjøling	372 Ledningsnett for komfortkjøling	Rør, rustfritt	528	m	12 739
		Rørdel, rustfritt	123	kg	673
		Rørdel, stål	52	kg	628
	374 Armaturer for komfortkjøling	Div. ventiler	204	kg	9 768
		Motorisert ventil	86	kg	4 270
	375 Utstyr for komfortkjøling	Fan coil	524	kg	18 206
		Energimåler	5	kg	1 564
	376 Isolasjon av installasjon for komfortkjøling	Kondensisolasjon i cellegummi	3	m ³	1 450

5.5.3 Vurdere materialmengde opp mot klimagassutslipp

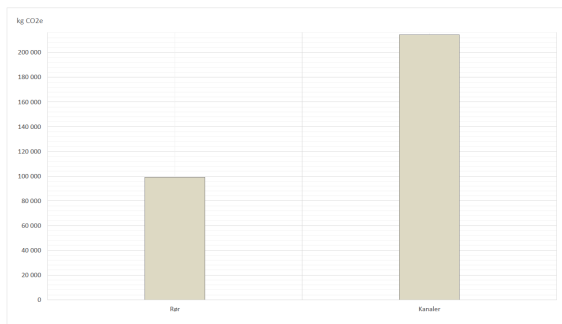
Over ble det vurdert korrelasjon mellom materialmengde og klimagassutslipp for komponenter med størst bidrag for det totale klimagassutslippet. Det gjelder komponenter som i all hovedsak har mengde oppgitt i stykk og kilogram. Her er en vurdering gjennomført for komponenter med mengde oppgitt i meter og i kubikkmeter, der materialmengde og klimagassutslipp vises figurene under³. Figur 5.5 viser mengde oppgitt i meter og figur 5.7 viser GWP, for rør og kanaler. Her kan det se ut som at det er en korrelasjon mellom klimagassutslipp og materialmengde. Videre ser vi i figur 5.6 mengde oppgitt i kubikkmeter og i figur 5.8 GWP, for rørisolasjon og kanalisolasjon. Her korrelerer ikke klimagassutslipp og materialmengde. For isolasjon av rør er det i større grad tatt i bruk kondensisolasjon i cellegummi, som har et betydelig større golbalt oppvarmingspotensial sammenlignet med andre infasjonsmaterial brukt i Voldsløkka skole.



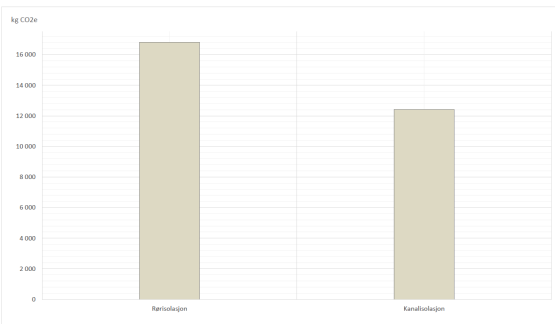
Figur 5.5: Materialmasse, meter



Figur 5.6: Materialmasse, kubikkmeter



Figur 5.7: Golbalt oppvarmingspotensial

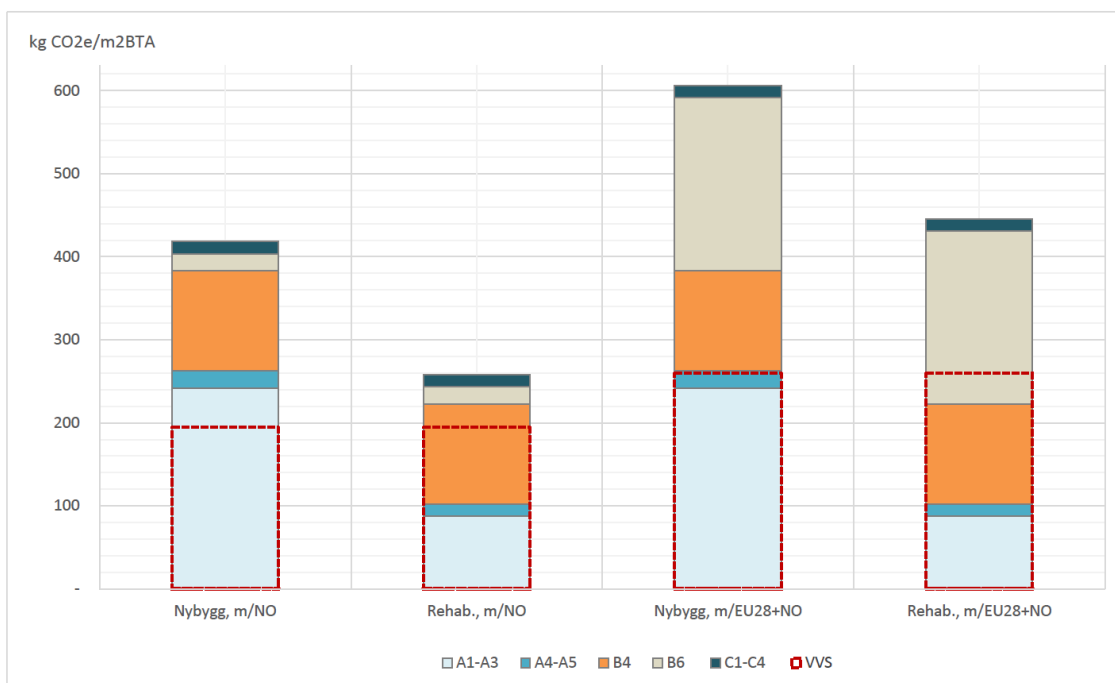


Figur 5.8: Golbalt oppvarmingspotensial

³Verdiene er skrevet i litt liten font, men det viktige her er å illustrere svak eller sterk korrelasjon mellom klimagassutslipp og materialmengde.

5.5.4 Globalt oppvarmingspotensial for Voldsløkka skole

For å vurdere betydningen av klimagassutslipp fra VVS-installasjoner, sammenlignes resultatene for de primære livssyklusvurderingene utført, med LCA-resultater fra resterende bygningsmasse. I figur 5.9 presenteres resultatene av beregningene. Her presenteres det fire scenarier, der bidraget fra VVS-installasjoner er indikert med en stiplet rød linje. I de fire scenariene inngår det to scenarier som er for forskjellige energimikser ved beregning av B6, og to forskjellige scenarier for bygningsmassen som skal representere nybygg og rehabiliteringsprosjekt. For scenario 1) står klimagassutslipp fra VVS-installasjoner for 46 % av et nybygg og 75 % av det tenkte rehabiliteringsprosjektet. Tilsvarende for scenario 2) står klimagassutslipp fra VVS-installasjoner for henholdsvis 43 og 58 %. Fra litteraturstudien ble det funnet at effekten klimagassutslipp fra VVS-installasjoner lå et sted mellom 13 og 36 %, avhengig av omfang og systemgrensen for studien.



Figur 5.9: Klimagassutslipp for Voldsløkka skole, for fire scenarier

5.5.5 Vurdering av resultatene for bygningskropp

Det er knyttet usikkerhet til hvor representative resultatene av den forenklete modellen for bygningskroppen er, og det er derfor hensiktsmessig å gjennomføre en vurdering av disse resultatene. Dette er gjort ved å sammenligne resultatene opp mot resultat fra tidligere studier. Det finnes gode studier for klimagassutslipp av bygningsrammen av et bygg. Blant dem er ZEN Rapport No. 24 av Wiik et al. fra 2020, som ble inkludert i litteraturstudien [10]. I rapporten bygges det opp referanseverdier for klimagassutslipp for bygningsmaterialer, basert på 130 innhentede prosjekter. Rapporten vurderer flere bygningskategorier, og man kan hente ut referanseverdier for skolebygning. Rapporten tar for seg hele bygningen. For å vurdere hvor representativt resultat fra Carbon Designer i One Click LCA av bygningskroppen er, vurderes det opp mot resultat fremlagt i ZEN Rapport No. 24. Funksjonell enhet er satt til 1 m² over BRA over 60 år, og utfører beregninger for livsløpsmodulene A1-A3 og B4. Resultatene fra denne oppgaven regnes om fra 1 m² over BTA til 1 m² over BRA. Dette er ikke en optimal sammenligning da systemgrense av studiene avviker noe fra systemgrense for denne oppgaven. Det gir likevel en indikator på i hvilken grad resultat fra denne studien avviker fra referanseverdier for skolebygg.

Fra tabell over livssyklusmoduler A1-A3 og B4 i referansefasen har skolebygg som nybygg et klimagassutslipp på 6,1 kg CO₂/m²BRA/år [37, s. 38]⁴. For rehabilitering er dette utslippet på 5,4 kg CO₂/m²BRA/år. Dette gjelder bygningsfagene 21-78. Beregningene er utført for hele bygningen, og i et gjennomsnitt fra alle byggene står bygningskroppen alene for 51 % av utslippet. I tabell 5.12 presenteres det en sammenligning av GWP og prosentandel knyttet til VVS-installasjoner. For livløpstadiene A1-A3 og B4 ved nybygg står utslipp fra VVS-installasjoner for 47 % fra denne oppgavens resultater, og 48 % i henhold til ZEN rapporten. For rehabilitering er det større forskjell mellom resultat fra denne oppgaven og referanser fra ZEN. Andel klimagassutslipp er da henholdsvis 81 % og i henhold til referanseverdier fra ZEN 56 %.

Tabell 5.12: Klimagassutslipp av bygningskropp for skolebygning [kg CO₂e/m² BRA]

Opphav	Livsløpsmoduler	Nybygg	Rehabilitering	Kommentar
Resultat fra Carbon Designer	A1-A3 + B4	248	51	Kun bygningskropp
ZEN REPORT No. 24 [37, s. 38]	A1-A3 + B4	233	165	Kun bygningskropp
Resultat fra Carbon Designer	A1-A3 + B4	47 %	81 %	knyttet til VVS
ZEN REPORT No. 24	A1-A4 + B4	48 %	57 %	knyttet til VVS

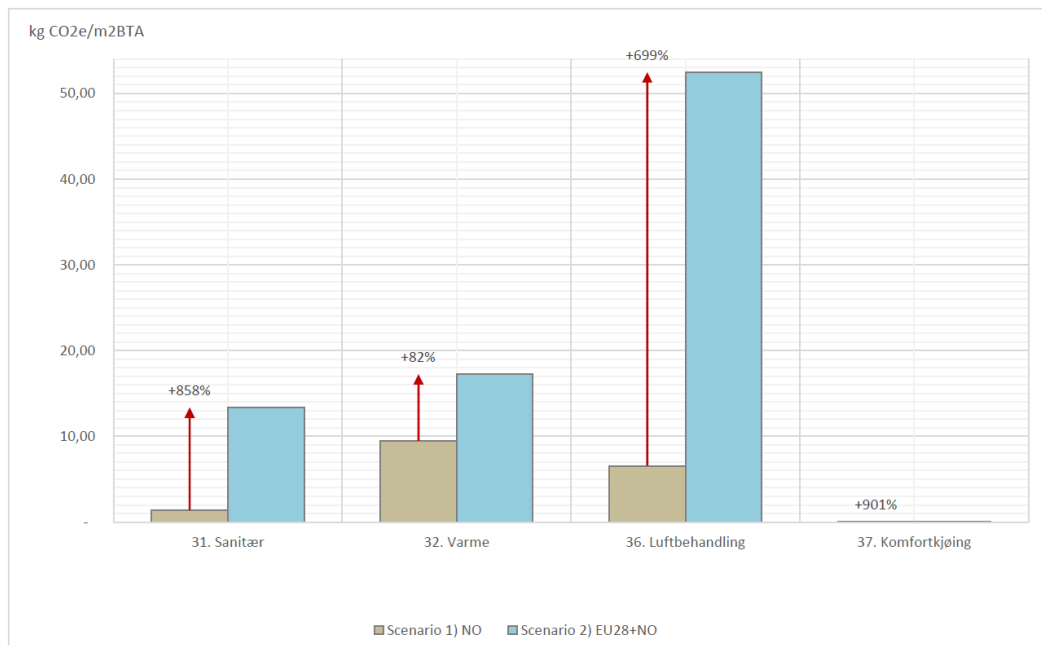
⁴Etter rapportens anbefaling er medianverdier brukt, da det skal være mer representativt.

