

**Institutt for bygg- og energiteknikk — Energi og miljø i bygg***Postadresse:* Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo*Besøksadresse:* Pilestredet 35, Oslo*Webside:* www.oslomet.no**MASTEROPPGAVE**

OPPGAVENS TITTEL: <b>Komparativ studie av miljøvennlige løsninger og materialer for ventilasjonskanaler</b>	DATO: 24.05.23
	ANTALL SIDER OG VEDLEGG: 122/5
FORFATTER: Eyyubi Paltaci	VEILEDER: Peter Schild
UTFØRT I SAMARBEID MED: Forskningsprosjektet Grønn VVS	KONTAKTPERSON: Anders Liaøy
KORT SAMMENDRAG: <p>Denne rapporten utforsker de ulike materialer som kan brukes til ventilasjonskanaler. Målet med dette prosjektet er å finne muligheter for å redusere klimagassutslippene forbundet med ventilasjonssystemer. Ventilasjon er en viktig del av moderne bygninger, da det sikrer god luftkvalitet og et sunt innemiljø. Imidlertid kan installasjon og drift av ventilasjonssystemer føre til høye utslipp av klimagasser. Materialvalget for ventilasjonskanaler spiller en viktig rolle i dette, da noen materialer har høyere klimagassutslipp enn andre.</p> <p>Stålskanaler har en større andel av utslippet sammenlignet med plastrør på grunn av lengre levetid og lavere vekt. Beregningene viser at plastkanaler og kanaler laget av isolasjon har lavere klimagassutslipp enn vanlige stålskanaler. Imidlertid er det betydelig usikkerhet knyttet til bruken av alternative materialer til stålskanaler. Stål fortsetter å være et viktig byggemateriale, og det er for tiden ingen direkte erstatning for stål, selv om stadig alternative materialer utvikles. Som en kjent lærd i stålverdenen sa: «Det eneste alternativet til stål er bedre stål»</p>	
NØKKEWORD (en per linje): Ventilasjonskanaler Klimagassberegning Miljødeklarasjoner	

## Forord

Denne masteroppgaven er det endelige arbeidet i ingeniørfaglige masterutdanningen Energi og miljø i bygg ved OsloMet-Storbyuniversitet. Arbeidet er utført av Eyyubi Paltaci. Jeg ønsker å rette en stor takk til OsloMet for å ha gitt meg muligheten til å bruke deres fasiliteter, enheter og programvare for gjennomføringen av oppgaven. Uten deres støtte ville det vært vanskelig å gjennomføre dette arbeidet på en så grundig måte.

Jeg vil ydmykt uttrykke min takknemlighet overfor min veileder, Peter Schild, for hans viktige veiledning, konstruktive tilbakemeldinger og hjelp til å løse eventuelle problemer som oppsto underveis. Uten hans ekspertise og veiledning ville det vært betydelig mer krevende å fullføre oppgaven på en tilfredsstillende måte.

Jeg ønsker å gi en hjertelig takk til min familie, venner og veiledere som har gitt meg den nødvendige motivasjonen og støtten til å fullføre dette arbeidet. Deres oppmuntring og støtte har vært uvurderlig gjennom hele prosessen, og jeg er takknemlig for deres tro på meg.

Jeg ønsker også å uttrykke min dype takknemlighet overfor Forskningsprosjektet Grønn VVS for det verdifulle samarbeidet vi har hatt. Det har vært en fantastisk mulighet å kunne skrive denne spennende og interessante oppgaven i samarbeid med dem. Deres kunnskap og erfaring har vært uvurderlig for oppgavens kvalitet.

Til slutt vil jeg også rette en takk til Anders Liaøy fra Multiconsult. Han har bidratt til utformingen av oppgaven og vært til stor hjelp med solid støtte og råd.

Jeg er takknemlig for alle som har bidratt til dette arbeidet, og jeg setter stor pris på deres innsats og engasjement. Deres bidrag har vært avgjørende for at denne masteroppgaven kunne fullføres på en vellykket måte

Larvik

X



---

Eyyubi Paltaci

## Sammendrag

189 land, inkludert Norge, har forpliktet seg gjennom Parisavtalen til drastiske reduksjoner av klimagassutslippene forårsaket av byggematerialer. Byggenæringen har et betydelig ansvar for å redusere både direkte og indirekte klimagassutslipp. For å oppnå målet om å begrense global oppvarming til under 2 eller 1,5 grader i henhold til Parisavtalen, er det nødvendig å redusere dagens klimagassutslipp. Ventilasjonkanaler er en kilde til klimagassutslipp som i dag er underrapportert på grunn av manglende kunnskap og data. I det pågående forskningsprosjektet Grønn VVS, som startet i siste kvartal av 2021, er hovedmålet å redusere klimagassutslippene knyttet til VVS-installasjoner med 50% sammenlignet med bransjestandarden. Denne masteroppgaven er en del av dette forskningsprosjektet og har som formål å undersøke ventilasjonkanalenes påvirkning på klimagassregnskapet. Dette er gjort gjennom en omfattende livsløpsanalyse av ulike eksisterende kanalmaterialer, inkludert vurdering av materialenes livssyklus fra produksjon og transport til installasjon og avhending. I tillegg har intervjuer blitt gjennomført med ulike aktører innenfor leverandør-, entreprenør-, fagperson-, montør- og prosjekterende-segmentene for å få deres perspektiver. Rapporten har også vurdert miljøpåvirkningen og kostnadseffektiviteten til alternative materialer sammenlignet med eksisterende materialer. For å oppnå målene i rapporten har det blitt gjennomført 18 intervjuer, en grundig litteraturstudie og en livsløpsvurdering av kanalkvaliteter.

Tidligere studier indikerer at VVS-installasjoner står for en betydelig andel av klimagassutslippene i bygg, med 22-38% for nybygg og 51-82% for rehabiliteringsbygg. Flere studier peker på at stålkkanaler utgjør en betydelig del av disse utslippene. Luftbehandling, inkludert aggregater og kanaler, er den største kilden til utslipp. Stålkkanaler har en større andel av utslippet sammenlignet med plastrør på grunn av lengre levetid og lavere vekt. I dette forskningsprosjektet ble tall fra gjeldende EPDer blitt implementert i et Excel-dokument. Livsløpsregnskapet for ulike kanalkvaliteter ble utført i samsvar med standarder og rammeverk. Miljødata ble hentet fra europeiske programoperatører og databaser, med målet om å bruke så spesifikke produktdeklarasjoner som mulig. Beregningene viser at plastkanaler og kanaler laget av isolasjon har lavere klimagassutslipp enn vanlige stålkkanaler. Imidlertid er det betydelig usikkerhet knyttet til bruken av alternative materialer til stålkkanaler.

Byggeforskrift TEK 17 § 11-10 stiller krav om bruk av ubrennbare materialer i ventilasjonkanaler. Unntak kan gjøres for små komponenter som ikke bidrar til spredning av brann, men hva som defineres som små komponenter og om ventilasjonkanaler laget av brennbare materialer går under dette, er ikke spesifisert. Det kan være behov for å gjennomføre en bredere analyse og eventuelt endre tekniske forskrifter på dette området.

Det er også viktig å vurdere opphengs- og støttestrukturer for rektangulære kanaler, da bruken av alternative materialer kan påvirkes av behovet for slike strukturer. Selv om fleksible kanalmaterialer kan ha lavere karbonavtrykk i produksjon og transport, kan økt bruk av oppheng og støttestrukturer under installasjonen øke karbonavtrykket og andre miljøpåvirkninger. Derfor bør hele livssyklusen til produktet vurderes når man evaluerer miljøpåvirkningen av materialvalg for ventilasjonkanaler, inkludert produksjon, transport, installasjon, bruk og avhending. Stål fortsetter å være et viktig byggemateriale, og det er for tiden ingen direkte erstatning for stål, selv om stadig forbedrede stålprodukter utvikles. Noen store stålprodusenter, som SSAB og XCarb® RRP, utforsker mulighetene for å produsere fossilfritt stål. Konsekvensene av å produsere fossilfritt stål er fortsatt usikre, og det er ikke klart om det vil være et alternativ eller en erstatning for produksjonen med fossile materialer, men som en kjent lærd i stålverdenen sa:

**«Det eneste alternativet til stål er bedre stål»**

## Summary

189 countries, including Norway, have committed through the Paris Agreement to drastic reductions in greenhouse gas emissions caused by building materials. The construction industry bears significant responsibility for reducing both direct and indirect greenhouse gas emissions. To achieve the goal of limiting global warming to below 2 or 1.5 degrees Celsius according to the Paris Agreement, it is necessary to reduce current greenhouse gas emissions. Ventilation ducts are a source of greenhouse gas emissions that are currently underreported due to a lack of knowledge and data. In the ongoing research project "Green HVAC," which started in the last quarter of 2021, the main objective is to reduce greenhouse gas emissions associated with HVAC installations by 50% compared to industry standards.

This master's thesis is part of this research project and aims to investigate the impact of ventilation ducts on the greenhouse gas footprint. This is done through a comprehensive life cycle analysis of various existing duct materials, including assessing the materials' life cycle from production and transportation to installation and disposal. Additionally, interviews have been conducted with various stakeholders in the supplier, contractor, professional, installer, and design segments to gather their perspectives. The report has also evaluated the environmental impact and cost-effectiveness of alternative materials compared to existing materials. To achieve the goals of the report, 18 interviews have been conducted, along with a thorough literature review and a life cycle assessment of duct qualities.

Previous studies indicate that HVAC installations account for a significant share of building greenhouse gas emissions, with 22-38% for new buildings and 51-82% for retrofit buildings. Several studies point to steel ducts comprising a significant portion of these emissions. Air handling, including units and ducts, is the largest emission source. Steel ducts have a greater share of emissions compared to plastic ducts due to their longer lifespan and lower weight. In this research project, data from current EPDs were implemented in an Excel document. The life cycle assessment for various duct qualities was conducted in accordance with standards and frameworks. Environmental data was sourced from European program operators and databases, with the goal of using as specific product declarations as possible. The calculations show that plastic ducts and ducts made of insulation have lower greenhouse gas emissions than standard steel ducts. However, there is significant uncertainty associated with the use of alternative materials to steel ducts.

Building regulations TEK 17 § 11-10 require the use of non-combustible materials in ventilation ducts. Exceptions can be made for small components that do not contribute to fire spread, but what is defined as small components and whether ventilation ducts made of combustible materials fall under this is not specified. There may be a need to conduct a broader analysis and potentially amend technical regulations in this area.

It is also important to consider the suspension and support structures for rectangular ducts, as the use of alternative materials may be influenced by the need for such structures. Although flexible duct materials may have a lower carbon footprint in production and transportation, increased use of suspensions and support structures during installation can increase the carbon footprint and other environmental impacts. Therefore, the entire product life cycle should be considered when evaluating the environmental impact of material choices for ventilation ducts, including production, transportation, installation, use, and disposal.

Steel continues to be an important building material, and there is currently no direct substitute for steel, although continuously improved steel products are being developed. Some major steel producers, such as SSAB and XCarb® RRP, are exploring the possibilities of producing fossil-free steel. The consequences of producing fossil-free steel are still uncertain, and it is not clear whether it will be an alternative or a replacement for production with fossil materials, but as a well-known scholar in the steel industry said:

**"The only alternative to steel is better steel."**

## Innhold

Figurliste .....	6
Tabelliste .....	7
Begrepliste.....	8
1 Introduksjon .....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Mål for oppgaven .....	2
1.3 Omfang og disponering av tid .....	3
2 Teori.....	4
2.1 Klimagassutslipp og miljøbelastning .....	4
2.1.1 GWP og CO <sub>2</sub> e .....	4
2.2 Byggematerialer og klimagassutslipp.....	5
2.2.1 VVS-installasjoner i bygg .....	5
2.3 LCA, Livsløpsvurdering.....	6
2.3.1 Standarder for LCA .....	7
2.4 Standardisering av miljøprestasjon .....	9
2.4.1 PCR, Produktkategoriregel .....	9
2.4.2 EPD, Miljødeklarasjon.....	10
2.4.3 Programoperatører for miljødeklarasjoner.....	10
2.5 Brannsikkerhetsstrategi .....	11
3. Metodikk .....	12
3.1 Litteraturstudie.....	13
3.2 Kvalitativ intervjueteknikk.....	13
3.3 Valg av respondenter .....	14
3.4 Intervjuguide .....	15
3.5 Analyse og presentasjon av resultater .....	17
3.6 Vurdering av funnenes kvalitet .....	18
3.7 Innhenting av miljødata .....	20
3.8 Datakvalitet .....	20
3.9 Formler .....	21
4 Kanalkvaliteter.....	23
4.1 TROX Auraflex.....	23
4.2 FLEXIT Lavtbyggende fleksibelt kanalsystem .....	24
4.3 FLEXIT Polyflex.....	25
4.4 FLEXIT Flexikanal.....	26
4.5 SYSTEMAIR IS/UIS.....	27

4.6 SYSTEMAIR Tube F .....	28
4.7 Duka PVC ventilasjonsrør .....	29
4.8 Halton HSWCK .....	30
4.9 ALNOR PP, PPs og PVC ventilasjonskanaler .....	31
4.10 KE Fibertecs tekstilkanaler .....	32
4.11 Uponors UVS-ventilasjonssystem .....	33
4.12 CLIMAVER .....	34
4.12 IsoDuct Ventisål .....	35
4.13 Climate recovery .....	36
4.14 ISOLAMIN Sandwich .....	37
5 Materialer .....	38
5.1 HDPE - High-Density Polyethylene .....	39
5.2 PVC - Polyvinylklorid .....	41
5.3 PIR - Polyisocyanurate .....	43
5.4 PUR - Polyuretan .....	45
5.6 PP - Polypropylen .....	46
5.6 Bioplast .....	48
5.7 Galvanisert stål .....	50
5.8 Rustfritt stål .....	55
5.9 Syrefast stål AISI 316L .....	57
5.10 Magnelis stål .....	59
5.11 Aluminium .....	61
5.12 Fossilt fritt stål .....	63
6 Resultater og diskusjon .....	65
6.1 Beregninger .....	66
6.2 Produksjon (A1-A3) .....	69
6.3 Transport A4 .....	72
6.4 Installasjon A5 .....	75
6.5 Utskiftning .....	77
6.6 End of life (C1-C4) og Potensialet for gjenbruk og resirkulering (D) .....	78
6.7 Brannsikkerhet .....	84
6.8 Valg av kanalgeometri .....	88
6.9 De totale klimagassutslippene .....	94
7 Evaluering av metode .....	96
7.1 Har intervjudesignet påvirket resultatet? .....	97
7.2 Er funnene overførbare og sammenlignbare med virkeligheten? .....	98

8 Usikkerhetsvurdering .....	100
9 Konklusjon .....	101
9.1 Videre arbeid .....	103
Referanser .....	104
VEDLEGG.....	113
Vedlegg A: Mail til intervjukandidater .....	113
Vedlegg B: Informasjonsskriv .....	114
Vedlegg C: Intervjuguide .....	117
Vedlegg D: Oversikt over EPDer .....	120
Vedlegg E: Relevante standarder .....	121

## Figurliste

Figur 1: De ulike fasene som er med i LCA analysen [25].....	6
Figur 2: trinnene i LCA [28].....	7
Figur 3: Informasjon om en bygnings livsløp (illustrasjonen er fra NS 3720 og er tilpasset fra NS-EN 15978). Livsløpet er inndelt i stadier der hvert stadium er underinndelt i moduler. ....	8
Figur 4: Ulike nivåer for dokumentasjon av brannsikkerhet i forhold til byggets faser [117] .....	11
Figur 5: Flytskjema for kvantitativ metode .....	13
Figur 6: TROX AuraFlex kanalsystem [31].....	23
Figur 7: FLEXIT Lavtbyggende fleksibelt kanalsystem [33] .....	24
Figur 8: Flexit Polyflex kanal [35].....	25
Figur 9: FLEXIT Flexikanal systemet [40][41][42][43] .....	26
Figur 10: Systemair IS/UIS kanaler [44] .....	27
Figur 11: Systemair Tube F er et fleksibelt kanalsystem [47].....	28
Figur 12: Duka PVC ventilasjonsrør [49].....	29
Figur 13: HSWCK – Single wall grease duct (UL) [50] .....	30
Figur 14: ALNOR PP, PPs og PVC ventilasjonskanaler [51] .....	31
Figur 15: KE Fibertec tekstilkanaler [52].....	32
Figur 16: Uponor UVS-system [53] .....	33
Figur 17: Climaver system levert av GLAVA [54] .....	34
Figur 18: IsoDuct kanalsystem [60] .....	35
Figur 19: Climate recovery system [61].....	36
Figur 20: ISOLAMIN Fläktrumssystem sandwich elementer [63].....	37
Figur 21: Illustrasjon av stål produksjon, første fase. [127] .....	50
Figur 22: Illustrasjon av stål produksjon, andre fase. [127] .....	51
Figur 23: Utsnitt fra beregningsark i Excel .....	68
Figur 24: Produksjon A1-A3.....	69
Figur 25: Globalt oppvarmingspotensial – Stadier i livssyklusen [126].....	70
Figur 26: Globalt oppvarmingspotensial fossilt kgCO <sub>2</sub> eq – Klassifikasjoner (Datapunkter Elektrisitet, installasjon, dekonstruksjon, smøring av maskiner og vann utgjør til sammen mindre enn 0,5 % av GWP) [126] .....	70
Figur 27: Produksjon av fossilfritt stål [112].....	71
Figur 28: Transport A4.....	72

Figur 29: Installasjon A5 .....	76
Figur 30: Utskiftning B4 .....	77
Figur 31 End of life C1-C4 .....	78
Figur 32: Flytskjema som viser trinnvis fremgangsmåte for gjenbruk av kanalnett [113] .....	80
Figur 33: Resirkulering D .....	82
Figur 34: Geid skjøter på rektangulære kanaler øker plassbehovet. Ved installasjon må det være tilgjengelig fri plass for skjøteforbindelsen [135] .....	88
Figur 35: Samme plass og samme frie kanalareal [135] .....	89
Figur 36: Plassbehov for rektangulær eller sirkulær kanal(er) [135] .....	89
Figur 37: Sammenligning av vekten til kanaler [135] .....	90
Figur 38: Eksempel på rund vs rektangulær kanal .....	91
Figur 39: Relativ vekt av rektangulær kanal til rundkanal [119] .....	91
Figur 40: Oppheng og skjøter for rektangulære og runde kanaler [135] .....	92
Figur 41: Eksperimentelt oppsett for lydeffektmåling av breakout noise [124] .....	93
Figur 42: GWP tot - komp [pr løpemeter CO <sub>2</sub> ekv] .....	94

## Tabelliste

Tabell 1: Intervjukandidatene som har deltatt i undersøkelsen .....	14
Tabell 2: Oversikt over kanalkvalitetene som ble analysert i denne rapporten og hvilke materialer de er produsert av .....	65
Tabell 3: De forskjellige materialene som kan brukes for ventilasjonskanaler .....	66
Tabell 4: Statistikk på markedsandel av kanalstørrelser .....	67
Tabell 5: Kanalstørrelse oversikt med 1 Pa/m trykkfall .....	68
Tabell 6: Oversikt over transport for de ulike kanaltypene .....	74
Tabell 7: Kostnader for gjenbruk kontra riving og nyinstallasjon for Solbråveien 23 [125] .....	81



## Begrepliste

**VVS** - Varme-, Ventilasjons- Sanitærteknikk

**AHU** – Air Handling Unit

**PCR** - Product Category Rule/ Produktkategoriregler

**EPD** - Environmental Product Declaration/ Miljødeklarasjoner

**GWP** - Global Warming Potential

**LCA** - Life Cycle Analysis/ Livssyklusanalyse

**LCI** - Life Cycle Inventory/ Livssyklusregnskap

**LCIA** - Life Cycle Impact Assessment/ Livsløpseffektvurdering

**BRA** – Bruksareal

**BTA** – Bruttoareal

**RIV** - Rådgivende ingeniør VVS

**Ecoinvent**: LCA database

**TEK 17**: Byggeteknisk forskrift som beskriver minimumskrav av egenskaper et bygg skal ha for å kunne oppføres i Norge lovlig.

**VTEK 17**: Veiledning til byggeteknisk forskrift (TEK 17).

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

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

**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.

**Programoperatør** - Organ som utvikler miljødeklarasjoner. Det kan være et selskap, bransjeorganisasjon, offentlige myndigheter eller et uavhengig vitenskapelig organ.

**Tekniske installasjoner** - Samlet betegnelse som omfatter VVS- og elektriske installasjoner, samt automasjon og tele

# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

FNs klimapanel, IPCC, har publisert rapporter om klimaendringer helt siden 1990, i rapporten fra august 2021 kom det en alarmerende beskjed om økningen av klimagassutslipp. Rapporten dokumenterte blant annet en økning i utslippene av klimagasser og konkluderte med at det er nødvendig å begrense temperaturøkningen for å redusere konsekvensene av klimaendringene. For å oppnå dette må det globale utslippet av klimagasser reduseres med 40-50% innen 2030 sammenlignet med nivåene fra 2010 [1]. Klimagassutslipp må kuttes til null innen 2050 for å begrense klimaendringen til +1.5 K.

Rapporten «6th Assessment Synthesis Report», publisert av IPCC, understreket viktigheten av å ta nødvendige tiltak for å redusere klimagassutslippene i løpet av det neste tiåret. Tiltakene inkluderer å øke bruken av fornybar energi og redusere avhengigheten av fossile brensler, samt å innføre karbonpriser og reguleringer som kan stimulere til lavutslippsalternativer. [1]

En rapport fra 2018 [2] viser at bygg- og anleggssektoren er en stor bidragsyter til energibruk og CO<sub>2</sub>-utslipp på globalt nivå. Rapporten viser at sektoren står for 36% av energibruken og 39% av energirelaterte CO<sub>2</sub>-utslipp. Videre viser rapporten at det er en økning i både energibruk og utslipp knyttet til bygg og anlegg på verdensbasis [2]. En stor andel av utslippene fra sektoren er knyttet til produksjonen av elektrisitet og varme. Dette skyldes i stor grad den økende bruken av energiintensive klimaanlegg og oppvarmingsystemer i bygninger. Det er også betydelige utslipp knyttet til produksjonen av byggematerialer, hvor produksjon av sement står for en stor andel av CO<sub>2</sub>-utslippene [2]. Rapporten peker på at det er et stort potensial for å redusere utslippene knyttet til bygg- og anleggssektoren. Dette kan oppnås gjennom bruk av mer energieffektive byggematerialer og byggemetoder, samt ved å øke bruken av fornybar energi i bygninger. Det er også viktig å utvikle og implementere grønnere teknologier og systemer for å redusere utslippene fra produksjon av byggematerialer og produksjon av elektrisitet og varme.

For å redusere utslippene knyttet til bygg og anlegg, må vi være oppmerksomme på materialvalg og energikilder. TEK17 stiller allerede krav til lavt energibehov og miljøvennlig energiforsyning i Norge, men det er ingen offisielle krav til klimagassutslipp knyttet til bygg og materialer. Imidlertid er det nå foreslått krav om klimagassregnskap for bygningsdeler under klassifisering 22-26 i henhold til bygningsdeltabellen, samt krav om maksimalt utslipp på 6 og 4,5 kgCO<sub>2</sub>-eqv/m<sup>2</sup> BTA for henholdsvis bolig- og yrkesbygg [3].

Selv om det ikke er krav om klimagassberegninger for VVS-installasjoner i den nye versjonen av TEK, indikerer tidligere studier at disse installasjonene utgjør en betydelig del av byggets totale klimagassutslipp, og derfor bør det fokuseres mer på dette området.

Norge har forpliktet seg til å redusere klimagassutslippene med 50% innen 2030, og en reduksjon i bygg og anleggsbransjen er derfor avgjørende for å nå disse målene. Regjeringen har utarbeidet en handlingsplan for å oppnå bærekraftsmålene, og en av punktene er å utarbeide krav og forskrifter som stiller klimakrav ved byggeprosjekter og krav om dokumentasjon av byggevarer [1].

En av utfordringene i dag er mangelen på enkle beregningsverktøy for både bygninger, bygningsdeler og produktgrupper, samt begrenset tilgang og varierende kvalitet på EPDer [4].

Forskningsprosjektet Grønn VVS har som mål å redusere klimagassutslippene knyttet til VVS-installasjoner med 50% sammenlignet med bransjestandarden, samt utvikle en ny tjeneste for prosjektering av VVS-installasjoner med lavere miljøpåvirkning enn dagens praksis. For å oppnå dette må det utføres flere studier for å skape et robust kunnskapsgrunnlag og representative referanseverdier knyttet til utslipp av VVS-installasjoner.

## 1.2 Mål for oppgaven

Forskningsprosjektet "Grønn VVS" ved OsloMet har engasjert meg som forfatter av denne oppgaven for å utforske materialer som kan brukes i ventilasjonskanaler. Målet er å redusere klimagassutslippene forbundet med ventilasjonssystemer.

Ventilasjon er viktig for å sikre god luftkvalitet og et sunt innemiljø i bygninger. Dessverre kan installasjon, drift, produksjon og avhending av ventilasjonssystemer føre til høye klimagassutslipp. Materialvalget for ventilasjonskanaler spiller en avgjørende rolle, da noen materialer har høyere klimagassutslipp enn andre.

Denne rapporten vil undersøke ulike materialer som kan brukes i ventilasjonskanaler og deres påvirkning på klimagassutslipp. Dette inkluderer:

1. Vurdering av materialenes livssyklus, fra produksjon og transport til installasjon og avhending
2. Intervjuer med personer fra relevante fagområder som leverandører, entreprenører, fagfolk, montører og prosjekterende
3. Evaluering av miljøpåvirkningen og kostnadseffektiviteten til materialene i forhold til eksisterende alternativer

Basert på disse punktene vil forfatteren kartlegge:

- Hvilke kanalprodukter og materialer som finnes på markedet i dag
- Funksjonelle krav som må oppfylles for ventilasjonskanaler
- Materialer for kanaler som er forbundet med lavest klimagassutslipp i et livssyklusperspektiv
- Kanalgeometri som bruker minst materiale
- Den mest bærekraftige transportløsningen
- Kanalutforming og monteringsystem som er mest praktisk for ombruk.