5.5.6 Følsomhetsanalyse av energimiks for B6

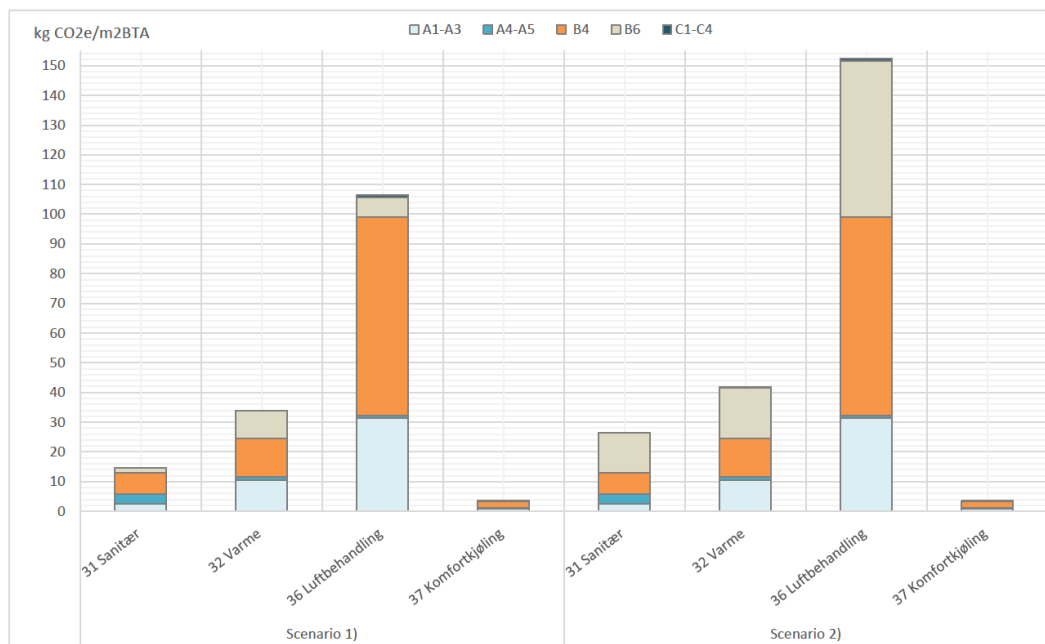
Hvor robuste resultatene fra en LCA er kan iht. NS 3720:2018 vurderes ved å gjennomføre følsomhetsanalyser. Resultatetenes robusthet blir vurdert ved å se hvor følsomme resultatene er i forhold til variasjon i datagrunnlaget og valg av forutsetninger. Det skal i henhold til standarden gjennomføres for de områdene som bidrar mest til det totale klimagassutslippet. For denne studien er det vist at valg av energimiks for B6, energibruk i drift, utgjør store endring for det totale klimagassutslippet for Voldsløkka skole. Det kan argumenteres for at resultatene er følsomme for valg av energimiks. Ved å studere figur 5.4 fra kapittel 5.5.1 ser man en ujevn effekt av endring i B6 for de forskjellige bygningsfagene. Det er derfor gjennomført en følsomhetsanalyse for å undersøke variasjonen av følsomhet for de berørte VVS-fagene. Dette gjelder bygningsfagene 31 Sanitær, 32 Varme, 36 Luftbehandling og 37 Komfortkjøling. Bygningsfaget 33 Brann har levert energi lik null i henhold til SIMIEN-beregningen. I figur 5.10 presenteres klimagassutslipp for livsløpsmodulen B6 for begge energimiks- scenariene for de relevante bygningsfagene. Det er lagt ved en rød pil som indikerer endring fra scenario 1) med norsk energimiks til scenario 2) med energimiksen EU28+Norge. Over pilen er det lagt ved økningen presentert i prosent.

Figur 5.10 viser at B6 for bygningsfaget 32 Varme i mye mindre grad enn de andre fagene er følsom for endringer av energimiks. Klimagassutslippet for B6 har også signifikant lavere endring for faget 36 Luftbehandling, enn for 31 Sanitær og 37 Komfortkjøling. Variasjonen i endringen henger sammen med i hvilken grad energibruk i drift er dekket av elektrisitet eller fjernvarme. For de berørte VVS-fagene er det kun 37 Komfortkjøling som dekkes av 100 % elektrisitet fra nettet. For de resterende fagene er energibruk i drift dekket av både elektrisitet og fjernvarme. Dekningsgraden varierer mellom H-bygget og S-bygget. For H-bygget er energi levert for å dekke oppvarmingsbehovet dekket av ca. 22 % fjernvarme og 78 % elektrisitet. For S-bygget er all levert energi for romoppvarming og varmebatteri fra fjernvarme, og levert energi til tappevann (varmtvann) er dekket av 14 % fjernvarme og 86 % elektrisitet. Tappevann inngår i faget 31 Sanitær. I faget 32 Varme inngår romoppvarming. I begge fagene inngår i tillegg levert energi til pumpedrift fordelt henholdsvis 66,6 og 33,3 % etter antall pumper per fag oppgitt i materialuttaket. Varmebatteri inngår i bygningsfaget 36 Luftbehandling, her inngår også levert energi for kjølebatteri og viftedrift.

I figur 5.4 fra kapittel 5.5.1 er klimagassutslipp for alle VVS-fagene presentert, etter begge scenariene av B6. Figur 5.4: følsom² utsnitt, med kun bygningsfagene 31 Sanitær, 32 Varme, 36 Luftbehandling og 37 Komfortkjøling. Figuren viser at bygningsfaget 31 Sanitær er mest følsomt for endringen av energimiks, med en økning i klimagassutslipp på 82 %. Etterfulgt kommer 36 Luftbehandling med en økning på 43 %. For 32 Varme og 37 Komfortkjøling er økningen på henholdsvis 23 og 2%. Hvor følsomt det totale klimagassutslippet er, avhenger som vist av dekningsgrad av energikilder.



Figur 5.10: Klimagassutslipp fra energibruk i drift, scenario 1) og 2).



Figur 5.11: Klimagassutslipp for bygningsfag 31, 32,35 og 37, scenario 1) og 2).

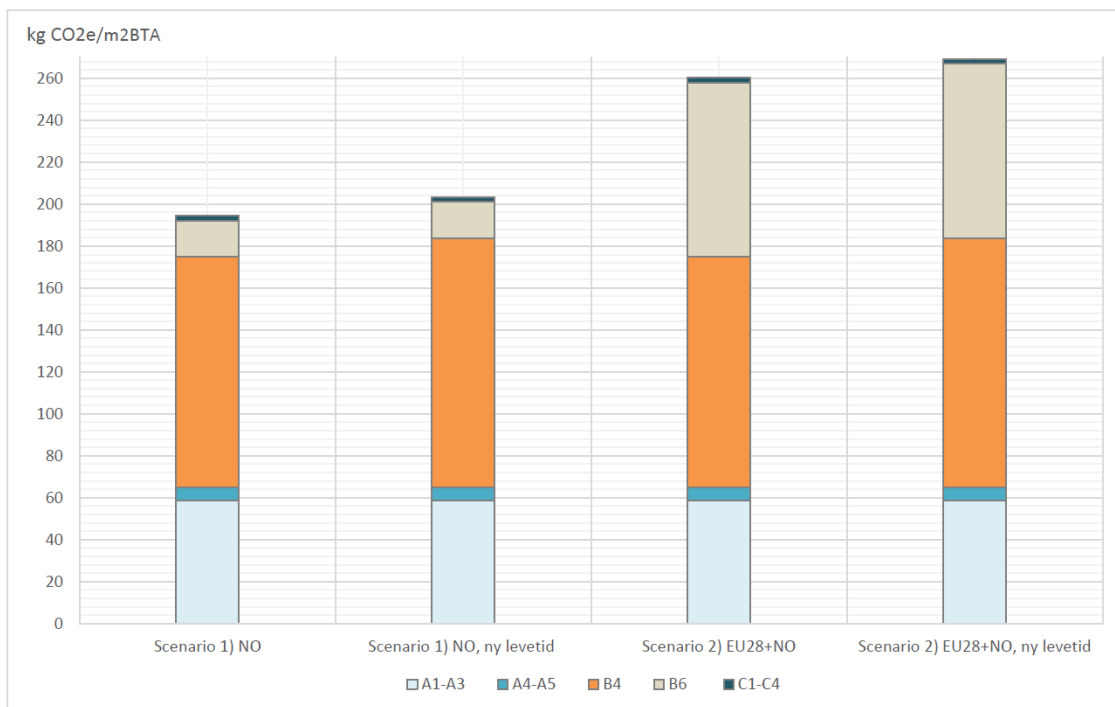
Ettersom lavere energibruk medfører lavere sårbarhet for energimiks vil også bruk av varmepumpe være aktuelt å diskutere i denne følsomhetsanalysen. På Voldsløkka skole benyttes det varmepumpe til å dekke store deler av varmebehovet. Det medfører generelt lavere energibruk i drift fra elektrisitet enn om varmebehovet var dekket direkte av elektrisitet. På den måten kan det argumenteres for at dette gjør bygget mindre sårbart for valget av energimiks.

5.5.7 Følsomhetsanalyse av levetid for luftbehandlingsaggregat

Resultatetenes robusthet er vurdert ved å se hvor følsomme resultatene er i forhold til variasjon i datagrunnlaget og valg av forutsetninger. Det skal i henhold til standarden gjennomføres på de områdene som bidrar mest til det totale klimagassutslippet. Bygningsfag 36 Luftbehandling er faget med størst bidrag og står for over halvparten av det totale klimagassutslippet fra VVS- installasjoner for Voldsløkka skole. Luftbehandlingsaggregat står for 24 til 34 % av det totale globale oppvarmingspotensialet, avhengig av valg av energimiks. Samtidig er det usikkerhet rundt forutsetning av levetid for aggregat. Det finnes ikke levetid for ventilasjonsaggregat i EN 15459-1:2017 AnnexD [30]. Det er derfor blitt benyttet maksimal forventet funksjonell levetid hentet fra rapporten “Levetider i praksis - Prinsipper og bruksområder” fra 2009 av Multiconsult [31]. Det er en levetid på 20 år for aggregat. For å vurdere hvor robuste resultatene er kan det være hensiktsmessig å gjennomføre en følsomhetsanalyse av aggregatenes levetid.

Ved å gjennomføre beregningen av VVS-installasjonene, og kun endre levetiden for luftbehandlingsaggregat, vil det komme frem hvor stor effekt dette har på resultatene. Levetiden for aggregatene i beregningene over er satt til å være 20 år. I beregningene her blir levetiden endret til minimal forventet funksjonell levetid for aggregat, som er 16 år [31]. Levetiden for komponentene har betydning for beregning av utslipp knyttet til utskiftning, B4. Med en estimert levetid for bygget på 60 år, vil aggregatene måtte byttes ut to ganger med en levetid på 20 år. Med en levetid på 16 år økes dette til 2,75 utskiftninger i løpet av byggets levetid. Figur 5.12 viser resultatet av beregningene.

Fordi man iht. NS 3720:2018 skal utføre beregninger av LCA basert på to energimiks scenarier, utføres også disse beregningene for begge energimiks-scenariene. Ved scenario 1) med energimiks fra Norge, er globalt oppvarmingspotensial for VVS-installasjonene 194,44 kg CO₂e/m² BTA og med ny levetid for luftbehandlingsaggregatene økes det til 203,40 kg CO₂e/m² BTA. For scenario 2) med energimiks EU28+Norge, er det globale oppvarmingspotensialet for VVS-installasjonene på 260,15 kg CO₂e/m² BTA, og øker til 269,12 kg CO₂e/m² BTA med den nye levetiden. Mer presist: Ved å senke levetiden for aggregat med fire år, øker det totale klimagassutslippet for VVS-installasjonen med 4,6 % for scenario 1), og 3,4 % for scenario 2). Resultat fra denne følsomhetsanalysen viser at LCA-resultat av VVS-installasjoner er sårbare for endring i levetid.



Figur 5.12: GWP for VVS-installasjoner, med og uten endret aggregatlevetid, scenario 1) og 2).

5.6 Resultat og diskusjon for mål I - del 2

Livsløpsvurderingen av et casebygg er utført for å oppfylle mål I, mål II og mål III. Oppfyllelse av mål III vil bli diskutert i kapittel 6. Nå presenteres resultat relevant for å oppnå mål I, og resultat relevant for mål II presenteres i neste delkapittel. Mål I for denne oppgaven omhandler å kartlegge dagens kunnskapsgrunnlag. Målet oppfylles ved å kartlegge tidligere studier i kapittel 4, og ved å innhente erfaring fra den gjennomgåtte livsløpsvurderingen av VVS-installasjoner i Voldsløkka skole. Dette er derfor andre del av en vurdering av dagens kunnskapsgrunnlag, der første del ble presentert i delkapittel 4.4.

Erfaringen fra denne LCA-studien er at arbeidet er tidkrevende, og tilgjengelig miljødata er begrenset. Bearbeiding av materialgrunnlag fra BIM-modeller kan være omstendelig, fordi produktdata ikke blir oppgitt i en egnet enhet, og vekten må letes fram i produktdatablad. Egen erfaring bekrefter videre et mangelfullt antall EPDer for VVS-komponenter. Per dags dato er det på den norske programoperatører for miljødeklarasjoner, EPD Norge, 1 644 miljødeklarasjoner (EPDer) innen bygg, der fem av dem er EPDer for ventilasjonsprodukter. I første kvartal av 2022 ble først EPD for luftbehandlingsaggregat lansert på EPD Norge. Dette medfører et behov for alternative løsninger

for å finne representative miljødata. Her kunne en mer detaljert prosedyre for gjennomføring av LCA for VVS-installasjoner vært hjelpsomt. Etter arbeid med denne studien er opplevelsen at kunnskapsgrunnlaget for LCA av VVS-installasjoner er svakt, og at det er behov for bedre prosedyrer og flere EPDer.

5.7 Resultat og diskusjon for mål II

Mål II for denne oppgaven er å analysere klimagassutslipp fra VVS-installasjoner, med den hensikten å fremlegge representative referanseverdier. Her inngår også ønsket om å presentere en grundig gjennomgang av VVS-installasjoners helhetlige klimagassutslipp, og dets bidrag til det totale klimagassutslippet for bygg.

I delkapittel 5.3.2 ble det argumentert for at resultater fra denne studien kan vurderes som referanseverdier for nye skolebygninger. Fra denne studien representerer VVS-installasjoner et klimagassutslipp på 194,44 kg CO₂e/m² BTA ved bruk av norsk energimiks og 260,15 kg CO₂e/m² BTA ved bruk av energimiksen EU28+Norge. På lik linje med tidligere studier, blir det i denne studien funnet at store deler av klimagassutslipp fra VVS-installasjoner skyldes utskiftning og energibruk i drift. Rundt 49 % av dette utslippet er knyttet til utskiftning av komponenter, B4. Etter utskiftning gir enten produksjonsfasen C1-C4 eller energibruk i drift B6 størst bidrag til det totale utslippet for VVS-installasjoner. Her avhenger det av scenario for energimiks.

Ved begge scenarier av energimiksen står bygningsfaget 36 Luftbehandling for over halvparten av klimagassutslippet er fra VVS-installasjoner. Avhengig av valg av energimiks er 24 til 40 % av dette utslippet knyttet til ventilasjonsaggregat. Utslippet korrelerer med materialmengde. Andre komponenter med stor materialmengde og stort bidrag til det totale klimagassutslippet fra VVS-installasjoner er stålrør med rørdeler, kanakler med kanaldeler og radiatorer. For komponentene spjeld, varmpumpe, fordelere og luftfiltre, ser man også et stort bidrag til det totale klimagassutslippet fra VVS-installasjoner. Her er det en korrelasjon mellom utslipp og kort levetid for komponenten. Luftfiltre skiller seg ut med en levetid på 1 år. Likt med Kiamili et al. viser dette studien at bare utskiftning av luftfiltre i bruksfasen har et godt bidrag til det totale utslippet knyttet til VVS-installasjoner [45]. Det er funnet at kun utskiftning av luftfiltre gir et bidrag på 6 % av det totale klimagassutslippet for VVS-installasjoner.

Når det kommer til å presentere VVS-installasjoners effekt på klimagassutslipp fra et nybygg og et rehabiliteringsprosjekt, er det blitt presentert resultat fra beregninger av bygningskroppen i Carbon Designer. For et nybygg står klimagassutslipp fra VVS-installasjoner for 43 til 46 %,

avhengig av scenario for energimiks. Andelen øker til 58 og 75 % ved rehabiliteringsprosjekter. Det er også blitt presentert resultat over livsløpsstadiene A1-A3 og B4, der resultat fra denne oppgaven er vurdert opp mot referanserverdier fra ZEN Rapport No. 24. For et nybygg står da klimagassutslipp fra VVS-installasjonert for 47 til 48 %, avhengig av referanse for bygningskroppen. Denne andelen øker til 57 til 81 % ved rehabiliteringsprosjekter. For et nybygg varierer bidraget fra VVS-installasjoner fra 43 til 48 %. For rehabiliterings- prosjekt står klimagassutslipp knyttet VVS-installasjoner for mellom 57 og 81 %. For nybygg er det ikke betydelig variasjonen mellom resultatene fra de forskjellige beregningsmetodene og scenariene, derimot er det mer usikkerhet knyttet til resultat for rehabilitering.

6 Analyse av prosedyrer

Tredje mål for oppgaven er å utvikle en egnet prosedyre for livsløpsvurdering av VVS-installasjoner. Byggenæringen etterspør kunnskap knyttet til gjennomføring av metoder for LCA og bruk av EPDer knyttet til VVS-fagene. Det er et ønske at resultatet av mål III skal kunne bidra til å tilgjengeliggjøre livsløpsvurdering av VVS-installasjoner. For å oppnå målet vil det i dette kapittelet analyseres alternative prosedyrer og fremgangsmåter. Kunnskapsgrunnlaget opparbeidet fra litteraturstudien og casestudien danner utgangspunkt for legge frem et forslag om hvordan LCA av VVS-installasjoner kan gjennomføres. Først presenteres en systematisk gjennomgang av prosedyre for LCA-utførelsen funnet i litteraturen. Videre presenteres en kvalitativ gjennomgang av prosessen for egen utførelse av LCA. Det blir også presentert beregningsverktøy som ble vurdert, men av forskjellige årsaker ikke brukt. Kapittelet avslutter med at det legges frem et forslag til en egnet prosedyre, utvirket gjennom erfaring og denne analysen.

6.1 Prosedyrer fra tidligere studier

I litteraturstudien kom det frem et spekter av forskjellige prosedyrer valgt får å gjennomføre LCA-studier. Tabell 6.1 viser en kortfattet oversikt over de forskjellige fremgangsmåtene brukt i studiene fra litteraturstudien.

Tabell 6.1: Oversikt over prosedyrer brukt i litteraturen

Forfatter	Metode for datainnsamling	Beregningsmetode for LCA	Ref.
García-Sanz-Calcedo et al.	Hentet fra prosjektdatablad, og kontrollert mot reelt bygg. Miljødata hentet fra databasen BEDEC.	Manuell beregning	[34]
Hoxha et al.	Hentet fra prosjektbeskrivelser og samtale med byggeleder. Miljødata hentet fra databasen BEDEC.	LCA-programvare SimaPro v.8.	[35]
Kjeken I.	Henter fra BIM-modell og funksjonsbeskrivelser, Generisk og EPD miljødata	OneClick LCA bearbeidet i excel	[32]
Kiamili et al.	BIM-basert LCA-regnskap, m/ VPL Dynamo		[36]
Wiik et al.	Metaanalyse - div. verktøy (One Click LCA, SimaPro, Arda og bLCAd (verktøy utviklet på NTNU), ZEB-regneark (Excel-basert).)		[37]
Ylmen et al	Materialdata tildelt fra entrepenører	LCA-forsøkt utført basert på EPD-miljødata	[6]
Passer et al.			[38]
Chen et al.	Basert på prosjektdatablad og tidligere studier	Manuell beregning basert på tidligere studier	[39]

Metoden for LCA er basert på forskjellige internasjonale, europeiske og nasjonale standarder. Prosedyrer for gjennomføring er likevel svært forskjellige. For materialuttak ble det funnet følgende fremgangsmåter:

- Materialdata tildelt komplett
- Materialdata er tildelt og må bearbeides
- Innhente data fra BIM-verktøy
- Bygge opp BIM-skript for LCA-beregninger

Miljødata kunne bli hentet fra programoperatører for miljødeklarasjoner. Det var flere som benyttet seg av databaser som Ecoevent. Beregning av LCA utføres manuelt i Excel, eller med et LCA-verktøy. Blant LCA-verktøy tok flere i bruk One Click LCA og SimaPro. Relativt få studier baserte LCA-studien på EPDer alene. I tabell 6.2 er det forsøkt å generaliserer de metodiske fremgangsmåtene for LCA funnet i litteraturstudien.

Tabell 6.2: En generalisering av LCA-fremgangsmåter

	Produktdata	Miljødata	Datakvalitet	Livsløpsregnskap
Manuelt	Hente material, mengde og funksjon manuelt	Generisk, EPD-basert	Generisk og/eller produktspesifikt	f.eks Excel
Programvare	Programvare (BIM)	Programvare m/miljødatabase	Generisk og/eller produktspesifikt	Programvare (BIM/LCA-verktøy)

6.2 Prosessen for LCA-studien

I dette delkapittelet gjennomgås prosessen for gjennomførelse av livsløpsvurderingen av et casebygg i denne oppgaven. Prosessen for å gjennomføre en LCA-studie av Voldsløkka skole har vært omfattende. Det har dermed blitt opparbeidet et stort grunnlag for diskutere gode og dårlige prosedyre for LCA-studier. Fremgangsmåter som ble prøvd ut i løpet av denne prosessen, er alle basert på omfang og grensesnitt for oppgaven. Hensikten har vært å utføre en grundig LCA fra vugge-til-grav for VVS-installasjoner. For å kunne vurdere resultatene opp mot hele byggets klimagassutslipp, har det også blitt vurdert hensiktsmessig å gjennomføre en mindre detaljert LCA av bygningskroppen. LCA for bygningskroppen er over samme livsløpsstadier og har samme funksjonell enhet.