Resultatene fra prosjektet vil bidra til økt kunnskap om ulike materialer som kan brukes i ventilasjonskanaler og gi bedre informasjon til byggebransjen om miljøvennlige alternativer. Dette kan føre til en reduksjon i klimagassutslippene fra ventilasjonssystemer og bidra til en mer bærekraftig byggebransje.

### 1.3 Omfang og disponering av tid

Gjennomføring og behandling av intervjuer har vært en omfattende og tidkrevende prosess i dette prosjektet. Først måtte det opprettes kontakt med utvalgte respondenter per e-post for å avtale tid og sted for intervjuet. En standardisert e-post ble brukt, med mindre det var nødvendig med små tilpasninger. Hvis noen respondenter ikke svarte, ble de oppringt.

Totalt ble det gjennomført 18 intervjuer. Forberedelser ble gjort for hvert intervju, inkludert tilpasning av intervjuguide til intervjukandidatens rolle. De fleste intervjuene ble gjennomført over Teams, mens noen ble gjort over telefon. Varigheten på intervjuene varierte fra 60 til 90 minutter.

Alle de intervjuene over teams ble videofilmet, mens de over telefon ble tatt opp, og disse opptakene ble transkribert til tekst i Word-format. Dette var en krevende og tidskrevende oppgave, ettersom intervjuobjektene er eksperter på sine områder og gir mye informasjon i løpet av intervjuene. Transkripsjonene ble gjennomgått flere ganger for å sikre at all relevant informasjon ble fanget opp. Hver transkripsjon tok omtrent fem timer med effektivt arbeid, men pauser var nødvendig på grunn av den konsentrasjonskrevende naturen av oppgaven.

Til slutt ble de 18 transkripsjonene kategorisert i et Excel-ark, og dette arbeidet antas å ha tatt fire effektive arbeidstimer per intervju. Totalt utgjorde gjennomføring og behandling av intervjuene den største arbeidsmengden i prosjektet, og det var en nødvendig del av arbeidet for å oppnå de ønskede resultatene. All rådata og transkribert tekst ble slettet ved prosjektets slutt.

## 2 Teori

I dette kapittelet presenteres det teoretiske rammeverket for oppgaven. Sentrale ord og begreper som miljøbelastning, klimagassutslipp, GWP, CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, LCA, EPD og PCR blir definert og forklart. Videre vil viktige standarder og prinsipper som er relevante for oppgaven bli beskrevet.

Det vil også være relevant å se på miljøbelastning fra byggenæringen. Byggenæringen har en betydelig innvirkning på miljøet, og det er derfor viktig å forstå hvordan byggeprosesser påvirker miljøet og hvordan miljøbelastningen kan reduseres.

### 2.1 Klimagassutslipp og miljøbelastning

Menneskers miljøbelastning på kloden kan defineres som all negativ påvirkning av miljøet som skyldes menneskelig aktivitet eller inngrep. Dette kan inkludere utslipp av klimagasser [5][6].

Menneskelig aktivitet har ført til en rekke negative endringer i miljøet. Blant disse endringene er nedbrytning av ozonlaget i stratosfæren, forurensning av land og vann gjennom forsurening, luftforurensning i form av fotokjemisk oksidasjon og global oppvarming på grunn av økte konsentrasjoner av klimagasser i atmosfæren. Klimagasser kan forkortes til GHG, som står for "greenhouse gas" på engelsk. Økte utslipp av klimagasser som karbondioksid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), lystgass (N<sub>2</sub>O) og fluorholdige gasser som SF<sub>6</sub>, HFKer og PFKer har ført til global oppvarming, som er en av de mest alvorlige miljøbelastningene vi står overfor i dag. Denne oppgaven vil fokusere spesifikt på miljøbelastninger som skyldes økte utslipp av klimagasser [7].

#### 2.1.1 GWP og CO<sub>2</sub>e

Globalt oppvarmingspotensial (GWP) er en måling som brukes til å sammenligne ulike klimagasser og deres potensielle påvirkning på global oppvarming [6]. GWP måler hvor mye varme en gass kan fange opp i atmosfæren i forhold til karbondioksid (CO<sub>2</sub>) over en gitt tidsperiode, vanligvis 100 år. CO<sub>2</sub> er dermed standarden med en GWP på 1.

Ved å bruke GWP kan man sammenligne utslipp av ulike klimagasser på en enhetlig måte, da alle gassene blir omregnet til CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (CO<sub>2</sub>e). For eksempel vil en utslippsmengde på 1 tonn metan ha en klimaeffekt tilsvarende 28 tonn CO<sub>2</sub>e over en periode på 100 år, ettersom metan har en GWP på 28.

GWP gir dermed en indikasjon på hvilken klimaeffekt ulike gasser har, og kan være nyttig for å prioritere og planlegge tiltak for å redusere utslipp av klimagasser. GWP brukes også i forbindelse med klimaregnskap, som er en systematisk måte å kartlegge og rapportere en organisasjons eller produkts klimagassutslipp på.

## 2.2 Byggematerialer og klimagassutslipp

Byggematerialer spiller en stor rolle når det gjelder menneskeskapt klimagassutslipp på globalt nivå. Produksjon, transport og avfallsbehandling av byggematerialer utgjør store mengder av utslipp av drivhusgasser gjennom hele livsløpet til en bygning [8][9][10]. Dette inkluderer utslipp fra produksjon av råvarer, energiforbruk under produksjon, transport av materialer til byggeplassen, bygging av selve bygningen, bruk av bygningen og til slutt avhending eller gjenvinning av materialene etter at bygningen har tjenestegjort.

Med tanke på at byggeaktiviteten ikke ser ut til å avta, kan man forvente at byggematerialer vil fortsette å være en betydelig kilde til klimagassutslipp i fremtiden. Det er derfor nødvendig å finne og implementere løsninger som kan redusere klimagassutslippene fra byggematerialer og byggeprosesser. Dette kan inkludere å velge materialer som er mer bærekraftige og energieffektive i produksjon og transport, bruke fornybar energi i produksjonsprosessen og gjenvinne materialer etter endt levetid.

I byggenæringen er klima og miljø nå et viktig tema. De siste ti årene har det vært økt fokus på energi- og miljøprestasjoner i bygg [12]. Selv om klimagassutslipp knyttet til energiforbruk i driftsfasen har vært hovedfokuset, blir nå vurdering av materialbruk stadig viktigere. Det er økende fokus på tiltak som ombruk og rehabilitering for å redusere bundne klimagassutslipp fra byggematerialer [13][14].

I 2020 kartla NIBIO og Civitas på oppdrag fra Klima- og miljødepartementet barrierer og muligheter for lavutslippsmaterialer i bygg [15]. Barrierer som ble identifisert var mangel på kunnskap generelt, inkludert prosedyrer, metoder og modeller for beregning av klimagassutslipp. Det er også usikkerhet rundt miljødeklarasjoner (EPDer) og mangel på kunnskap om vedlikehold, drift og levetid for materialer og produkter.

Asplan Viak på oppdrag for Enova SF utarbeidet også en lignende rapport samme år [11], der de pekte på mangel på kunnskap som en barriere for utvikling mot mer klimavennlig materialbruk i byggeprosjekter. Begge rapportene nevner også tiltak som å stille krav til materialprodusenter om dokumentasjon av klimagassutslipp som viktig.

Sammenlignet med andre byggevareprodukter, er tilfanget av miljødeklarasjoner (EPDer) for VVS-installasjoner begrenset per dags dato [11].

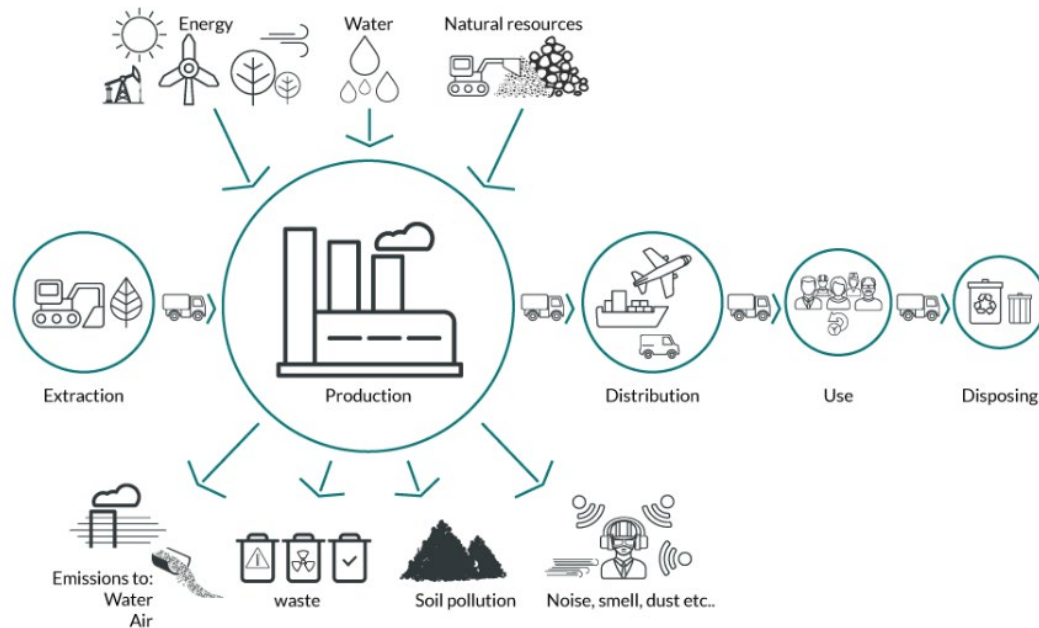
### 2.2.1 VVS-installasjoner i bygg

Varme-, ventilasjon- og sanitærteknikk (VVS) er en viktig del av byggteknologi, og omfatter installasjoner som er ansvarlige for byggets funksjonalitet og komfort. Dette inkluderer systemer for oppvarming, kjøling, ventilasjon, sanitær, og brannsikkerhet. Komponentene i disse systemene kan være komplekse, og omfatter luftaggregater med vifter, luftfiltre, lyddempere, varmegjenvinnere, og varme- og kjølebatterier [16][17].

Selv om VVS-installasjoner har kortere levetid enn selve bygningskroppen, utgjør de en stadig større andel av byggets samlede klimagassutslipp. Dette skyldes økt rehabilitering av eksisterende bygningsmasse. Dessverre er klimagassutslipp fra VVS-installasjoner fortsatt et lite berørt tema, og manglende kunnskap og regelverk gjør det ofte vanskelig å inkludere det i klimagassvurderinger av bygningsmaterialer [18].

## 2.3 LCA, Livsløpsvurdering

LCA står for Livssyklusanalyse, og det er en metode som brukes til å kartlegge de potensielle miljøpåvirkningene til produkter og tjenester gjennom hele livssyklusen. Dette inkluderer råvareutvinning, produksjon, distribusjon, bruk og avhending. For hver av disse livssyklusfasene kartlegges forbruk av materialer, energi og tjenester, samt generering av utslipp og avfall. [25]



Figur 1: De ulike fasene som er med i LCA analysen [25]

LCA gir en helhetlig og systematisk tilnærming til å evaluere miljøpåvirkningene av et produkt eller en tjeneste (figur 1). Ved å analysere hele livssyklusen kan man identifisere områder der miljøpåvirkningene kan reduseres, og dermed bidra til mer bærekraftig produksjon og forbruk. [25]

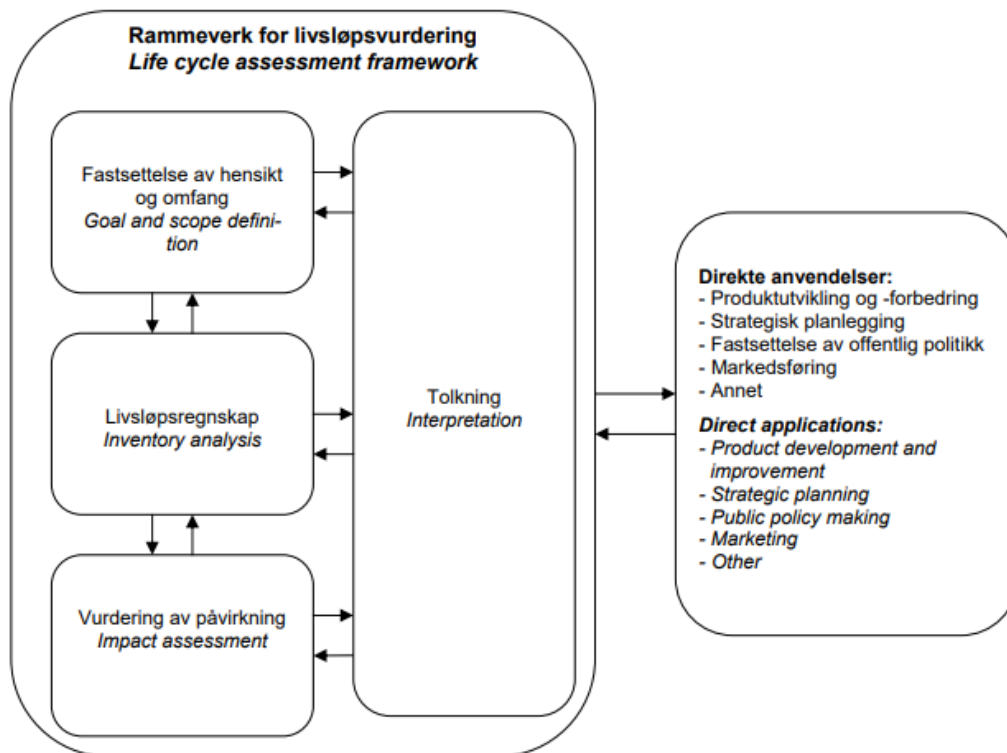
LCA-metoden har blitt stadig mer avansert og sofistikert, med utvikling av nye verktøy og databaser som gjør det enklere å utføre en LCA-analyse. LCA bidrar til å øke bevisstheten om miljøpåvirkninger og til å fremme bærekraftige valg og handlinger i ulike sektorer av økonomien

### 2.3.1 Standarder for LCA

Det er to ledende internasjonale standarder for Livssyklusanalyse (LCA), ISO 14040 [20] og ISO 14044 [21]. ISO 14040 beskriver prinsippene og rammeverket for LCA, mens ISO 14044 spesifiserer krav og gir retningslinjer for gjennomføringen av en LCA.