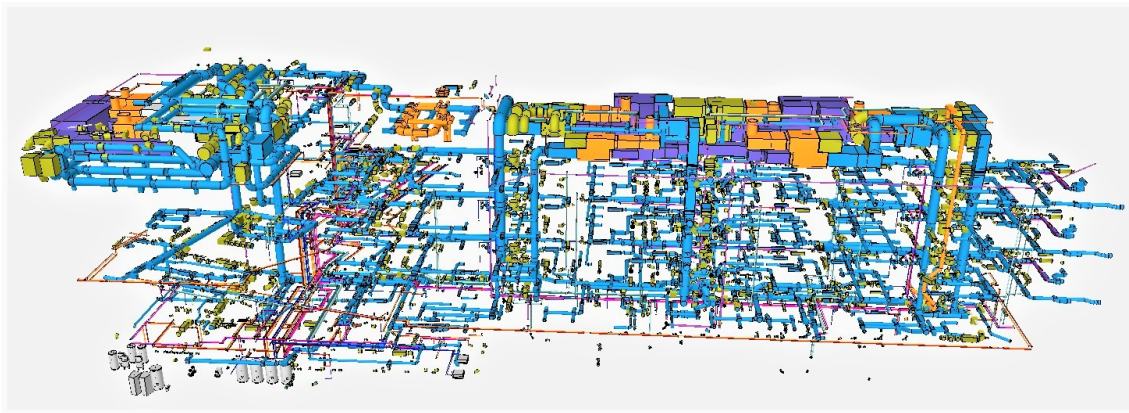
6.2.1 Beregningsverktøy som ble vurdert lite hensiktsmessig

Materialuttak ble i første omgang levert som IFC-filer. Et materialuttak med å bruke BIM-verktøyet Solibri, ble vurdert og så gått bort i fra grunnet bedre veiledning og tilkobling til One Click

LCA, med BIM-verktøyet Simple BIM. Det var dermed tenkt å bearbeide filene i Naviate Simple BIM 2019. Med en One Click LCA plug-in, kan man med et klikk overføre materialdata fra Naviate Simple BIM til One Click LCA. Dessverre gjenkjenner ikke Naviate Simple BIM materialer for VVS-installasjoner. Dette verktøyet ble derfor tilsidesatt med tanke på VVS-komponenter. Bearbeiding og beregninger av VVS-komponenter er da heller gjennomført i Excel.

Naviate Simple BIM, med One Click LCA plug-in, ble videre benyttet for å utføre en LCA vurdering av resterende bygningsmasse. Etter mye arbeid og lite hell, ble dette arbeidet vurdert for omfattende ved siden av den grundige LCA-studien for VVS-installasjoner. Det bør nevnes at for en VVS-student kan det være noe krevende å sette seg inn i bygningskomponenter for bygningskroppen, om man ikke på forhånd har god kjennskap til byggematerialere.

Videre kan det diskuteres hvor godt et LCA-studie vil være basert på en IFC-filer fra Revit. I prosessen ved å endre filformatet, vil ikke alle komponenter fra originalfilen bli gjenkjent. Jo flere slike overganger, desto mindre robust vil resultatet være. Figur E.1 er et eksempel på dette, der man kan se flere “hull” i kanal- og røranlegg.



Figur 6.1: Eksempel på en ukomplett IFC-fil hentet fra Revit.

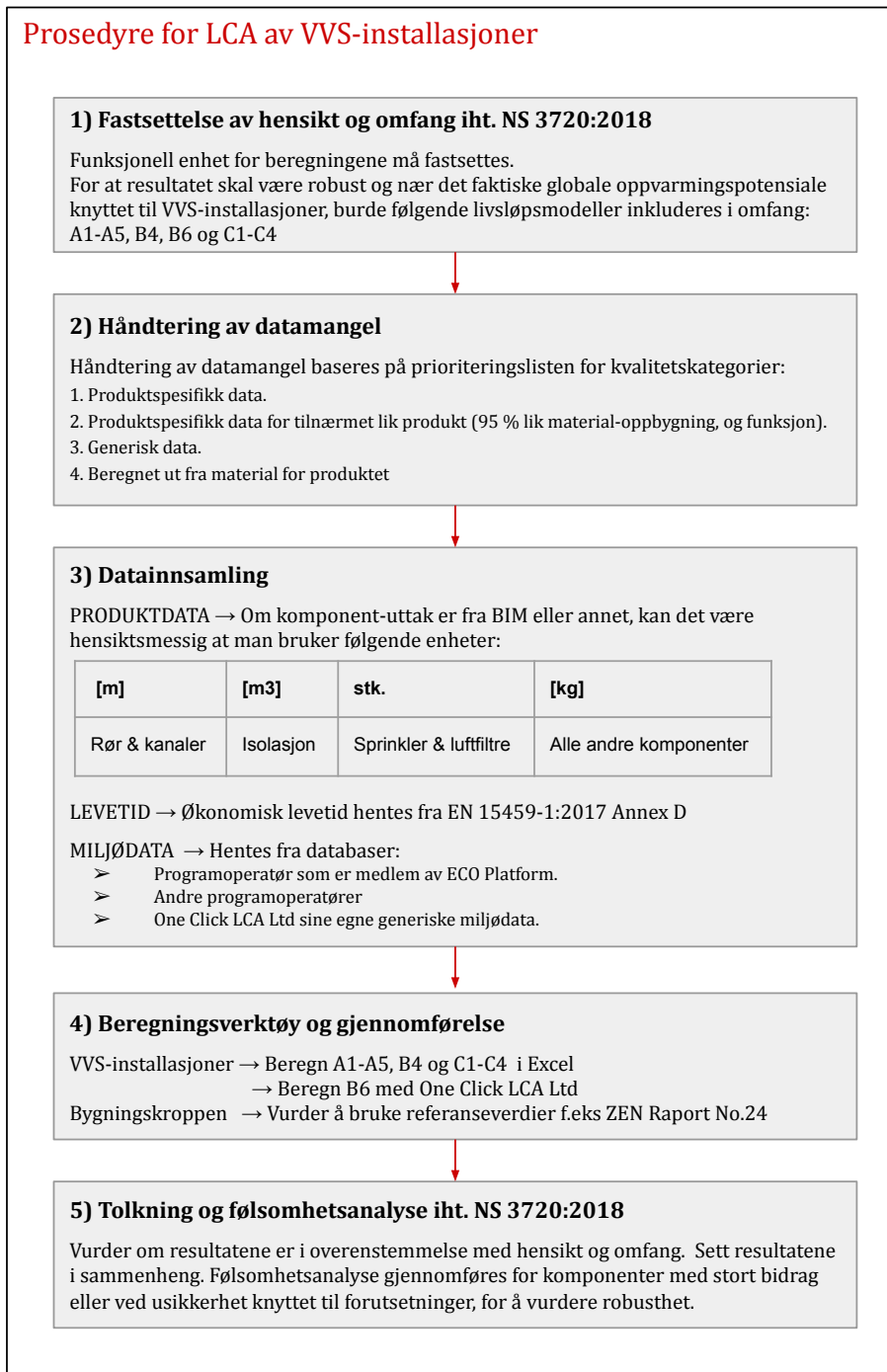
Andre verktøy og databaser som er blitt vurdert er LCA-verktøyet SimaPro og Ecoinvent-databasen. Mangel på tilgang førte til at programvare og database ikke ble tatt i bruk.

6.2.2 Observasjoner fra egen prosess av LCA for VVS-installasjoner

For beregning av klimagassutslipp fra VVS-installasjoner, er det i denne oppgaven brukt et regneark i Excel. Regnearket er bygget opp etter livsløpsfasene for LCA iht. NS 3720:2018. Det kan være behov for å benytte flere beregningsark, da for eksempel materialuttaket fra en BIM-modell er omfattende, og bearbeiding av dette uttaket kan være noe omstendelig. Innsamling av produktdata og miljødata er et tidskrevende arbeid. Fordi det er snakk om et stort antall produktdata og miljødata, kan det være nødvendig å strukturere alternative tilnæringsmetoder, og bygge opp en prioriteringsliste for grad av kvalitet på innsamlingsmetode. I denne oppgaven er det gjennomført ved å lage en liste over kvalitetskategorier, se 5.2.2. Beregninger av B6 var hensiktsmessig å utføre med One Click LCA. For bygningskroppen viser en vurdering av resultat fra Carbon Designer i One Click LCA opp mot referanseverdier fra ZEN Rapport No. 24 [37] lite forskjell på resultat for nybygg. Det burde derfor vurderes å bruke referanseverdier fra ZEN, da det er mindre tidskrevende. For LCA-vurdering av bygningskroppen ligger det noe usikkerhet knyttet til resultatene, da det var stor forskjell på resultat fra Carbon Designer og referanseverdi fra ZEN-rapporten. Det kan være hensiktsmessig å gjøre vurderinger av hvilke forutsetninger og beregninger som blir gjort i Carbon Designer, dersom man skal bruke dette verktøyet for å beregne klimagassutslipp for bygningskropp ved rehabiliteringsprosjekt.

6.3 Resultat for mål III

Tredje mål for oppgaven er å utvikle en egnet prosedyre for livsløpsvurdering av VVS-installasjoner. Gjennom arbeidet med denne oppgaven er det opparbeidet et kunnskapsgrunnlag fra litteraturstudien og casestudien, og en forståelse for prosess for LCA av VVS-installasjoner. Det er dannet utgangspunkt for legge frem et forslag til en egnet prosedyre for LCA av VVS-installasjoner. Denne er presentert i figur 6.2.



Figur 6.2: Prosedyre for LCA av VVS-installasjoner.

7 Usikkerhetsvurdering

I all forskning finnes usikkerheter, og med et så omfattende arbeid som gjennomføres her, er det flere kilder til usikkerhet. I dette avsnittet er det forsøkt å tydeliggjøre all usikkerhet som ligger bak arbeidet i denne oppgaven.

I kapitlet for litteraturstudien er det blitt tydeliggjort hvilke antagelser og forutsetninger som ligger til grunn for utførte analyser, og hvordan dette påvirker resultatene tyngde. Funn kan også være preget av bruk av feil søkeord, eller for få eller ikke brede nok søk i litteratursøket. Relevant litteratur funnet i denne oppgaven ikke er en fullstendig oversikt over tidligere forskning på feltet.

For usikkerhet ved LCA-studien må det først nevnes at et uttak fra Revit er en god, men ikke perfekt løsning, for å samle alle VVS-komponenter fra et bygg. Et uttak fra Revit vil kunne mangle komponenter som ikke er «lesbare», og vil kun kunne gi oversikt over komponenter tegnet i modellen. Presisjonen i studien er bare så god som dataene som er gitt. Flere komponenter er tegnet inn i Revit som generiske produkt, og mangler spesifikk produktdata. Det har ført at noe produktdata er basert på antagelser. Det har også vært behov for å omregne enheten for komponent fra uttaket, der for eksempel materialmengden for rørbend er gitt i stk og man trenger vekt. Denne prosessen er utdypet i kapittel 6.

Der det ikke finnes EPD for en komponent har det blitt gjort antagelser for klimagassutslipp. Dette er også utdypet i kapittel 6. Det må også nevnes at flere av EPDene brukt i LCA-studien er skrevet på fransk eller tysk. Her kan det ha oppstått tolkningsfeil.