Disse standardene etablerer metoder for å gjennomføre en LCA-studie som måler miljøpåvirkningen av et produkt fra "vugge til grav". Ifølge den norske oversettelsen av ISO 14040:2006 [20], består en LCA-studie av fire faser (figur 2):

1. Definisjon av mål og avgrensning: Definerer av mål og avgrensninger for LCA-studien.
2. Livssyklusvurdering (LCA): Samling av data om miljøpåvirkningen fra alle livssyklusfaser for produktet.
3. Vurdering: Evaluering av miljøpåvirkningen i henhold til målene og avgrensningene som ble definert i fase 1.
4. Tolking: Tolking og presentasjon av resultatene fra LCA-studien, inkludert identifisering av muligheter for forbedringer og vurdering av usikkerhet og sensitivitet.



Figur 2: trinnene i LCA [28]

LCA er et viktig verktøy for å vurdere miljøpåvirkningen av produkter og tjenester, og standardene ISO 14040 og ISO 14044 gir en strukturert tilnærming til å utføre en LCA-studie på en pålitelig og sammenlignbar måte.

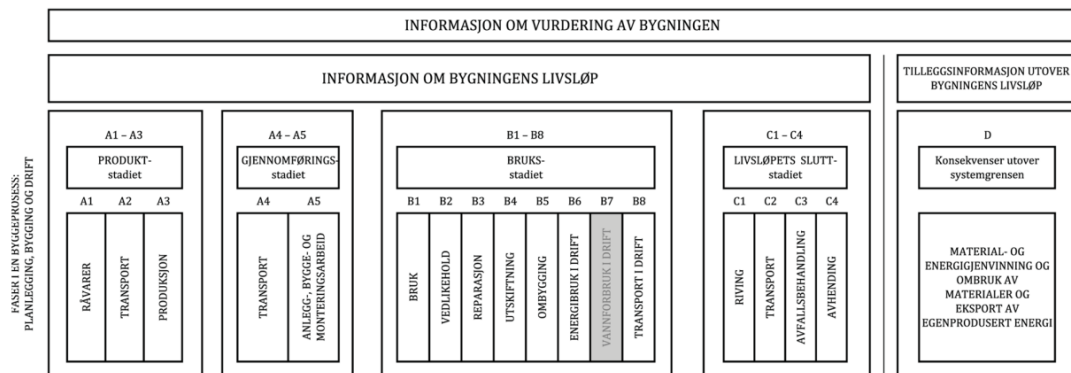
EN 15978 og NS 3720:2018 er standarder som gir metoder for å vurdere klimagassutslipp fra bygg. NS 3720:2018 "Metode for klimagassberegninger for bygninger" [22] presenterer en tilpasset metode og regler for å utføre en LCA av bygninger som er tilpasset norske forhold, og bygger på den europeiske standarden EN 15978 [26]. Forskjellen mellom den norske og europeiske standarden er at



NS 3720:2018 avgrensar beregningene til utslipp fra klimagasser og inkluderer en ny modul, B7, for transport i bruksfasen.

For å utføre LCA av bygninger i henhold til NS 3720:2018, må man fastsette en funksjonell ekvivalent som inkluderer bygningstype, tekniske og funksjonelle krav, totalt bruttoareal (m<sup>2</sup> BTA) og påkrevd levetid. Standarden organiserer systemgrenser for LCA i stadier og moduler, som også brukes i EPDer for å vurdere byggevarer, prosesser og tjenester. Livsløpet, vugge-til-grav, er delt inn i produksjonsstadier (modul A1-A3), gjennomføringsstadier (modul A4-A5), brukstid (modul B1-B8) og livsløps-slutt (modul C1-C4) [22].

Bundne utslipp er akkumulerte klimagassutslipp knyttet til materialer og byggeprosesser gjennom hele livsløpet, inkludert utvinning av materialer, transport til produsent, produksjon, transport til byggeplass, montering, utskiftning, riving og avfallsbehandling. Operasjonelle utslipp er utslipp knyttet til drift, som bruk, vedlikehold, reparasjon, ombygging, energibruk i drift og transport i drift. Modul D vurderes utenfor systemgrensene for analysen, og bruken er valgfri selv når en fullstendig livssyklusanalyse av bygningen utføres. Figur 3 presenterer en oversikt over livsløpsmoduler i henhold til standarden.



- A1-C4 moduler som livsløpet kan inndeles i
- D omfatter tilleggsproduksjon utøver bygningens livsløp
- B8 ny modul sammenlignet med NS-EN 15978 - modul for transport av brukere av bygningen
- B7 omfattes ikke av denne standarden, med unntak av den energibruk som kreves for distribusjon og oppvarming av forbruksvann som inngår i modul B6.

Figur 3: Informasjon om en bygnings livsløp (illustrasjonen er fra NS 3720 og er tilpasset fra NS-EN 15978). Livsløpet er inndelt i stadier der hvert stadium er underinndelt i moduler.

## 2.4 Standardisering av miljøprestasjon

Det finnes mange forskjellige måter å dokumentere miljøprestasjoner på, og noen av disse har mer kvalitet og kredibilitet enn andre. For å sikre at miljøprestasjonen til produkter og tjenester blir dokumentert på en troverdig og standardisert måte, har International Organization for Standardization (ISO) utviklet standarder for miljømerker og miljødeklarasjoner i ISO 14020-serien [19][20]

ISO 14020-serien gir veiledning for etablering av miljømerker og deklarasjoner basert på tre merketyper: I, II og III.

**Type I**-merker er uavhengig verifiserte miljømerker som blir tildelt produkter og tjenester som oppfyller strenge miljøkrav. Disse merkene gir forbrukere en enkel og klar indikasjon på at produktet er miljøvennlig. Eksempler på type I-merker inkluderer Svanen og Blomsten i Norden, samt Energy Star og EU Ecolabel på globalt nivå [ISO 14024].

**Type II**-deklarasjoner er egenproduserte miljødeklarasjoner som produsenter kan utstede for sine produkter. Disse deklarasjonene er ikke uavhengig verifiserte, men gir likevel nyttig informasjon om produktets miljøpåvirkning og kan være et nyttig verktøy for miljøstyring og kommunikasjon [ISO 14021].

**Type III**-miljødeklarasjoner (EPD) er basert på livssyklusanalyse og gir en grundig og omfattende dokumentasjon av produktets miljøprestasjon. Disse deklarasjonene inkluderer informasjon om hele livssyklusen til produktet, fra produksjon til avhending, og gir detaljert informasjon om produktets miljøpåvirkning på ulike områder, som energiforbruk, utslipp og avfall [ISO 14025].

### 2.4.1 PCR, Produktkategoriregel

Før en miljøprodukterklæring (EPD) kan utvikles, må det finnes en produktkategoriregel (PCR) for den aktuelle produktkategorien [23]. PCRer gir nødvendige regler, krav og retningslinjer for å utarbeide en EPD for en spesifikk produktkategori.

PCRer utvikles basert på en prøve-LCA (livssyklusvurdering) og gir veiledning om funksjonell enhet, omfang for LCA og datakvalitet. Vanligvis er PCRer utviklet i samsvar med den europeiske standarden EN 15804, men det finnes også andre utviklere av PCR. Ved å bruke de samme LCA-metodene for alle produktgrupper sikrer standarden at EPD-ene kan sammenlignes.

Det har blitt utviklet en ny PCR for ventilasjonsprodukter: NPCR 030:2021 [133]. Denne PCR-en inneholder viktige retningslinjer for levetid (Referanselevetid, bestemt av produsentene) og deklarte enheter for ventilasjonskanaler i EPD-ene (CO<sub>2</sub>e per løpemeter). Dokumentet supplerer de grunnleggende reglene for produktkategorien for byggeprodukter som er definert i EN 15804 og NPCR del A, og er ment å brukes sammen med disse standardene. Hensikten med NPCR 030:2021 er å gi retningslinjer for utviklingen av EPD-er for ventilasjonskomponenter og ytterligere spesifisere kravene i livssyklusvurderingen (LCA). De grunnleggende reglene som gjelder for alle byggeprodukter er allerede beskrevet i standarden EN 15804, NPCR del A og relevante publiserte tilleggs-PCR-er (c-PCR). Det forventes at de som utarbeider EPD-er er kjent med disse reglene og standardene.

For at en PCR skal være gyldig, må den publiseres av en programoperatør. Gjennom prosessen med å utvikle en EPD og følge retningslinjene i PCR-en, vil man få informasjon om produktets miljøpåvirkning. Dette kan hjelpe forbrukere og bedrifter til å ta mer informerte beslutninger når det gjelder miljøvennlige produkter og tjenester.

#### 2.4.2 EPD, Miljødeklarasjon

En EPD er en kortfattet dokumentasjon som oppsummerer miljøprestasjonen til en komponent, et ferdig produkt eller en tjeneste over hele livssyklusen [21]. EPDen utarbeides ved hjelp av en livssyklusanalyse (LCA) i henhold til den internasjonale ISO 14040-serien. Dokumentasjonen viser den beregnede miljøbelastningen for det deklarerte produktet per deklarerert enhet, som for eksempel meter, kubikkmeter, kilogram eller stykk. Miljøbelastning måles i form av globalt oppvarmingspotensial og oppgis i kilogram CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per deklarerert enhet. Ifølge NS 3720:2018 finnes det to nivåer av datakvalitet for EPDer, nivå 1 og 2 [22].

På nivå 1 er datakvaliteten spesifikk for et konkret produkt, og all data som brukes i EPD-en er nøye vurdert og oppfylder kriteriene for Type III i henhold til ISO 14025. Dette sikrer at dokumentasjonen gir nøyaktige og pålitelige opplysninger om miljøprestasjonen til produktet.

På nivå 2 er datakvaliteten noe mer generell. Dette omfatter LCA-data som ikke oppfylder kravene til nivå 1. Dette kan gjelde EPDer for gjennomsnittlige produkter, generiske EPDer eller såkalte bransje-EPDer for ett eller flere produkter. Selv om dataene på nivå 2 er mindre spesifikke, gir de likevel verdifull informasjon om produktets miljøpåvirkning og kan hjelpe forbrukere og beslutningstakere med å ta mer informerte valg.

#### 2.4.3 Programoperatører for miljødeklarasjoner

Programoperatøren har ansvaret for å utarbeide, vedlikeholde og kvalitets sikre EPDer, samt å opprettholde offentlig tilgjengelige lister og registreringer av PCR og EPD [24][21].

ECO platform er en paraplyorganisasjon for de ulike nasjonale programoperatørene i Europa, som samarbeider for å garantere et sammenhengende rammeverk for EPDer. Blant medlemmene finner vi programoperatører for byggenæringen som IBU i Tyskland, PEP ecopassport i Frankrike, International EPD i Sverige og EPD Norge i Norge. Andre programoperatører innenfor byggesektoren inkluderer INIES i Frankrike, UL Environment i USA og Bau EPD i Australia.