7.1 Egenkontroll av utført arbeid

For å kvalitetssikre arbeidet er det også blitt utført en egenkontroll av følgende beregninger og inndata i livsløpsregnskapet:

- Gjennomgang av materialuttak, der inventar kontrolleres opp mot beregningsark i excel.
- Kontroll av EPD, der deklartert enhet, omfang og utslipp kontrolleres opp mot beregningsark i excel.
- Kontroll av komponentenes økonomiske levetid lagt inn i beregningsark i excel.

7.2 Følsomhetsanalyse

For en LCA kan det i følge NS 3720:2018 gjennomføres følsomhetsanalyser for å vurdere beregningenes robusthet. Det kan gjøres ved å utarbeide flere scenarioer som beskriver bygningens livsløp. Følsomhetsanalysen skal gjøres for de komponentene som bidrar til størst klimagassutslipp, og med størst

parameterusikkerhet.

I kapittel 5.5 gjennomføres det vurderinger av to scenarioer for elektrisitetsforsyning. På grunn av bygningers lange levetid, innebærer antakelser om elektrisitetsforsyning også en antagelse om utslippintensiteter for fremtidige elektrisitetsforsyning, noe som betyr at dette er en faktor med betydelig usikkerhet. I tillegg er det i denne studien en faktor som bidrar betydelig til det totale klimagassutslippet. Resultatet av analysen for disse to scenarioene, viser hvor sårbar energimiksen er for totalbelastningen til VVS-installasjoner. Det er også vurdert hvilke bygningsfag som er mest sårbare for valg av energimiks. Følsomhetsanalysen viser at dette avhenger av dekningsgrad av energikilde, der større dekningsgrad av fjernvarme gir mindre sårbarhet for valg av energimiks. For Voldsløkka skole er faget 37. Komfortkjøling som dekkes 100 % av elektrisitet, mest sårbart blant VVS-fagene.

Det er også gjennomført en analyse av to forskjellige tidshorisonter for luftbehandlings-aggregat. Aggregatene utgjør i denne LCAen en betydelig andel av GWPTo for VVS-installasjoner. Samtidig er det usikkerhet tilknyttet forutsetning av levetid for aggregatene. Det er utført en følsomhetsanalyse av levetiden, der to forskjellige levetider for aggregat er blitt vurdert. Følsomhetsanalysen viser at LCA-resultatene av VVS-installasjoner er sårbare for endring av levetid for komponenter med høyt klimagassutslipp.

8 Konklusjon

Ambisjonen for oppgaven er å svare ut tre mål:

Mål I: Kartlegge kunnskapsgrunnlaget for livsløpsvurdering av VVS-installasjoner.

Mål II: Fremlegge representative verdier for klimagassutslipp fra VVS-installasjoner.

Mål III: Utvikle en egnet prosedyre for livsløpsvurdering av VVS-installasjoner.

For å oppnå målene er det utført et litteraturstudie, en livsløpsvurdering av VVS-installasjoner for et casebygg og en analyse angående prosedyrer rundt gjennomføring av LCA for VVS-installasjoner.

Mål I for denne oppgaven omhandler å kartlegge dagens kunnskapsgrunnlag. Måloppfyllelse er todelt ved kartlegging av tidligere studier, og ved å innhente erfaring fra den gjennomførte livsløpsvurderingen.

Lite uventet tyder litteraturstudien på et smalt forskningsfelt der få LCA-studier utfører LCA av VVS-installasjoner, og enda færre med en systemgrense som inkluderer alle komponenter som inngår i VVS-fagene. Videre baseres få studier på miljødata fra EPDer alene. Ut fra studiene tatt med i den "lille metaanalysen" ser man at VVS-installasjoners klimagassbidrag i stor grad avhenger av utskiftning (B4) og energibruk i drift (B6). Det totale klimagassutslippet fra kun VVS-installasjoner ligger mellom 185 og 280 kg CO₂e/m² over en estimert livstid på 60 år. Tre studier vurderer VVS-installasjoners effekt på total globalt oppvarmingspotensial for bygget, og resultatene fra de er 13 %, 33 % og 15–36 %.

Litteraturstudien i sin helhet peker på et smalt kunnskapsgrunnlag, og et fortsatt ungt forskningsfelt. Av de åtte relevante studiene analysert i denne oppgaven, er fem av dem publisert i løpet av de siste to årene. Med stadig tydeligere klimapolitikk i Europa, kan det være grunn til å tro at den akselererende trenden i forskningsfeltet vil fortsette. Per dags dato er kunnskapsgrunnlaget mangelfullt.

Fra den gjennomførte LCA-studien er det erfart at prosessen for LCA er tidkrevende, bearbeiding av materialgrunnlag er omstendelig, og tilgjengelig miljødata begrenset. Egen erfaring bekrefter at antall EPDer som finnes for VVS-komponenter er svært begrenset per dags dato. Arbeidet med LCA-studien for denne oppgaven bekrefter funnet fra litteraturstudien om at kunnskapsgrunnlaget for LCA av VVS-installasjoner er svakt, og at det er behov for bedre prosedyrer og flere EPDer. Basert på resultatene anses mål I som oppnådd. Det er grunn til å tro at det vil komme mange spennende nye bidrag til forskningsfeltet. Kartleggingen av tidligere studier kan brukes til veiledning for videre arbeid.

Mål II for denne oppgaven er å analysere klimagassutslipp fra VVS-installasjoner, med hensikten å fremlegge representative referanseverdier. Her inngår det å presentere en grundig gjennomgang av VVS-installasjoners helhetlige klimagassutslipp, og dets bidrag til det totale utslippet for bygg.

I delkapittel 5.3.2 ble det argumentert for at resultatet fra studien av Voldsløkka skole kan vurderes som referanseverdier for nye skolebygninger. VVS-installasjoner representerer et klimagassutslipp på 194,44 kg CO₂e/m² BTA ved bruk av norsk energimiks og 260,15 kg CO₂e/m² BTA ved bruk av energimiksen EU28+Norge. For et nybygg står klimagassutslipp fra VVS-installasjoner for 46 % (43 % med EU28+Norge). For rehabiliteringsprosjekter er denne andelen på 75 % (58 % med EU28+Norge). Utskiftning (B4) utgjør rundt halvparten av dette utslippet, og gir det største bidraget, etterfulgt av produksjonsfasen (C1-C4) og energibruk i drift (B6). Bruker man energimiksen EU28+Norge bytter energibruk i drift og produksjonsfasen plass.

Funnene i oppgaven viser at klimagassutslipp knyttet til luftbehandling bidrar mest til VVS-installasjoners totale utslipp, etterfulgt av varmeinstallasjoner og brannsløkking. Luftbehandling utgjør 55 % (59 % med EU28+Norge) av VVS-installasjoners totale klimagassutslipp, der ventilasjonsaggregat står for rundt en fjerdedel. Utslippet korrelerer med materialmengde. Varmeinstallasjoner bidrar med 17 % (16 % med EU28+Norge) og brannsløkking med 12 % (9 % med EU28+Norge). På komponentnivå er det største klimagassutslippet tilknyttet ventilasjonsaggregatene etterfulgt av spjeld, stålrør og radiatorer. For komponentene spjeld, varmpumpe, fordelere og luftfiltre, ser man en korrelasjon mellom utslipp og kort levetid for komponenten. Luftfiltre skiller seg ut med en levetid på 1 år. Det er funnet at kun utskiftning av luftfiltre gir et bidrag på 6 % av det totale klimagassutslippet for VVS- installasjoner.

Basert på resultatene anses mål II som oppnådd. Fra følsomhetsanalysen er det vist at resultatene er følsomme for ventilasjonsaggregats levetid. Ettersom utskiftning er såpass vesentlig for LCA av VVS-installasjoner, kan dette være verdifullt å undersøke dypere. Til videre arbeid kunne det være hensiktsmessig å studere levetider mer nøyaktig med følsomhetsanalyser for fasen B4 Utskiftning. Videre er det i denne oppgaven ikke vurdert tiltak eller mulige optimaliseringer av VVS-komponenter. De indentifiserte bidragterne fra oppgaven kan legge grunnlag for videre arbeid.

Mål III for denne oppgaven er å utvikle en egnet prosedyre for livsløpsvurdering av VVS-installasjoner. Opparbeidet kunnskapsgrunnlag fra litteraturstudien og casestudien har gitt forståelse for prosessen for LCA av VVS-installasjoner. Dette danner grunnlaget for å legge frem et forslag til en egnet prosedyre for LCA av VVS-installasjoner. Denne er blitt lagt frem i figur 6.2, i kapittel 6. Basert på resultatene anses mål III som oppnådd. Den fremlagte prosedyren er å anse som et utgangspunkt der det er naturlig med videreutvikling og tilpasninger i fremtiden.

8.1 Videre arbeid

Denne oppgaven kan brukes som grunnlag for videre arbeid innen livsløpsvurdering av VVS-installasjoner. Under er det listet opp forslag til hva som kan inngå i slik arbeid.

- Kartlegge reelle klimagassutslipp knyttet til levetid, vedlikehold og utskifting.
- Vurdere tiltak eller mulige optimaliseringer av VVS-installasjoner.
- Videreutvikle prosedyre for LCA av VVS-installasjoner.

Referanser

- [1] FN. "Parisavtalen." (2020), adresse: <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen>. (Lastet ned: 06.12.2021).
- [2] F. N. Rasmussen, "Low-Carbon Building Design in Danish Method and Practice: assessing and lowering life cycle greenhouse gas emissions from residential buildings," 2020, ISSN: 8772105704.
- [3] O. Lucon, D. Ürge-Vorsatz, A. Z. Ahmed mfl., "Buildings," 2014.
- [4] E. Hertwich, R. Lifset, S. Pauliuk mfl., *Resource efficiency and climate change: Material efficiency strategies for a low-carbon future*. 2020, ISBN: 9280737716.
- [5] UN. "Building sector emissions hit record high, but low-carbon pandemic recovery can help transform sector – UN report." (2020), adresse: <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/building-sector-emissions-hit-record-high-low-carbon-pandemic>. (Lastet ned: 06.12.2021).
- [6] P. Ylmén, D. Peñaloza og K. Mjörnell, "Life cycle assessment of an office building based on site-specific data," *Energies*, årg. 12, nr. 13, s. 2588, 2019.
- [7] A. A. Borg, "The Environmental Impact of Ventilation Systems in a Norwegian Office Building from a Life Cycle Perspective," Thesis, 2016.
- [8] /. F. G. VVS, "Prosjektbeskrivelse: Helhetlig vurdering av miljøpåvirkning fra VVS-installasjoner i bygg – Grønn VVS – 15/04-2021," Unpublished Work, Oslo, Norway, 2021.
- [9] E. Resch, "Assessment of GHG emissions from materials during building design-Methods for improved reliability and quality," 2021, ISSN: 824719922X.
- [10] M. Fuglseth, H. Haanes, O. D. Andvik, A. S. Nordby, P. Brekke-Rotwitt og S. Våtevik, "Klimavennlige byggematerialer Potensial for utslippskutt og barrierer mot bruk," *Asplan Viak Rapport*, 2020.
- [11] D. Alexander, *11 Ways Humans Impact the Environment*, Web Page, 2020. adresse: <https://interestingengineering.com/11-ways-humans-impact-the-environment>.
- [12] M. Direktoratet, *Veileder: Klima- og energiplanlegging*, Web Page, 26.11.2019 2019. adresse: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energiplanlegging/tabell-for-omregning-av-co2-ekvivalenter/>.
- [13] returgass.no, *Hva er F-gasser*, Web Page. adresse: <https://www.returgass.no/sertifisering/f-gass-forordningen/hva-er-f-gasser/>.
- [14] A. Viak, "Bygg-OG Anleggssektoren klimagassutslipp," *Sandvika: Asplan Viak. Hentet August*, årg. 30, s. 2020, 2019.

- [15] O. S. Lars Bugge, “Virkemidler for økt ombruk i Oslo kommune,” *Asplan Viak Rapport*, 2019.
- [16] SINTEF, *Norge bør satse på rehabilitering framfor nybygg*, Web Page, 2020. adresse: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/norge-bor-satse-pa-rehabilitering-framfor-nybygg/>.
- [17] E. Selvig, E. Enlid, A. Næss, G. Alfredsen, L. R. Gobakken og K. M. Sandland, “Lavutslippsmaterialer i bygg. Barrierer og muligheter,” *NIBIO Rapport*, 2020, ISSN: 8217025193.
- [18] *Bygningsdelstabell og systemkodetabell for bygninger og tilhørende uteområder*. 2022, ISBN: NS 3451:2022.
- [19] S. Ingebrigtsen, *Ventilasjonsteknikk*. VVS-foreningen/Nemitek: NemiTek, 2020, bd. I, ISBN: 978-82-690861-3-3.
- [20] *Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk (ISO 14040:2006)*. 2006, ISBN: NS-EN ISO 14040:2006.
- [21] *Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Krav og retningslinjer (ISO 14044:2006)*. 2006, ISBN: NS-EN ISO 14044:2006.
- [22] epd-norge, *Hva er en EPD?* Web Page, 2022. adresse: <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/>.
- [23] *Metode for klimagassberegninger for bygninger*. 2018, ISBN: NS 3720.
- [24] —, *Hva er en PCR?* Web Page. adresse: <https://www.epd-norge.no/pcr/>.
- [25] E. P. AISBL, *Members of ECO Platform*, Web Page, 2022. adresse: <https://www.eco-platform.org/who-is-participating.html>.
- [26] M. Fuglseth, “Kartlegging av klimagassberegninger for bygg og anlegg i Oslo,” nr. 01, 2020.
- [27] A. S. M. Institute, *Sustainability Decisions Need a Whole-life Perspective*, Web Page, 2022.
- [28] *Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygningers miljøprestasjon - Beregningsmetode*. 2011, ISBN: NS-EN 15978:2011.
- [29] dibk.no, *Bruk av BIM i borettslag og sameier*, Web Page, 15.09.2015 2015. adresse: <https://dibk.no/verktoy-og-veivisere/andre-fagomrader/eiendomsforvaltning/Eksisterende-bygg-publikasjoner/bruk-av-bim-i-borettslag-og-sameier/>.
- [30] *Bygningers energiytelse - Økonomisk evalueringsprosedyre for energisystemer i bygninger*. 2007, ISBN: NS-EN 15459:2007 Annex D.
- [31] C. A. L. Anette Kampesæter Svein Bjørberg, “Levetider i praksis - Prinsipper og bruksområder,” *Multiconsult*, s. 18, 2009.
- [32] I. Kjekken, “Embodied Carbon of Technical Installations in a Norwegian Office and Teaching Building. An LCA-based study of the Ocean Space Center,” Thesis, 2021.

- [33] M. Rødland, “Forelesningsnotater fra MAEN5300 Forskningsmetoder og etikk,” Unpublished Work, 2021.
- [34] J. García-Sanz-Calcedo, N. de Sousa Neves og J. P. A. Fernandes, “Measurement of embodied carbon and energy of HVAC facilities in healthcare centers,” *Journal of Cleaner Production*, årg. 289, s. 125–151, 2021, ISSN: 0959-6526.
- [35] E. Hoxha, D. Maierhofer, M. R. M. Saade og A. Passer, “Influence of technical and electrical equipment in life cycle assessments of buildings: case of a laboratory and research building,” *The International Journal of Life Cycle Assessment*, årg. 26, nr. 5, s. 852–863, 2021, ISSN: 1614-7502.
- [36] C. Kiamili, A. Hollberg og G. Habert, “Detailed assessment of embodied carbon of HVAC systems for a new office building based on BIM,” *Sustainability*, årg. 12, nr. 8, s. 3372, 2020.
- [37] M. R. K. Wiik, E. Selvig, M. Fuglseth mfl., “Klimagasskrav til materialbruk i bygninger. Utvikling av grunnlag for å sette absolutte krav til klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygninger,” *SINTEF akademisk forlag*, årg. ZEN Report;24, 2020, ISSN: 8253616643.
- [38] A. Passer, G. Fischer, R. Deutsch, P. Sölkner og S. Spaun, “Innovative Building Technologies and Technical Equipment Towards Sustainable Construction: A Comparative LCA and LCC Assessment,” i *World Sustainable Built Environment Conference*, Hong Kong Green Building Council Limited, s. 2779–2785.
- [39] S. Chen og G. Zhang, “Life cycle assessment of HVAC systems in office buildings,” i *Proceedings of 2011 International Conference on Renewable Energy and Energy Efficiency*, RMIT University, s. 1–7.
- [40] S. Chen, “System dynamics based models for selecting HVAC systems for office buildings: A life cycle assessment from carbon emissions perspective,” Thesis, 2011.
- [41] M. Antell, *En jämförelse mellan uppmätt och framräknad A-temp*, Generic, 2013.
- [42] OsloKommune, *Standard kravspesifikasjon 2015 – Skoleanlegg*. Oslo kommune, 2015.
- [43] —, *Klimastrategi for Oslo mot 2030*. Oslo kommune, 2020.
- [44] A. Brekkhus, – *Vi må ha høyere klimaambisjoner og gjøre mer med etterslepet*, Web Page, 2021. adresse: [https://www.bygg.no/vi-ma-ha-hoyere-klimaambisjoner-og-gjore-mer-med-etterslepet/1479527!/.](https://www.bygg.no/vi-ma-ha-hoyere-klimaambisjoner-og-gjore-mer-med-etterslepet/1479527!/)
- [45] C. Kiamili, A. Hollberg og G. Habert, “Detailed assessment of embodied carbon of HVAC systems for a new office building based on BIM,” *Sustainability*, årg. 12, nr. 8, s. 3372, 2020.

Vedlegg

A Produktdata

31 Sanitær

31 - Komponentliste m/kvalitetskategori for produkt- og miljødata.

Bygningsdel	Komponent	Materialuttak		Bearbeidet		Kvalitetskategori	
				ev. ny enhet		Produktdata	Miljødata
312 Ledningsnett for sanitærinstallasjoner	Rør, kobber	2 249	m	2 249	m	2	2
	Rør, plast	1 350	m	1 350	m	2	2
	Rør, rustfritt	258	m	258	m	2	4
	Rør, stål	1 184	m	1 184	m	2	2
	Rørdel, kobber	711	stk	48	kg	2	2
	Rørdel, plast	2148	stk	2 881	kg	2	2
	Rørdel, rustfritt	67	stk	454	kg	2	4
	Rørdel, stål	122	stk	86	kg	2	2
314 Armaturer for sanitærinstallasjoner	Div. ventiler	352	stk	137	kg	1	2
	Motorisert ventil	14	stk	6	kg	1	2
	Fordelere	25	stk	365	kg	3	2
315 Utstyr for sanitærinstallasjoner	Ekspansjonskar	5	stk	210	kg	2	2
	Akkumulatortank	8	stk	1 824	kg	2	2
	Fettutskiller	1	stk	320	kg	1	4
	Pumpe	4	stk	300	kg	1	2
	Avløpsenhet, rustfritt	131	stk	23	kg	2	4
316 Isolasjon av sanitærinstallasjoner	Avløpsenhet, plast	24	stk	186	kg	2	2
	Rørskål m/aluminiumsfolie	7	m ³	7	m ³	1	2
	Kondensisolasjon i cellegummi	4	m ³	4	m ³	1	2

32 Varme

32 - Komponentliste m/kvalitetskategori for produkt- og miljødata.

Bygningsdel	Komponent	Materialuttak		Bearbeidet ev. ny enhet		Kvalitetskategori	
						Produktdata	Miljødata
322 Ledningsnett for varmeinstallasjoner	Rør, plast	707	m	707	m	2	2
	Rør, stål	2 639	m	2 639	m	2	2
	Rørdel, kobber	222	stk	35	kg	2	2
	Rørdel, plast	443	stk	149	kg	2	2
	Rørdel, rustfritt	28	stk	38	kg	2	4
	Rørdel, stål	618	stk	544	kg	2	2
324 Armaturer for varmeinstallasjon	Div. ventiler	352	stk	140	kg	1	2
	Fordelere	54	stk	1 155	kg	3	2
325 Utstyr for varmeinstallasjoner	Varmeveksler	1	stk	11	kg	1	4
	Radiator	114	stk	2 873	kg	1	2
	Energimåler	1	stk	2	kg	3	2
	Pumpe	2	stk	40	kg	1	2
326 Isolasjon av varmeinstallasjoner	Rørskål	22	m ³	22	m ³	1	2
	m/aluminiumsfolie						

33 Brannslukking

33 - Komponentliste m/kvalitetskategori for produkt- og miljødata.

Bygningsdel	Komponent	Materialuttak		Bearbeidet ev. ny enhet		Kvalitetskategori	
						Produktdata	Miljødata
331 Installasjon for manuell brannslukking med vann	Brannpost	23	stk	575	kg	1	2
332 Installasjon for brannslukking med sprinkler	Rør, stål	6 200	m	6 200	m	2	2
	Rørdel, stål	11667	stk	8 998	kg	2	2
	Rørdel, plast	211	stk	89	kg	2	2
	Sprinkler	2 786	stk	2 786	stk	1	2

35 Varmepumpe- og kuldeinstallasjoner

35 - Komponentliste m/kvalitetskategori for produkt- og miljødata.

Bygningsdel	Komponent	Materialuttak		Bearbeidet ev. ny enhet		Kvalitetskategori	
						Produktdata	Miljødata
352 Installasjoner for kjøling av fryserom	Rør, rustfritt	1 137	m	1 137	m	2	4
	Rørdel, rustfritt	819	stk	5 648	kg	2	4
	Rørdel, stål	59	stk	410	kg	2	2
354 Installasjoner til kjøling og varme for industri og produksjon	Div. ventiler	105	stk	312	kg	1	2
356 Installasjoner for oppvarming og kjøling i bygg	Varmepumpe	1	stk	3 000	kg	1	2
	Kondensisolasjon i cellegummi	14	m ³	14	m ³	1	2

36 Luftbehandling

36 - Komponentliste m/kvalitetskategori for produkt- og miljødata.

Bygningsdel	Komponent	Materialuttak		Bearbeidet ev. ny enhet		Kvalitetskategori	
						Produktdata	Miljødata
362 Kanalnett for luftbehandling	Sirkulær kanal	5 679	m	5 679	m	1	2
	Rektangulær kanal	143	m	143	m	1	2
	Sirkulær kanaldel	5494	stk	12 317	kg	1, 2	2
	Rektangulær kanaldel	203	stk	6 086	kg	4	2
364 Utstyr for luftfordeling	Tilluftsentil	826	stk	6 856	kg	1	2
	Avtrekkventil	273	stk	122	kg	1	2
	Spjeld	426	stk	5 898	kg	1, 2	2
	Brannspjeld	474	stk	2 756	kg	1	2
	Lyddempere	547	stk	2 574	kg	1	2
	Inspeksjonsluke	834	stk	642	kg	2	4
	Avtrekkshette	16	stk	482	kg	1	2
365 Utstyr for luftbehandling	Aggregat	11	stk	25 362	kg	1	1,2,3
	Luftfilter	fantes ikke		22	stk	-	2
	Ettvarmebatteri	1	stk	6	kg	2	3
	Inntak og avkast, uten og m/vifter	90	stk	1 570	kg	1	2,3
366 Isolasjon av installasjon for luftbehandling	Lamellmatte	90	m ³	90	m ³	1	2
	Kondensisolasjon	30	m ³	30	m ³	1	2
	Brannmatte	6	m ³	6	m ³	1	1

37 Komfortkjøling

37 - Komponentliste m/kvalitetskategori for produkt- og miljødata.