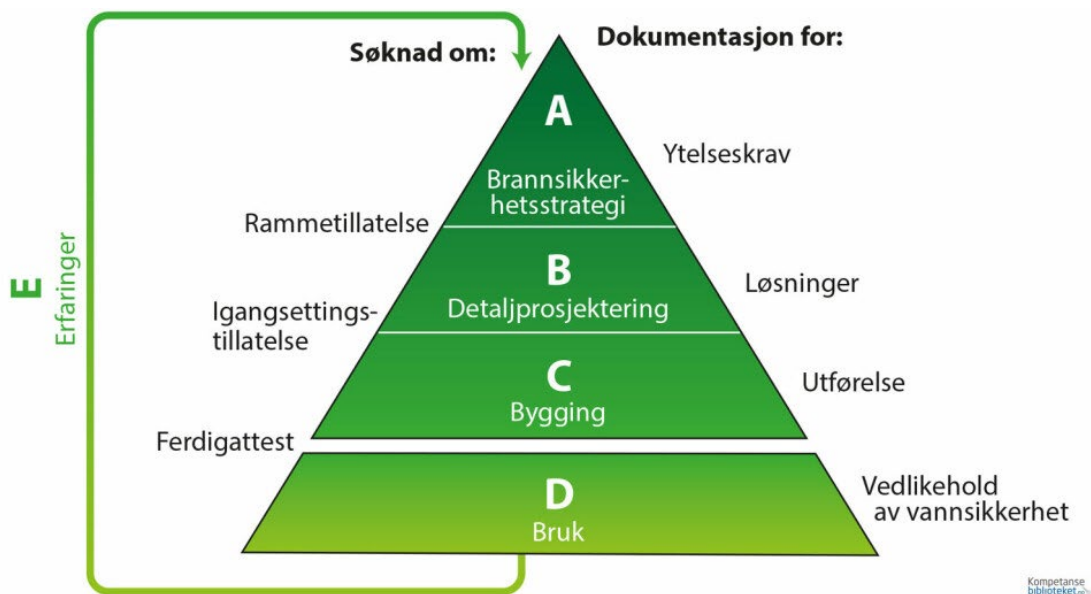
Programoperatørene spiller en viktig rolle i å sikre kvaliteten og påliteligheten til EPDer, og sørger for at de følger retningslinjene som er fastsatt i PCR. Dette er avgjørende for å sikre at EPDer gir nøyaktig og pålitelig informasjon om produktets miljøpåvirkning, og dermed kan være nyttige for både bedrifter og forbrukere som ønsker å ta mer miljøvennlige valg.

## 2.5 Brannsikkerhetsstrategi

Brannsikkerhetsstrategien, også kjent som brannsikkerhetskonseptet, er en rapport som beskriver hvordan byggverket oppfyller de branntekniske kravene. Rapporten fungerer som en overordnet plan for å oppnå fastsatte brannsikkerhetsmål og utarbeides av en brannrådgiver (RIBr - Rådgivende Ingeniør Brann) [117]. Brannsikkerhetsstrategien inkluderer tegninger og beskrivelser av bygningens branntekniske utforming. Den verifiserer at byggverket oppfyller myndighetskravene og danner grunnlaget for detaljprosjekteringen i ulike fagområder som arkitektur, byggteknikk, VVS, elektro osv [117]. Figur 4 viser nivåene for dokumentasjon av brannsikkerhet i ulike faser av byggets utvikling.

**Steng-inne-strategi:** Denne strategien sørger for at røyk og brann blir stengt innenfor branncellen. I dette prinsippet er det nødvendig å installere brannspjeld i brannveggen der ventilasjonskanalen krysser mellom to celler. Når en brann eller røyk oppdages, vil brannspjeldene automatisk lukkes, og hindre spredning av røyk, varme og giftige gasser via kanalsystemet til resten av bygningen [118].

**Trekk-ut-strategi:** Denne strategien innebærer at røyk og brann trekkes ut ifra branncellen og fraktes ut av bygget. Ved en brann blir viftene i systemet kjørt på full styrke i en begrenset tid for å hindre spredning av røyk. Noe av røyken fjernes via avtrekkskanalen, mens trykket i tilluftskanalen forhindrer at røyken kommer inn i kanalen [118].



Figur 4: Ulike nivåer for dokumentasjon av brannsikkerhet i forhold til byggets faser [117]

### 3. Metodikk

I dette kapitlet beskrives forskningsdesignet som er brukt i denne masteroppgaven. Kapitlet setter søkelys på den valgte metoden og hvordan den forholder seg til alternative metoder. De ulike problemstillinger knyttet til valg av metode blir diskutert i boken "Hvordan gjennomføre undersøkelser?" [27]. Flere av disse problemstillingene vil bli diskutert i dette kapitlet.

For å undersøke virkeligheten, skilles det vanligvis mellom to strategier: induktive og deduktive metoder. I denne masteroppgaven har den induktive metoden blitt valgt. Forskeren starter med å samle relevant informasjon og systematiserer deretter dataene for å finne korrelasjoner, det vil si å gå fra empiriske data til teori. Forskeren nærmer seg forskningsspørsmålet med mest mulig åpenhet og samler data med så få begrensninger som mulig [27].

Den deduktive tilnærmingen er et alternativ til den induktive metoden. Her danner forskeren en forventning om hvordan virkeligheten er basert på tidligere empiriske funn og teorier. Kritikken av denne tilnærmingen er at ved å danne spesifikke forventninger, begrenser forskeren tilgangen til informasjon og kan risikere å oversette viktig informasjon [27]. Formålet med denne masteroppgaven er å få en oversikt over utfordringene knyttet til ventilasjon i byggeprosjekter. Dette anses som en kompleks prosess med mange roller, faser og et komplekst samspill. Basert på dette anses den induktive metoden som mest egnet for denne oppgaven.

I denne masteroppgaven er formålet å utforske ulike materialer som kan benyttes i ventilasjonskanaler, samt å finne muligheter for å redusere klimagassutslippene forbundet med ventilasjonssystemer. Dette skal oppnås ved å analysere materialenes livssyklus, fra produksjon og transport, til installasjon og avhending. Gjennom å studere og evaluere ulike materialer i lys av deres miljøpåvirkning, vil oppgaven forsøke å finne alternative og mer bærekraftige materialer som kan benyttes i ventilasjonskanaler. Målet med forskningen er å øke forståelsen av utfordringene som helhet, heller enn å kvantifisere hver enkelt utfordring. For dette formålet er den induktive forskningsdesig godt egnet. Basert på formålet med oppgaven og forskningsdesignet, velges en kvalitativ metode i kombinasjon med en litteraturstudie for å støtte funnene.

Metodene som skal brukes i denne master oppgaven er:

1. Litteraturstudie
2. Kvalitative intervju

Kombinasjon av ulike metoder blir kalt for metode-triangulering. Den vanligste måten å triangulere på er å bruke en kombinasjon av kvalitative og kvantitative forskningsmetoder, men kombinasjonen av litteraturstudie og kvalitativ forskning er også relatert til metode-triangulering [27].

### 3.1 Litteraturstudie

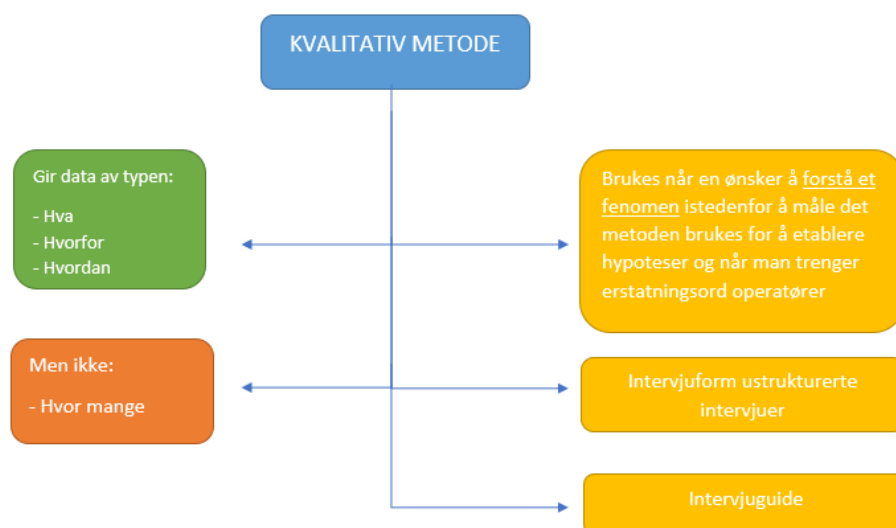
I forbindelse med denne masteroppgaven har det blitt gjennomført litteratursøk for å identifisere to typer litteratur. Den første typen er relevant teori som gir leseren nødvendig informasjon om grunnlaget for oppgaven og forklarer de ulike temaene som behandles. Teorien er hovedsakelig hentet fra lærebøker, tidsskrifter og annen relevant litteratur. For å finne teorien i form av lærebøker, ble OsloMet Bibsys benyttet som kilde.

Den andre typen litteratur er relevant forskning, også kjent som "state of the art". Dette gir en oversikt over tidligere utført forskning og de funnene som er gjort i forhold til problemstillingen i oppgaven. For å kunne få en omfattende oversikt over eksisterende produkter, materialer og funksjonskrav til kanalsystemet ble forskrifter og standarder som er listet opp i vedlegg E brukt. For å samle informasjon om kanalmaterialenes egenskaper, fordeler, ulemper og klimapåvirkninger, ble søkemotorer som Scopus, Science Direct og Google Scholar benyttet.

### 3.2 Kvalitativ intervjueteknikk

En kvalitativ intervjumetode er en måte å samle inn primærdata på når man ønsker å forstå et fenomen mer grundig. Dette gjøres ved å intervjuere personer som har erfaringer, kunnskap eller meninger om det aktuelle fenomenet. Kvalitative metoder er spesielt nyttige når problemstillingen er kompleks eller når man ønsker å forstå motivasjonsmønstrene bak en handling [28].

Hensikten med kvalitative metoder (figur 5) er å samle inn data som kan hjelpe forskeren å forstå og analysere fenomenet i dybden. I stedet for å fokusere på å tallfeste informasjonen, er det mer viktig å fange opp kvalitative aspekter som kan hjelpe til med å forklare fenomenet og dets sammenheng [28].



Figur 5: Flytskjema for kvantitativ metode

Kvalitative metoder kan også brukes til å etablere hypoteser som deretter kan testes ved hjelp av kvantitative metoder. På denne måten kan kvalitative og kvantitative metoder kombineres for å gi en helhetlig forståelse av fenomenet. Oversikt over hva kvalitativ metode innebærer er vist i figur 5.

### 3.3 Valg av respondenter

Kvalitative undersøkelser står forskerne ofte overfor utfordringer med tidsbegrensninger og begrensninger på antall respondenter som kan inkluderes i studien. Utvalget av respondenter som blir valgt har en betydelig innvirkning på påliteligheten og troverdigheten til forskningen [27]. I denne undersøkelsen har intervjukandidatene alle en viss kunnskap om ventilasjon materialer og deltar i byggeprosjekter der valg av løsninger direkte eller indirekte påvirker ventilasjonen.

I kvalitative intervjuer er det ikke nødvendig å ha et stort utvalg, i motsetning til kvantitative intervjuer. Det er anbefalt en øvre grense på 20 respondenter på grunn av tidskrevende datainnsamling og informasjonsrike data som krever grundig analyse [27]. Professor Bente Halkier uttalte til Videnskap.dk at det sjelden er nødvendig å intervjuer mer enn åtte personer hvis forskeren velger respondentene systematisk [29]. På grunn av at mange ulike roller kan gi ulik og interessant informasjon om problemstillingen, ble det i første omgang valgt fem intervjukandidater per rollegruppe og totalt fem forskjellige roller. Dette gir et utvalg på 25 kandidater.

Intervjukandidatene er valgt ut i tråd med anbefalinger fra veiledere, samt litt personlig erfaring fra bransjen. Det ble anbefalt mange flere personer fra de ulike rollene, men det var ikke mulig å nå frem til alle sammen. Basert på et bakgrunnssøk på de mulige intervjukandidatene og en sammenligning av anbefalingene fra de de ulike veilederne, er det valgt ut 25 personer som antas å kunne belyse problemstillingen godt. Noen av respondentene frafalt på grunn av vanskeligheter med organisering av møte eller på grunn av høy arbeidsbelastning, mens andre personer trakk seg fra undersøkelsen, og det ble dermed totalt 18 intervjuer som ble med i denne masteroppgaven. Disse er beskrevet i tabell 1.

Tabell 1: Intervjukandidatene som har deltatt i undersøkelsen

	Navn	Firma	Stilling
1	Kari Thunshelle	SINTEF	Senior forsker
2	Geir Fossum	Firesafe	Leder for slokkesystemer
3	Tore Stenbråten	TROX	Produktutviklingssjef
4	Lars-Åke Mattsson	Lindab	Produktutviklingssjef
5	Erik Sjölund	Lindab	Product management
6	Matilda Isaksson	Lindab	Sustainability
7	Sigurd Haugli	SWEGON	Avdelingsleder WISE
8	Jørgen Ludvigsen	SWEGON	Salgs- og markedsjef for kanal og montasje
9	Morten Danielsen	Ventistål	Kvalitets, HMS, EPD og Stål ansvarlig
10	Nina Selboskar	Ventistål	Markedssjef
11	Marius Taxt	Ventistål	Avdelingsleder Ventilasjon
12	Eirik Frede Larsen	Ventistål	Produktutviklingssjef
13	Henrik Stene	GLAVA	Produktsjef Teknisk Isolasjon / Marine
14	Kai Håkon Dahl	GLAVA	Salgsingeniør Teknisk Isolering
15	Steffen Enger	LS Solland	Avdelingsleder VVS
16	Rolf Asp	Protekno	Avdelingsleder VVS
17	Firat Gurbuz	Assemblin	Prosjektleder VVS
18	Finn Drangsholt	Pensjonist	Forsker / Rådgiver / Byggherre

### 3.4 Intervjuguide

Kvalitative intervjuer er en vanlig metode for å samle inn data i mange forskningsfelt. Jacobsen anbefaler at intervjuene bør være noe strukturerte for å sikre at alle viktige tema blir belyst. En måte å oppnå dette på er å utarbeide en intervjuguide som beskriver de viktigste temaene som skal tas opp i intervjuet. Intervjuguiden kan bidra til å sikre at intervjueren ikke overser viktige tema eller glemmer å stille viktige spørsmål.