Bygningsdel	Komponent	Materialuttak		Bearbeidet		Kvalitetskategori	
				ev. ny	enhet	Produktdata	Miljødata
372 Ledningsnett for komfortkjøling	Rør, rustfritt	528	m	528	m	2	4
	Rørdel, rustfritt	185	stk	123	kg	2	4
	Rørdel, stål	5	stk	52	kg	2	2
374 Armaturer for komfortkjøling	Div. ventiler	48	stk	204	kg	1	2
	Motorisert ventil	1	stk	86	kg	1	2
375 Utstyr for komfortkjøling	Fan coil	10	stk	524	kg	1	2
	Energimåler	1	stk	5	kg	2	2
376 Isolasjon av installasjon for komfortkjøling	Kondensisolasjon i cellegummi	3	m ³	3	m ³	1	2

B Estimerte levetider for VVS-komponenter

Tabell B.1: Levetid for VVS-komponenter

Økonomiske levetid hentes fra EN 15459-1:2017 AnnexD [30].		
Component (Norwegian name)	Life span (min-max) [year]	Antatt samme levetid -
Rør og rørdeler, kobber	30	
Rør og rørdeler, plast	50	Avløpsenhet, plast
Rør og rørdele, rustfritt	30	Avløpsenhet, rustfritt
Rør og rørdele, stål (lukket system)	30	
Rør og rørdele, stål (åpen system)	15	
Energimåler	10	
Ventil (væske)	10	
VV-bereder med coil	20	Akkumulatortank Fettutskiller
Ekspansjonskar, rustfritt	30	
Pumpe, trykkstyrt	10-15	
Pumpe, trykkstyrt	15	
Rørisolasjon - Rørsystemer	30	
Radiator, vannbåren	30-40	
Radiator, vannbåren	35	
Varmepumpe / Kjølemaskin	15-20	
Varmepumpe / Kjølemaskin	17,5	
Luft/luft varmegjenvinner, platevarmeveksler	20	Varmeveksler
Rør, stål, lukket system	30	Brannpost
Kanalsystem for filtrert luft (tilluft)	30	Inspeksjonsluke
Kanalsystem for ufiltrert luft (avtrekk)	30	Inntak og avkast, uten og m/vifter Avtrekkshette
Tilluftsventiler	20	
Avtreksventil	20	
Spjeld, manuell	20	
Spjeld, motorisert	15	
Brannspjeld	15	
Lydfeller (i ventilasjonssystem)	30	
Luftfilter	1	
Varmebatteri, vannbåren	15-20	
Varmebatteri, vannbåren	17,5	Ettervarmebatteri
Kanalisolasjon - Kanalsystem	30	
Fan coil enhet	15	
Funksjonell levetid hentet fra Multiconsult-rapport fra 2009 [31].		
Aggregat	16-20	
Aggregat	20	
Sprinkler	16-20	
Sprinkler	20	

C Miljødata

Tabell C.1: Miljødeklarasjon (EPD) benyttet i oppgaven

EPD nummer	Programoperatør	Standard	Datakvalitet	Geografisk scope	Gyldig til	Nr.
INIES_CVRQ20211109_105403	INIES	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Frankrike	2026	1
EPD-WIE-20150210-IBE1-DE	IBU	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Europa/ Tyskland	2020	2
GEB_EPD_6178683915	Geberit International AG/ Quantis	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Tyskland	2024	3
NEPD-1506-513-NO	EPD Norge	ISO 21930, ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Norge	2023	4
S-P-02014	environdec.com	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Global	2025	5
NEPD-2523-1266-NO	EPD Norge	ISO 21930, ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Verden	2025	6
GEB_EPD_6178737163	Geberit International AG/ Quantis	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Tyskland	2024	7
NEPD-3290-1935-NO	EPD Norge	ISO 21930, ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Norge	2027	8
NEPD-2145-971-NO	EPD Norge	ISO 21930, ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Norge	2025	9
NEPD-2989-1669-EN	EPD Norge	ISO 21930, ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Norge	2026	10
INIES_DTUB20200414_112555, 16400	batiment-energiecarbone.fr / MDEGD	ISO 14025 og EN 15804	Type 2/ Type 3	Frankrike	2025	11
NEPD-1696-683-NO	EPD Norge	ISO 21930, ISO 14025, ISO 14020 og EN 15804	Type 3	Norge	2024	12
NEPD-1696-683-NO	EPD Norge	ISO 21930, ISO 14025, ISO 14020 og EN 15804	Type 3	Norge	2024	12
EPD-KAI-20190180-IBC1-EN	IBU	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Europa	2024	12
EPD-RWI-20200006-CCD1-EN	EPD Norge	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Norge og Danmark	2025	14
EPD-RWI-20200018-CBD1-EN	EPD Norge	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Norge og Danmark	2025	14
INIES_DSPR20201130_194806, 24490	INIES, hentet fra One Click LCA	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Frankrike	2025	15
S-P-03680	Swegon group AS	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Sverige, Norge og Finland	2026	16
S-P-03681	Swegon group AS	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Sverige, Norge og Finland	2026	17
EPD-WWB-20180132-ICC1-DE	IBU	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Tyskland/ Europa	2023	18
S-P-03263	Swegon group AS	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Sverige, Norge og Finland	2026	19
EPD-WIL-20210233-ICA1-DE	IBU	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Tyskland/ Europa	2026	20
NEPD-2147-970-EN	EPD Norge	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Norge, Italia, resten av verden	2025	21
INIES_DVAN20200320_115432, 16284	INIES	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Frankrike	2025	22
DDOR-00048-V01.01-FR, 27531	PEP ecopasspor	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Frankrike	2026	23
NEPD-3296-1940-EN	EPD Norge	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Norge	2027	24
EPD-GRU-20180144-CCC1-EN	IBU	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	EU/EFTA	2023	25
SOFA-00001-V01.01-FR	PEP ecopasspor	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Frankrike	2023	26
INIES_DVEN20161116_164336, 28759	INIES, hentet fra One Click LCA	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Frankrike	2027	27
INIES_DVAS20200424_132654, 16432	INIES, hentet fra One Click LCA	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Frankrike	2025	28
INIES_DFIL20161116_164341, 5608	INIES, hentet fra One Click LCA	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Frankrike	fra 2016	29
INIES_DROB20201130_184437, 24489	INIES, hentet fra One Click LCA	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Frankrike	2025	30
INIES_DCOL20190708_090523, 10865	INIES, hentet fra One Click LCA	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Frankrike	2024	31
UNIC-00026-V01.01-FR	PEP ecopasspor	ISO 14025 og EN 15804	Type 3	Frankrike	2025	32

Tabell C.2: Generisk miljødata hentet fra One Click LCA

Generisk miljødata navn	Programoperatør	Standard	Datakvalitet	Geografisk scope	Gyldig til	Nr.
Air handling unit, with heat recovery through plate heat exchanger	One Click LCA	EN15804+A1	GENERISK	Norge	fra 2019	33
Rooftop exhaust fan, max flowrate: 300 m3/h (176.6 ft3/min) - beta	One Click LCA	EN15804+A1	GENERISK	Norge	fra 2019	34
Rooftop exhaust fan, max flowrate: 500 m3/h (294.3 ft3/min) - beta	One Click LCA	EN15804+A1	GENERISK	Norge	fra 2019	34
Rooftop exhaust fan, max flowrate: 1000 m3/h (588.6 ft3/min)- beta	One Click LCA	EN15804+A1	GENERISK	Norge	fra 2019	34

Tabell C.3: Oversikt over bruk av miljødata

Nr.	Deklarert for	Brukt for
1	PEX/PB rør	Rør, plast; Rørdel, plast
2	Kobberrør	Rør, kobber; Rørdel, kobber
3	PE rør	Rør, plast
4	PVC rør	Rør, plast; Rørdel, plast
5	MA rør, Støpsjern	Rør, stål; Rørdel, stål
6	Rustfrie og syrefast stål	Rør, rustfritt; Rørdel, rustfritt; Avløpsenhet, rustfritt; Fettutskiller i rustfritt stål; Varveksler
7	PP rør	Rør, plast; Rørdel, plast; Avløpsenhet, plast
8	Aggregat m/roterende gjenvinner og m/filter	Aggregat
9	Galvanisert stål rektangulær kanal	Rektangulær kanal; Rektangulær kanaldel
10	Galvanisert stål sirkulær kanal	Sirkulær kanal; Sirkulær kanaldel; Inspeksjonsluke; Inntak og avkast; Spjeld
11	Stål rør	Rør, stål; Rørdel, stål
12	Lamellmatte, glassull	Lamellmatte
12	Lamellbelegg	
12	Cellegummi	Kondensisolasjon i cellegummi
14	Termisk-, kondens- og brann isolasjon, steinull	Brannmatte; Kondensisolasjon; Rørskål m/aluminiumsfolie
14	Aluminium	
15	Génériques par Défaut	Sprinkler
16	Ventil	Tilluftsventil; Avtrekksventil
17	Plenumboks	Tilluftsventil
18	Brannspjeld	Brannspjeld
19	Lyddempere	Lyddempere
20	Spjeld	Spjeld
21	Messingventiler	Div. ventiler
22	Motorisert ventil	Motorisert ventil
23	TYWATT 30	Energimåler
24	98% steel, 2% paint	Radiator
25	Pumpe	Pumpe
26	Varmtvannsbereeder	Akkumulatortank
27	Galvanisert stål 50% aluminium 20% kobber 10% ABS 20%	Fan coil
28	Stål 91,6%, SBR (styren-butadien) 8,4%	Ekspansjonskar
29	Luftfilter m/effektivitetsklasse EN779:2012: F7 m/ levetid på 1 års referanse	Luftfilter
30	Brannslange reel	Brannpost
31	Fordelerrør i messing	Fordelere; Fordelerrør
32	Varmepumpen	Varmepumpe
33	Luftbehandlingsaggregat m/plate varmegjenvinnere, generisk	Aggregat
34	Avtrekksvifte på taket, generisk	Avtrekkslette; Inntak og avkast