En intervjuguide kan ha ulike utforminger, og i denne oppgaven har intervjuguide en strategisk utforming med en strukturert gjennomføring med forberedte spørsmål. Dette betyr at intervjueren har forberedt spørsmål på forhånd og har en klar plan for hvordan intervjuet skal gjennomføres. Spørsmålene i intervjuguide er i stor grad åpne, det vil si at de ikke har svaralternativer. Dette gir respondentene frihet til å gi utdypende og detaljerte svar uten å bli begrenset av forhåndsbestemte svaralternativer.

I tillegg legger intervjuguide lite føringer og begrensninger på respondentene. Dette kan være nyttig for å sikre at respondentene ikke føler seg ledet av intervjueren, og at de føler seg frie til å gi uttrykk for sine egne meninger og tanker om temaene som blir tatt opp.

Det er verdt å merke seg at selv om intervjuguide kan bidra til å sikre en strukturert gjennomføring av intervjuet, kan det være nødvendig å være fleksibel og tilpasse seg respondentenes svar og kommentarer. Intervjueren må også være lydhør og være villig til å endre kurs hvis det er nødvendig for å få tak i relevant informasjon. Intervjuguiden er lagt ved som vedlegg C

I begynnelsen av intervjuet avklares det om intervjukandidaten er kjent med temaet for intervjuet og om de tillater videoopptak eller samtaleopptak. Dette er viktige forutsetninger for å kunne gjennomføre intervjuet på en god måte og sikre at det blir mulig å gjengi intervjusituasjonen i etterkant. De ble også informert om at dette er en kvantitativ studie for å kartlegge generell kunnskap i bransjen og at ingen av kandidatene skulle på noe vis bli sitert.

Deretter åpnes intervjuet med enkle spørsmål om intervjukandidatens stilling, bakgrunn og i hvilken grad bedriften arbeider med prosjekter der det er fokus på forskjellige kanalmaterialer. Disse spørsmålene tjener to formål:

1. Å bekrefte den innhentede informasjonen om intervjukandidaten
2. Å varme opp intervjusituasjonen for å forberede intervjukandidaten på de mer detaljerte spørsmålene som vil komme senere i intervjuet

Etter de innledende spørsmålene kommer spørsmål om de forskjellige kanalkvalitetene. Først blir det stilt et veldig åpent spørsmål om hvilke løsninger de har vært med på, både generelt og i bedriften som intervjukandidaten arbeider for, og hvor utbredt disse løsningene er. Dette spørsmålet gir intervjukandidaten frihet til å nevne ulike løsninger og kan gi verdifull innsikt i intervjukandidatens generelle kunnskap om temaet.

Deretter vil intervjueren nevne ulike kanalkvaliteter, både de som intervjukandidaten allerede har nevnt og de som intervjueren selv kjenner til. Dette kan gi intervjukandidaten muligheten til å reflektere over og diskutere disse løsningene mer konkret. Ved å stille spørsmål om ulike kanalkvaliteter kan intervjueren få en dypere forståelse av hvordan bedrifter arbeider med de ulike løsningene, hvilke utfordringer de møter og hva som fungerer godt i praksis.



Det er verdt å merke seg at spørsmålene som stilles kan variere avhengig av intervjukandidatens kunnskap og erfaring med temaet. Intervjueren har derfor vært fleksibel og tilpasset spørsmålene til intervjukandidatens bakgrunn og kunnskap. Det er også gitt intervjukandidaten rom til å utdype sine svar og å følge opp på eventuelle interessante poenger som kommer opp underveis i intervjuet.

Intervjuguiden har en strukturert gjennomføring med forberedte spørsmål som åpner opp for åpne svar, uten å legge begrensninger på respondenten. Hovedfokuset er å få respondentene til å uttale seg fritt og uavhengig av intervjuerens personlige meninger eller innspill. Det åpne spørsmålet som åpner intervjuet, om stilling, bakgrunn og bedriftens fokus på valg av kanalmaterialer, gir respondentene en trygg start og forbereder dem på hovedspørsmålene.

Videre i intervjuguiden blir spørsmålene gradvis mer spesifikke, men først etter at respondentene har fått uttalt seg fritt om temaet. Dette for å unngå at respondentene blir farget av spørsmålenes utforming. Problemstillingen blir presentert, og respondentene blir spurt om å bekrefte antagelsen om at *«Det er kjent i bransjen at ventilasjonskanaler for yrkesbygg skal være Spriokanaler (galvanisert stål) og for boligbygg (småhus) kan det brukes plastkanaler»*.

Viktige temaer som barrierer for bruk av de forskjellige kanakvalitetene i henhold til forskrifter, lover og regler, de forskjellige scenariene de forskjellige kanalkvalitetene kan brukes i som tilluft, avtrekk, inntak og avkast, de forskjellige brannkravene som dukker opp i henhold til kryssing av brannceller og generell utforming av ventilasjonsanlegget blir også belyst.

Samlet sett har intervjuguiden en strategisk utforming med en åpen og strukturert tilnærming som sikrer at alle viktige temaer blir belyst og respondentene får uttalt seg fritt. Dette gir en rikere og mer detaljert informasjon, som gir et bredere og mer realistisk bilde av situasjonen.

I kvalitative intervjuer er det vanlig å ha en viss grad av fleksibilitet og tilpasning til intervjukandidatens svar og perspektiver. Derfor er det viktig at intervjueren kan tilpasse seg situasjonen og stiller oppfølgingsspørsmål der det er nødvendig for å få ytterligere informasjon og presiseringer [27].

Videre er det vanlig at ikke alle spørsmålene som stilles i intervjuguiden, gir like interessante og relevante funn. Derfor har de mest relevante og informative funnene blitt presentert i rapporten. Dette ble gjort for å sikre at rapporten blir mer fokusert og presis, og at leseren ikke blir overveldet med unødvendig informasjon. Summen av dette er at kvalitative intervjuer krever en viss grad av fleksibilitet og tilpasning, og at det er viktig å velge ut de mest relevante funnene for å presentere i rapporten. Det er også viktig å være oppmerksom på intervjukandidatens perspektiver og stille oppfølgingsspørsmål der det er nødvendig for å få ytterligere informasjon og presiseringer [27].

### 3.5 Analyse og presentasjon av resultater

For å kunne komme frem til gode resultater intervjuene som ble gjort om til transkripsjoner, måtte innholdet systematiseres og forenkles. En innholdsanalyse ble utført for å bearbeide transkripsjonene. Denne analysen tar utgangspunkt i at uttalelsene fra respondentene kan sorteres i ulike tema, og dermed kategoriseres. Kategoriene brukt i analysen samsvarer i stor grad med temaene i intervjuguiden. Disse kategoriene er organisert i et Excel-ark, med temaene vertikalt og respondentene horisontalt. Hver transkripsjon er gjennomgått og all relevant informasjon er kopiert inn i de aktuelle kategoriene. Dette danner grunnlaget for å finne sammenhenger, siden uttalelsene til alle intervjuobjektene knyttet til et tema enkelt kan sammenlignes.

For hver kategori som forfatteren har analysert, er alle sitatene tatt ut av Excel-arket og limt inn i et Word-dokument. Deretter er hvert utsagn sortert i kapitler etter hvilke problemstillinger de støtter opp under. Alle uttalelsene som er gjort i oppgaven er anonymisert og ikke knyttet til navnet på respondenten. Dette er gjort med hensikt for å unngå at oppgaven skal favorisere eller diskreditere noen av produktene som blir omtalt. Ved å anonymisere uttalelsene kan leseren fokusere på informasjonen som blir presentert og vurdere den uavhengig av hvem som har sagt det. Dette sikrer at funnene som presenteres er så objektive som mulig. Det er kun der det er nødvendig å bruke direkte sitater for å underbygge et funn eller ta opp et viktig poeng som ikke kommer frem på annen måte, at navnet på respondenten blir brukt. I slike tilfeller har intervjukandidaten spesifikt godkjent at deres navn blir knyttet til sitatet.

Resultatkapittelet i oppgaven fokuserer på funnene som ble påpekt av et større antall respondenter, i tillegg til data som ble analysert fra gjeldende EPD-er. Kapittelet er delt inn i kategorier som man finner i en livssyklusanalyse, nemlig produksjon, installasjon, transport, end-of-life og gjenbruk. Ved å organisere funnene på denne måten, blir det lettere å identifisere utfordringer som går igjen i ulike faser av produktets livssyklus. Det er viktig å merke seg at utfordringer som bare blir påpekt av en enkelt respondent kan være viktige, men samtidig kan de også være et resultat av den enkelte personens spesifikke erfaringer og derfor ikke nødvendigvis gjeldende for en større del av bransjen. Derfor er det kun funn som blir påpekt av flere respondenter som inkluderes i resultatene, for å sikre at de er representative for en større del av målgruppen, da dette gir en bedre indikasjon på problemområdene som er relevante for bransjen som helhet. Dette gir en mer helhetlig og pålitelig beskrivelse av produktets livssyklus og eventuelle utfordringer som må tas hensyn til. Som nevnt under *omfang og disponering* av tid ble all rådata og transkribert tekst slettet ved prosjektets slutt.

### 3.6 Vurdering av funnenes kvalitet

Når en forsker utfører undersøkelser, er det viktig å oppnå konklusjoner med høy grad av gyldighet og pålitelighet. Dette betyr at funnene er relevante for den problemstillingen som undersøkes og at de er pålitelige. For å vurdere kvaliteten på innsamlet data og konklusjoner, er det avgjørende at forskeren gjennomfører en kritisk drøfting av gyldighet og pålitelighet [27]. Hva slike tester innebærer, blir forklart i påfølgende delkapitler.

I denne undersøkelsen er gyldighet og pålitelighet diskutert under evaluering av metode kapittelet. Det skiller mellom intern gyldighet, ekstern gyldighet og pålitelighet i forbindelse med undersøkelser [27].

#### **Intern gyldighet**

Intern gyldighet refererer til hvorvidt funnene i en undersøkelse er korrekte. Dette er spesielt viktig i kvalitative undersøkelser der det er nødvendig å undersøke om fenomenene er beskrevet og oppfattet riktig. Validering er en metode for å teste intern gyldighet, og kan utføres ved at forskeren kritisk går gjennom sine egne resultater og/eller ved å sammenligne funnene med andre undersøkelser. En måte å validere funnene på i kvalitative undersøkelser er ved å konfrontere intervjuobjekter med viktige funn og konklusjoner, og be dem vurdere om de er enige og kjenner seg igjen.

En annen måte å vurdere gyldighet på, er ved å sammenligne konklusjonen med annen forskning. Hvis andre undersøkelser med ulike metoder kommer fram til samme konklusjon, vil dette styrke validiteten. Det er også nødvendig å vurdere kilder kritisk, inkludert graden av kunnskap kildene har, nærhet til fenomenene, motiver for å lyve, uavhengighet og om de uttaler seg uoppfordret.

For å vurdere analysen av dataene bør de anvendte kategoriene vurderes. En mulighet er at ulike forskere gjennomfører en kategorisering av dataene. En annen viktig målsetning i en undersøkelse er å avdekke sammenhenger og forklare hvorfor et fenomen oppstår. Dette krever at forskeren stiller kritiske spørsmål og vurderer om fenomenene kan forklare hverandre. For å skille mellom vurderinger og faktiske funn i en rapport, kan det være nødvendig å påpeke når forfatterens synspunkter uttrykkes [27].

#### **Ekstern gyldighet**

Ekstern gyldighet, også kjent som overførbarhet, handler om i hvilken grad funnene fra en undersøkelse kan generaliseres til en større sammenheng. Det skiller mellom to former for generalisering: fra empiri til teori og fra utvalg til populasjon [27].

Den første metoden går ut på å generalisere funnene fra et lite utvalg av respondenter til et teoretisk nivå. Dette er særlig relevant for kvalitative metoder, hvor undersøkelsen fokuserer på å forstå fenomener og sammenhenger på et dypere nivå. Det er viktig å være bevisst på at funnene kun gjelder for den spesifikke gruppen som har blitt undersøkt, og at det ikke nødvendigvis er mulig å generalisere funnene til andre grupper.

Den andre metoden går ut på å generalisere hvor ofte et fenomen forekommer i en større populasjon. Dette kan være utfordrende for kvalitative undersøkelser, da man vanligvis benytter et lite utvalg av respondenter som er valgt ut for et spesifikt formål. Likevel kan en forsker også i kvalitative undersøkelser gjøre seg opp en oppfatning av funnenes overførbarhet til en større

populasjon. Det kan gjøres ved å diskutere gyldighet og pålitelighet av funnene, og argumentere for hvorvidt funnene kan generaliseres til andre grupper.

En viktig faktor for å øke ekstern gyldighet er å være bevisst på hvordan utvalget ble valgt ut, og om det representerer den større populasjonen på en god måte. Hvis utvalget er representativt, øker sjansen for at funnene kan generaliseres til en større populasjon. Det kan også være nyttig å gjennomføre flere kvalitative undersøkelser på forskjellige steder og med forskjellige grupper, for å se om funnene gjelder på tvers av ulike kontekster og grupper.

I konklusjonen av en kvalitativ undersøkelse, bør forskeren gjøre en kritisk vurdering av funnenes overførbarhet og generaliserbarhet, og diskutere begrensningene og mulighetene for å overføre funnene til andre kontekster og grupper.

### **Pålitelighet**

Når en forsker gjennomfører en undersøkelse, vil både forskeren og deltakerne bli påvirket av undersøkelsesdesignet og utførelsen av undersøkelsen. For å vurdere påliteligheten til en undersøkelse, vil resultatene bli vurdert for å se om de er påvirket av forhold relatert til selve undersøkelsen. Det er tre faktorer som kan påvirke påliteligheten til en undersøkelse [27].

1. Respondentene bli påvirket av undersøkelsesopplegget. Enhver undersøkelse som ikke er hemmelig, vil utsette respondentene for stimuli og signaler som kan påvirke resultatene. Forskeren vil alltid påvirke personen som blir intervjuet, og dette kan skyldes asymmetriske maktforhold og hvordan spørsmålene blir stilt. Konteksten for intervjuet, som lokasjon, tidspunkt, naturlig eller unaturlig situasjon, og om intervjuet og spørsmålene kommer overraskende på respondenten, vil også påvirke resultatene.
2. Det oppstår unøyaktigheter i registreringen av data. Uansett hvor god innsamlingsmetoden er eller hvor dyktig forskeren er, vil alltid innsamlet data være bedre enn det forskeren klarer å registrere og behandle. Det anbefales å bruke en båndopptaker og en grundig metode for behandling av dataene for å minimere antall feil i registreringene.
3. Det oppstår unøyaktigheter i analysen av dataene. Når dataene skal sorteres i kategorier, må forskeren alltid utøve en viss grad av skjønn. Plassering av enheter er en vanskelig prosess som bør vektlegge stort fokus av forskeren.

Det kan oppstå asymmetriske maktforhold i kvalitative forskningsintervjuer, deriblant forskerens vitenskapelige kompetanse, intervjuerens kontroll over samtalen, enveis dialog, og intervjuerens monopol på å fortolke. Imidlertid har intervjueren mulighet til å gjøre grep som kan nærme seg en likestilling i intervjusituasjonen med hensyn til å stille spørsmål, fortolke og rapportere. Dette kan oppnås ved å stille kritiske spørsmål og supplere intervjukandidatens uttalelser med egne oppfatninger og fortolkninger [30].

Bruk av respondenter som er såkalte elitepersoner reduserer de asymmetriske maktforholdene. Dette er personer som er ledere eller eksperter, og som er vant til å bli spurt om sine meninger og tanker. En intervjuer som har en viss ekspertise innen fagfeltet, vil kunne utgjøre en interessant samtalepartner for elitepersonen. Ved å demonstrere god kjennskap til intervjutemaene, vil intervjueren få respekt og oppnå en viss grad av symmetri i intervjusituasjonen [30].

### 3.7 Innhenting av miljødata

Innsamling av miljødata kan være en omfattende og tidkrevende prosess. For å sikre god kvalitet på dataene og samtidig snevre inn søket, har det blitt satt opp visse kriterier for databasene og programoperatørene som benyttes. Kriteriene som er blitt fulgt ved innsamling av miljødata er som følger:

Først og fremst må EPD være deklarerert for Europa eller et land innenfor Europa. Miljødata utviklet på bakgrunn av norsk data prioriteres, men da det er begrenset med miljødeklarasjoner for kanalkvaliteter, har det vært nødvendig å benytte EPD utviklet med annen bakgrunnsdata. Det antas at produksjonen og transportmetodene for land i Europa er representative for Norge, da det opereres med harmoniserte standarder i EU og EØS-land.

For det andre må EPD være utviklet i henhold til EN 15804. Dette sikrer tredjepartsverifisering og antagelser basert på et års gjennomsnittstall.

Miljødata ble hovedsakelig hentet fra EPD-Norge, Ibu-EPD og the International EPD system. Imidlertid var det også nødvendig å hente data fra andre databaser og kilder for å få en fullstendig database. Programoperatører som er medlem av ECO Platform ble prioritert først, etterfulgt av andre programoperatører som INES og Ökuobaudat. Dette ble gjort for å sikre at databasen inneholder de mest relevante og pålitelige miljødataene.

### 3.8 Datakvalitet

I teorikapittelet diskuteres datakvalitet på nivå 1 og 2 i henhold til NS 3720:2018, som gir retningslinjer for datakvalitet innenfor geodata. Datakvalitet er et viktig aspekt ved enhver analyse, og kan påvirke resultatets pålitelighet og nøyaktighet. Ifølge standarden kan man vurdere robustheten til resultatene som følge av datakvaliteten. For at resultatene skal være optimalt pålitelige, bør all data være av datakvalitet på nivå 1. Dette betyr at dataene skal være nøyaktige, fullstendige, pålitelige og relevante. Imidlertid er det også viktig å erkjenne at oppgaven kan være basert på forutsetninger, som kan være knyttet til produsent, mengder, materiale eller funksjon. Derfor, selv om man ønsker å ha all data av datakvalitet på nivå 1, kan det være tilfeller der det ikke er mulig å oppnå dette.

I denne oppgaven bør all data anses å være av datakvalitet på nivå 2. Dette betyr at dataene fortsatt er pålitelige og relevante, men kan ha en viss grad av usikkerhet eller antakelser knyttet til dem. Det er viktig å være oppmerksom på eventuelle begrensninger og usikkerheter i dataene, og å forsøke å minimere dem så mye som mulig. Generelt er det viktig å være bevisst på datakvalitet når man utfører analyser, spesielt når man baserer resultatene på data som kan være usikre eller antagelsesbaserte. Å være bevisst på datakvalitet kan bidra til å øke påliteligheten av resultatene, og dermed støtte bedre beslutninger og handlinger.

### 3.9 Formler

#### Benevninger

#### Rektangulære kanaler

#### Stål

De ulike størrelser for rektangulære kanaler ble beregnet, og hvilken tykkelse på stål som ble brukt for ulike størrelser av kanalene. For å finne ut hvilken tykkelse på stål som ble brukt, ble det brukt EPD fra Ventistål, i tillegg til markedsanalyser og resultater fra intervjuer. Det ble funnet ut at for rektangulære kanaler der en av sidene var mindre enn 800 mm, ble ståltykkelsen satt til 0,7 mm. Hvis en av sidene var større enn 800 mm, ble ståltykkelsen økt til 0,9 mm.

For å kunne beregne vekten av stålet per løpemeter, ble det nødvendig å finne en delingsfaktor. Produsenten ble kontaktet for å finne denne delingsfaktoren, som gjorde det mulig å regne om enheten kg til en verdi per løpemeter. Delingsfaktoren inkluderer flensen på hver ende.

0,7 mm tykkelse:

$$x \text{ kg pr løpemeter} = \frac{A}{0,1633}$$

0,9 mm tykkelse:

$$x \text{ kg pr løpemeter} = \frac{A}{0,1285}$$

A = areal = m<sup>2</sup>

Formel som ble brukt for å beregne arealet til de rektangulære kanalene, der a og b er dimensjonene til kanalen og t er tykkelsen på kanalen. Det å beregne arealet på denne måten var nødvendig for å kunne estimere vekten av stålet per løpemeter.

$$A = 2 * (a + b) * \text{løpemeter}$$

$$x = \frac{\text{GWP}}{A} * A$$

A = areal = m<sup>2</sup>

a = bredde = m

b = høyde = m

Løpemeter = m

## Isolasjonskanaler og sandwichelementer

Enhetsverdiene som ble brukt for generelt flatpakket kanaler, som isolasjonskanaler og sandwich-elementer, var kvadratmeter. For å beregne klimapåvirkningen av disse flatpakkede kanalene, ble arealet av de ulike størrelsene funnet og GWP-verdiene ble deretter multiplisert med antall kvadratmeter. Dette indikerer at man har tatt hensyn til både størrelsen på kanalene og deres klimapåvirkning i form av GWP-verdier når man har gjort beregningene.

$$A = 2 * (a + b) * \text{løpemeter}$$

$$x = \frac{\text{GWP}}{A} * A$$

A = areal = m<sup>2</sup>

a = bredde = m

b = høyde = m

Løpemeter = m

### Sirkulære kanaler

## Stål

Kanaler blir analysert ved å bruke Lindab sin spesifikke miljødeklarasjon (EPD) for sirkulære kanaler. For hver kanaldimensjon ble det hentet vekt per meter. Formelen under ble brukt for å beregne de ulike fasene fra GWP i miljødeklarasjonen..

$$x = \frac{\text{GWP}}{\text{m}} * \frac{1 \text{ m}}{1,41 \text{ kg}} * \frac{\text{kg}}{\text{m}} * \text{løpemeter}$$

## Plastrør

Rør blir analysert ved å bruke geberit og pipelife sine spesifikke miljødeklarasjoner (EPD) for sirkulære rør. Enheten var gitt i per løpemeter spesifikk rør dimensjon DN110. Formelen under ble brukt for å beregne de ulike fasene fra GWP i miljødeklarasjonen..

$$A = 2 * \pi (r + t) * \text{løpemeter}$$

$$x = \frac{\text{GWP}}{A} * A * \text{løpemeter}$$

A = areal = m<sup>2</sup>

r = radius = m

t = tykkelse = m

Løpemeter = m

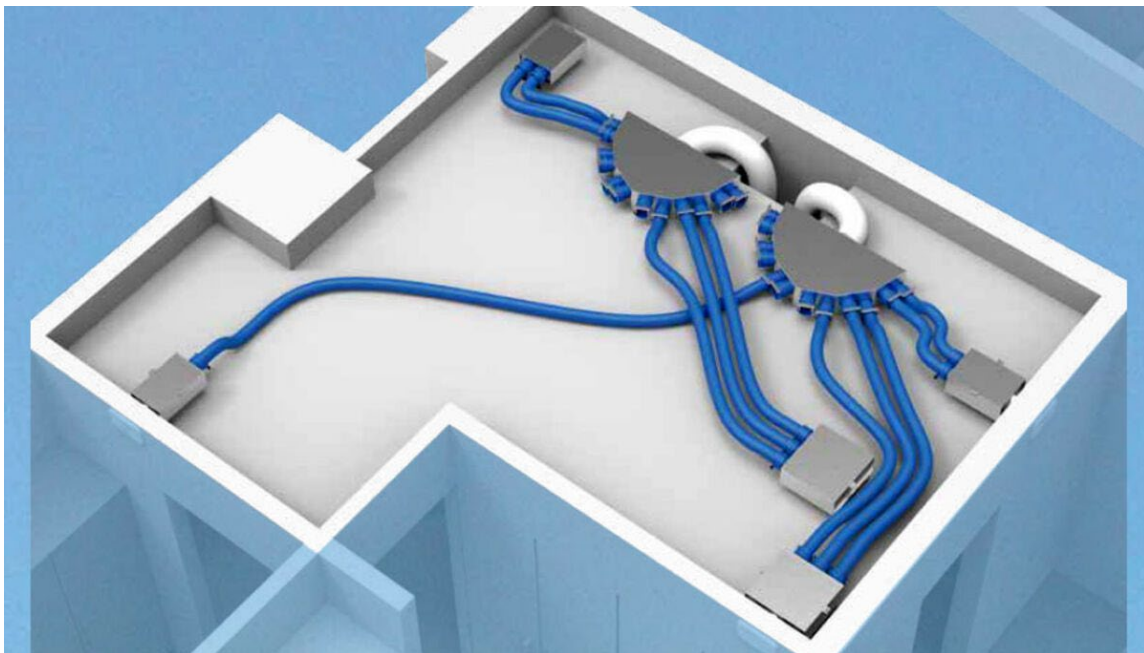
## 4 Kanalkvaliteter

I dette kapitlet skal vi se nærmere på noen av de mest brukte kanalkvalitetene i Norden. Disse kanalene er anerkjente og velkjente for deres kvalitetsprodukter og tjenester innen ventilasjonssystemer. De produktene som beskrives nærmere i denne rapporten er listet i tabell 2, i resultat kapitlet.