D Beregningsark

2-sifret	3-sifret	CLASS	IFCMATERIAL	Komponenter	Gitt		Spesifikk vekt (kg/stk)		Enhet i EPD	Estimert levetid [år]	Lifetime Factor
					mengde	Enhet	[kg/m]	Enhet			
31	312	Pipe Fittings	Kobberrør	T-stykke	4,76	kg			1 kg (kobberrør)	30	1
31	312	Pipe Fittings	magi_pipe_cu_plug_L	Cap	0,183	kg			1 kg (kobberrør)	30	1
31	312	Pipe Fittings	Blucher Europipe	T-stykke	16,40	kg			1 kg varmvalset	30	1
31	312	Pipe Fittings	Kobberrør	Transition	10,63	kg			1 kg (kobberrør)	30	1
31	312	Pipe Fittings	MagiCAD - default joint	Union	2,35	kg			1 kg (kobberrør)	30	1
31	312	Pipe Fittings	Muffeløse Avløpsrør	Transition	4,40	kg			1m, 7,46kg	15	3
31	312	Pipe Fittings	PEX rør	Transition	1,455	kg			1m, 0,0539 kg	50	0,2
31	312	Pipe Fittings	PP avløpsrør	Transition	1,40	kg			1m, 1,486 kg	50	0,2
31	312	Pipe Fittings	PVC grunnavløpsrør	Transition	1,02	kg	skt, 6 m DN 200 PVC-rør,	3	kgCO2-equiv/kg	50	0,2
31	312	Pipe Fittings	Blucher Europipe	Transition	80,40	kg			1 kg varmvalset	30	1
31	312	Pipe Fittings	Kobberrør	Transition	25,05	kg			1 kg (kobberrør)	30	1
31	312	Pipe Fittings	MagiCAD - default joint	Union	3,507	kg			1 kg (kobberrør)	30	1
31	312	Pipe Fittings	Muffeløse Avløpsrør	Transition	81,70	kg			1m, 7,46kg	15	3
31	312	Pipe Fittings	PEX rør	Transition	13,466	kg			1m, 0,0539 kg	50	0,2
31	312	Pipe Fittings	PP avløpsrør	Transition	4,20	kg			1m, 1,486 kg	50	0,2
31	312	Pipe Fittings	PVC grunnavløpsrør	Transition	7,975	kg	skt, 6 m DN 200 PVC-rør,	3	kgCO2-equiv/kg	50	0,2
31	312	Pipe Fittings	magi_sewer_bend_NK	Elbow	296,75	kg	skt, 6 m DN 200 PVC-rør,	3	kgCO2-equiv/kg	50	0,2
31	312	Pipe Fittings	MagiCAD - PVC Joint	Union	1,78	kg	14,0	stk	kgCO2-equiv/kg	50	0,2
31	312	Pipe Fittings	Bend Plain EN-877_D	Elbow	7,20	kg			1 kg varmvalset	30	1
31	312	Pipe Fittings	Bend-EN1451-1-2	Elbow	486,84	kg			1 kg varmvalset	30	1
31	312	Pipe Fittings	magi_pipe_cu_elbow	Elbow	1,65	kg			1 kg (kobberrør)	30	1
31	312	Pipe Fittings	magi_sewer_bend_NK	Elbow	2550,99	kg	skt, 6 m DN 200 PVC-rør,	3	kgCO2-equiv/kg	50	0,2
31	312	Pipe Fittings	MagiCAD - PVC Joint	Union	2,045	kg	16,0	stk	kgCO2-equiv/kg	50	0,2
31	312	Pipes	PP avløpsrør	PP avløpsrør	43,7	m	0,21	kg/m	1m, 1,486 kg	50	0,2
31	312	Pipes	PP avløpsrør	PP avløpsrør	2,2	m	0,27	kg/m	1m, 1,486 kg	50	0,2
31	312	Pipes	PP avløpsrør	PP avløpsrør	3,9	m	0,27	kg/m	1m, 1,486 kg	50	0,2
31	312	Pipes	Muffeløse Avløpsrør	MA	24,7	m	2,2	kg/m	1m, 7,46kg	15	3
31	312	Pipes	PP avløpsrør	PP avløpsrør	5,3	m	0,35	kg/m	1m, 1,486 kg	50	0,2
31	312	Pipes	Muffeløse Avløpsrør	MA	0,5	m	2,4	kg/m	1m, 7,46kg	15	3
31	312	Pipes	PP avløpsrør	PP avløpsrør	34,7	m	0,35	kg/m	1m, 1,486 kg	50	0,2
31	312	Pipes	Muffeløse Avløpsrør	MA	79,8	m	4,2	kg/m	1m, 7,46kg	15	3
31	312	Pipes	Muffeløse Avløpsrør	MA	62,1	m	6,2	kg/m	1m, 7,46kg	15	3
31	312	Pipes	PP avløpsrør	PP avløpsrør	0,3	m	0,69	kg/m	1m, 1,486 kg	50	0,2
31	312	Pipes	PVC grunnavløpsrør	PVC grunnavløps	68,33	m			kgCO2-equiv/m	50	0,2
31	312	Pipes	PVC grunnavløpsrør	PVC grunnavløps	136,93	m			kgCO2-equiv/m	50	0,2
31	312	Pipes	Muffeløse Avløpsrør	MA	384,8	m	6,2	kg/m	1m, 7,46kg	15	3
31	312	Pipes	PP avløpsrør	PP avløpsrør	6,4	m	0,69	kg/m	1m, 1,486 kg	50	0,2
31	312	Pipes	Muffeløse Avløpsrør	MA	31,8	m	8,2	kg/m	1m, 7,46kg	15	3
31	312	Pipes	PVC grunnavløpsrør	PVC grunnavløps	62,51	m			kgCO2-equiv/m	50	0,2
31	312	Pipes	Muffeløse Avløpsrør	MA	325,1	m	8,2	kg/m	1m, 7,46kg	15	3
31	312	Pipes	PP avløpsrør	PP avløpsrør	2,2	m	1,47	kg/m	1m, 1,486 kg	50	0,2
31	312	Pipes	PVC grunnavløpsrør	PVC grunnavløps	138,63	m			kgCO2-equiv/m	50	0,2
31	312	Pipes	PVC grunnavløpsrør	PVC grunnavløps	37,08	m			kgCO2-equiv/m	50	0,2
31	312	Pipes	PVC grunnavløpsrør	PVC grunnavløps	50,40	m			kgCO2-equiv/m	50	0,2
31	312	Pipes	Muffeløse Avløpsrør	MA	219,7	m	11,6	kg/m	1m, 7,46kg	15	3
31	312	Pipes	PVC grunnavløpsrør	PVC grunnavløps	0,40	m			kgCO2-equiv/m	50	0,2
31	312	Pipes	Muffeløse Avløpsrør	MA	54,2	m	13,8	kg/m	1m, 7,46kg	15	3
31	312	Pipes	PVC grunnavløpsrør	PVC grunnavløps	45,22	m			kgCO2-equiv/m	50	0,2
31	312	Pipes	PVC grunnavløpsrør	PVC grunnavløps	9,88	m			kgCO2-equiv/m	50	0,2
31	312	Pipes	Muffeløse Avløpsrør	MA	1,7	m	22,7	kg/m	1m, 7,46kg	15	3
31	312	Pipes	PVC grunnavløpsrør	PVC grunnavløps	10,07	m			kgCO2-equiv/m	50	0,2
31	312	Pipes	Kobberrør	Kobberrør	515,3	kg			1 kg (kobberrør)	30	1
31	312	Pipes	PEX rør som Revit stive	PEX rør	26,2	kg	m PEX tot		1m, 0,0539 kg	50	0,2
31	312	Pipes	Blucher Europipe	Blucher Europipe	429,2	kg			1 kg varmvalset	30	1
31	312	Pipes	Kobberrør	Kobberrør	1725,3	kg			1 kg (kobberrør)	30	1
31	312	Pipes	PE 80 trykkør SDR 11	PE 80 trykkør SD	5,7	kg	m PE tot		1m, 1,460 kg	50	0,2
31	312	Pipes	PEX rør som Revit stive	PEX rør	82,9	kg			1m, 0,0539 kg	50	0,2
31	312	Pipes	Syrefast stål, 316L	Syrefast stål 316L	25,1	kg			1 kg varmvalset	30	1

Figur D.1: Utsnitt av LCA-beregningsark i Excel - del 1

E Beregning av levert energi

H-Bygget: Oppvarmingsenerikarakter B og oppvarmingskarakter mellekgrønn.				S-Bygget: Tilfredsstillende krav til plassering iht. Furebebyggelse.			
netto oppvarmingsbehov for bygget er 24,1 kWh/m ² og total energibehov 119,2 kWh/m ²				SOL 1370080 kWh			
oppvarmingskarakter levert energi normalisert klima: 112,01 kWh/m ²				solarproduksjon dekker 239 848 kWh/år (dokumentert: REN-001)			
Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov: 19,9 %				Beregnet 327815 kWh			
BBA				BBA			
Levert energi Fjernvarme kWh				Levert energi Fjernvarme 8E-05 kWh			
Romoppvarming FV	Energibehov [kWh]	Virkningsgrad	Levert energi [kWh]	Behov [kWh/m ²]	Energibehov [kWh]	Virkningsgrad	Levert energi [kWh]
Varmebatterier FV	22897,1	0,91	25205,6044	9,6	4286,24	0,9	4740,2
VV tappervarm FV	1135,5	0,98	1115,7	10,1	4488,44	0,99	4433,8
VV tappervarm VP	21574,5	3	7154,5	10,1	83280,36	9,2	15400,1
SUM	168416,6		174202,94	2,7	1189,88	0,95	1283,0
Levert energi Direkte el.				Levert energi Direkte el.			
Vifter	Energibehov [kWh]	Virkningsgrad	Levert energi [kWh]	Energibehov [kWh]	Virkningsgrad	Levert energi [kWh]	
Pumper	5904,6	1	5904,6	7,6	6754,8	1	6754,8
Belysning	41786,4	1	41786,4	0,5	4444	1	4444,0
Teknisk utstyr	6885,9	1	6885,9	9,9	87891,2	1	87891,2
Kjølebatteri	2271	2,4	905,4	13,3	11810,4	1	11810,4
SUM	84775,6		87623,2	2,8	24886,6	40	632,2
				SUM 278839 kWh/m ²			
				85			
				85			
H-Bygget				S-Bygget			
Romoppvarming FV	Levert energi [kWh]	veiting	GWP [kgCO ₂ ekv]	BBA [m ³]	GWP [kgCO ₂ ekv]	veiting	GWP [kgCO ₂ ekv/m ²]
134887	100%	122852,2	2271	34130	22%	378530	888
134887	100%	122852,2	2271	34130	22%	378530	888
VV tappervarm VP	1159	14%	860,18	1503	21%	1046,34	888
VV tappervarm VP	7182	86%	5108,32	17101	78%	12621,03	888
Vifter	5904,6	100%	13409,57	16400	79%	12104,03	1,42
Belysning	41786,4	100%	4338,11	4738	79%	3487,05	888
17859,9	100%	4850,97	2271	6749	100%	4887,05	888
6885,9	100%	4850,97	2271	4444	100%	3250,05	888
86,6	100%	477,7	2271	18320	100%	87149,32	888
258828	100%	6704,78	2271	18320	100%	87149,32	888
SUM	258828		310028	622	100%	16,24	888
GWP energibruk (B6)	7608	kgCO ₂ ekv	Tappervarm + 66,66% pumpe	SUM	317815	242790	888
31. Varme	124386	kgCO ₂ ekv	Romoppvarming + 33,33% pumpe	SUM	1379080	888	0,00
32. Brann	0	kgCO ₂ ekv	Varmebatterier, kjølebatterier, vifter	GWP energibruk (B6)	124386	kgCO ₂ ekv	Tappervarm + 66,66% pumpe
37. komfortkjøling	30	kgCO ₂ ekv	kompletting	31. Varme	11802	kgCO ₂ ekv	Romoppvarming + 33,33% pumpe
BYE	3703	kgCO ₂ ekv	Belysning + teknisk utstyr	33. Brann	0	kgCO ₂ ekv	Varmebatterier, kjølebatterier, vifter
SUM (B6)	208760,02	kgCO ₂ ekv		36. Luftbehandling	53289	kgCO ₂ ekv	kompletting
				BYE	152184	kgCO ₂ ekv	Belysning + teknisk utstyr
				SUM (B6)	229785,23	kgCO ₂ ekv	

Figur E.1: Beregninger av levert energi i Excel