Det er verdt å merke seg at dette er bare noen av de mest brukte leverandørene av ventilasjonskanaler i Norden, og det finnes også andre anerkjente selskaper i regionen. Valg av leverandør kan avhenge av spesifikke prosjektkrav, budsjett, og individuelle preferanser.

### 4.1 TROX AuraFlex

TROX AuraFlex kanaler (figur 6) er ventilasjonskanaler som er laget av Polyetylen (PE) materiale, og er spesielt designet for bruk i boliger og andre bygninger. PE er et fleksibelt og slitesterkt materiale som tåler høye temperaturer og er resistent mot kjemikalier og korrosjon [31]. AuraFlex-kanalene har en utløpsstuss som er designet med to forskjellige anslutningsdiametre. Dette gjør det enkelt å koble til ventilasjonsrør med en diameter på enten 75 mm eller 90 mm. Utløpsstussen kan også låses fast på kanalen uten bruk av verktøy, ved hjelp av en enkel kanallås [31].



Figur 6: TROX AuraFlex kanalsystem [31]

AuraFlex-kanalene har mange fordeler sammenlignet med tradisjonelle spirorørsløsninger. De fleksible plastkanalene er enkle å montere og kan kuttes til ønsket lengde med en vanlig kniv. De kan også bøyes til en radius på opptil 30 cm, noe som gir en større grad av fleksibilitet enn spirorør. Dette gjør AuraFlex-kanaler spesielt velegnet for områder med begrenset plass [32].

AuraFlex-kanalene kan brukes i en rekke forskjellige applikasjoner, inkludert ventilasjonssystemer i isolerte områder, nedstøpt i betonggulv og tak, over himlinger og under gulv med tilstrekkelig plass til kanalene. Dette gjør dem til en allsidig løsning for ulike byggeprosjekter [32]





### 4.3 FLEXIT Polyflex

Flexit Polyflex kanal (figur 8) er en fleksibel tilpasningskanal som er spesielt utviklet for å tilkoble kjøkkenventilatorer til avtrekkskanaler eller avkast i yttervegg. Den kan også brukes til å avtrekke luft fra tørketrommel, tørkeskap eller punktavsug. Flexit Polyflex kanal leveres i ulike størrelser for å kunne tilpasses forskjellige avtrekksbehov. Ifølge produktinformasjonen fra produsenten [35] leveres Flexit Polyflex kanal i størrelser fra Ø100 til Ø150. Dette betyr at kanalen har en mulighet til å tilpasse mange forskjellige kjøkkenheter.



Figur 8: Flexit Polyflex kanal [35]

Flexit Polyflex kanal er produsert i plast og har et innvendig lag i aluminium som gir god beskyttelse mot varme og fuktighet. For å sikre styrke og holdbarhet er kanalen forsterket med en innkapslet ståltrådsspiral. Dette gjør at kanalen tåler bøyning og deformasjon, samtidig som den opprettholder en jevn og stabil form [36]. I tillegg til å tilby god styrke og fleksibilitet, er Flexit Polyflex kanal også klassifisert som brannsikker. Ifølge produsentens produktinformasjon oppfyller kanalen brannklassifisering D-s3, d0 i henhold til standarden EN 13501-1 + A1: 2009 [37]. Den er forsterket med en innkapslet ståls spiral som gir den ekstra styrke og fleksibilitet. Denne spiralen hjelper også slangen til å beholde sin form, selv når den bøyes eller strekkes [35]. Flexit Polyflex kanal er enkel å installere og kan tilpasses til ulike avtrekkskanaler og ventilatorer. Den er også enkel å rengjøre og vedlikeholde. Slangen har en lang levetid og tåler høye temperaturer og fuktighet.

Ifølge Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (TEK17) er det tillatt å bruke fleksible kanaler som Flexit Polyflex kanal for tilkobling mellom komfyrhette og avtrekkskanal. Dette er en preakseptert løsning, som betyr at den er forhåndsgodkjent av myndighetene [38]. Alt i alt er Flexit Polyflex kanal en pålitelig og fleksibel løsning for å tilkoble kjøkkenventilatorer til avtrekkskanaler eller avkast i yttervegg, og den kan også brukes til andre avtrekksformål i hjemmet.

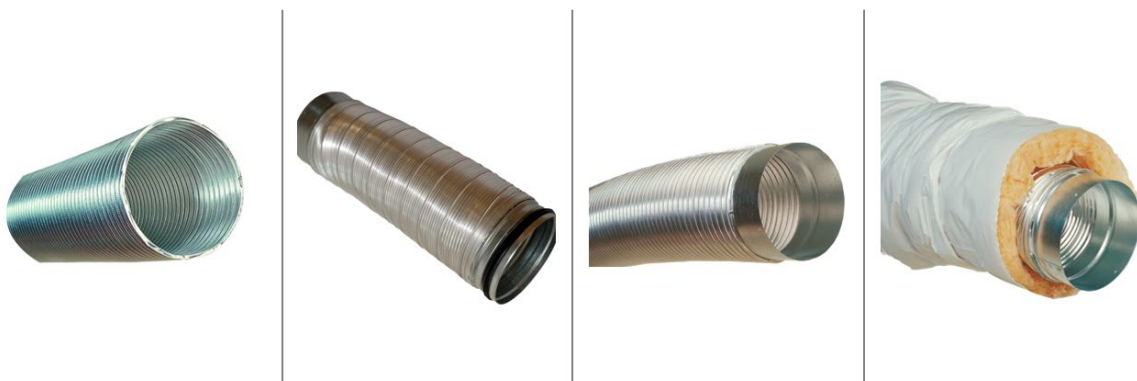
## 4.4 FLEXIT Flexikanal

FLEXIT Flexikanal (figur 9) systemet er fleksible kanaler som brukes til å lede luft i ventilasjonssystemer. Kanalene er laget ubrennbart materiale og av høykvalitets aluminium som gjør den slitesterk og motstandsdyktig mot korrosjon [39]. Den er også fleksibel og kan enkelt bøyes og tilpasses til ulike vinkler og dimensjoner i ventilasjonssystemet.

FLEXIT Flexikanal har flere fordeler som gjør den populær blant ventilasjonsfagfolk og entreprenører. En av fordelene er at den er enkel å installere og tilpasse. Kanalen kan kuttes til ønsket lengde og bøyes etter behov, noe som gjør at den kan passe til ulike typer ventilasjonssystemer.

Disse fins i fire forskjellige varianter:

1. **Aluminiumkanal Proff uisolert:** Kanalene er produsert i bestandig aluminium uten brennbare materialer. De leveres komprimert i 0,5 - 1m lengder, men kan trekkes ut til 1,5 - 3m ved montering. Uisolerte kanaler som denne kan brukes i oppvarmede rom eller steder hvor det er mulig å pakke kanalene godt inn i eksisterende isolasjon [40]. Leveres i kanaldiameter fra Ø100 til Ø200.
2. **Aluminiumskanal Proff isolert:** Isolert fleksibel ventilasjonskanal i aluminium med 50 mm isolasjon og muffe i hver ende. Kanalene er beregnet for bruk i kalde omgivelser der kondens kan oppstå. De leveres komprimert i ca. 100 cm lengder [41]. Leveres i kanaldiameter fra Ø100 til Ø200.
3. **Aluminiumkanal uisolert:** Uisolerte kanaler kan brukes i oppvarmede rom eller steder hvor det er mulig å pakke kanalene godt inn i eksisterende isolasjon. Disse kanalene er uten muffe i endene, og er beregnet til å brukes innenfor en branncelle, samt som korte tilpasningskanaler. De leveres komprimert og er omtrent 80 cm lange [42]. Leveres i kanaldiameter fra Ø100 til Ø160.
4. **Aluminiumskanal med muffe og nippel:** Uisolert aluminiumskanal med en muffe i den ene enden og en nippel i den andre. Kanalen leveres komprimert i en lengde på 18 cm, men kan trekkes ut til maksimalt 55 cm ved montering. Kanalen brukes vanligvis mellom ventilasjonsaggregat og tetteplate i tak, men kan også brukes i andre sammenhenger der det er behov for korte, fleksible gjennomføringer [43]. Leveres i kanaldiameter fra Ø125 til Ø200.



Figur 9: FLEXIT Flexikanal systemet [40][41][42][43]

## 4.5 SYSTEMAIR IS/UIS

Systemair er en ledende produsent av ventilasjonsprodukter og -systemer, og tilbyr en rekke kanalsystemer, inkludert IS (isolert) og UIS (uisolert) kanalsystemer (figur 10). Disse systemene brukes ofte i boliger, kontorer, og andre bygninger for å regulere luftstrømmen og sikre god luftkvalitet.

IS-kanalsystemene består av en isolert kanal, laget av metall, som gir god isolasjon og minimalt varmetap. Dette gjør IS-kanalsystemene spesielt effektive i områder med varierte temperaturforhold og mulighet for kondens. Ifølge Systemair [44] er de isolerte fleksible kanalene ideelle for installasjon i trange eller vanskelig tilgjengelige områder, og gir enkel og effektiv transport av ventilasjonsluft til de ulike rommene i bygningen.



Figur 10: Systemair IS/UIS kanaler [44]

En studie av Ljunggren et al. (2018) undersøkte termisk ytelse og lufttetthet av ulike typer isolerte fleksible kanaler, inkludert Systemairs produkter. Resultatene viste at Systemairs kanaler hadde god termisk isolasjon, med en lavere varmetap enn andre kanal typer. Videre ble det også påvist at Systemairs kanaler hadde god lufttetthet, som er viktig for å hindre lekkasjer og sikre effektiv ventilasjon [45].

UIS-kanalsystemene består av en uisolert kanal, laget av galvanisert stål eller aluminium, og brukes ofte i områder med moderate temperaturforhold. UIS-kanalsystemer er enklere å installere og krever mindre vedlikehold enn IS-kanalsystemer. Imidlertid kan UIS-kanalsystemer føre til økt varmetap og energiforbruk, spesielt i kaldere klima. Ifølge Systemair [44] er de uisolerte fleksible kanalene ideelle for installasjon i rom der termisk og akustisk isolasjon ikke er avgjørende.

En studie av Chao [46] undersøkte effekten av ulike faktorer på lekkasjer i ventilasjonskanaler, inkludert fleksible kanaler som Systemairs uisolerte kanaler. Resultatene viste at kanalenes design, dimensjoner og tetting hadde en betydelig effekt på lekkasjer og dermed effektiviteten av ventilasjonsanlegget.

## 4.6 SYSTEMAIR Tube F

Systemair Tube F (figur 11) er et fleksibelt kanalsystem laget av polyetylen (PE) som brukes til luftfordeling og ventilasjon i ulike typer bygninger. Ifølge Systemair [47], er Systemair Tube F en slitesterk og korrosjonsbestandig kanaltype med en glatt indre overflate som gir god luftstrøm og reduserer risikoen for luftmotstand og støy. En av fordelene med SYSTEMAIR Tube F er at det er svært fleksibelt og kan bøyes og vrís for å tilpasses ulike bygninger og ventilasjonsbehov. Kanalsystemet er også enkelt å installere, da det ikke krever spesielle verktøy eller festebraketter. Dette gjør det også enkelt å demontere og rengjøre kanalsystemet.



*Figur 11: Systemair Tube F er et fleksibelt kanalsystem [47]*

Systemair Tube F kanalene selges pr. meter og ønsket lengde kan oppgis ved bestilling. Materialet som brukes i produksjonen av fleksibel plastkanal er fysiologisk og toksikologisk ufarlig PE, uten skadelige tilsetningsstoffer. Kanalen er også luktfri, halogen- og utslippsfri, og oppfyller tetthetsklasse D i henhold til DIN EN 12237. I tillegg til å være antistatisk, har fleksibel plastkanal en maksimal kontinuerlig driftstemperatur på 50 °C. Kanalen har også en brennbarhetsklasse på UL 94 HB - DIN 4102: B2, som betyr at den har moderate brannegenskaper [48].

Fleksibel plastkanal er en kostnadseffektiv og enkel løsning for luftfordeling og ventilasjon i boliger, kontorer, industribygg og andre typer bygninger. På grunn av sin fleksibilitet, kan kanalen enkelt tilpasses til ulike installasjonssteder og luftfordelingsbehov.

#### 4.7 Duka PVC ventilasjonsrør

Duka PVC ventilasjonsrør (figur 12) er en type ventilasjonskanal laget av PVC-materiale, som er kjent for sin holdbarhet og motstandsdyktighet mot korrosjon. Disse rørene brukes ofte i ventilasjonssystemer i både boliger og næringsbygg. Kanalene har en godstykkelse på 2mm. Disse kanalene er tilgjengelige i størrelser fra 100mm til 150mm og kan kjøpes i lengder på enten 0,5 meter eller 1 meter [49].



*Figur 12: Duka PVC ventilasjonsrør [49]*

PVC er et materiale som er kjent for å være holdbart og motstandsdyktig mot korrosjon og slitasje. Dette gjør at Duka PVC ventilasjonskanaler er en pålitelig og langvarig løsning for ventilasjonssystemer.

## 4.8 Halton HSWCK

Halton HSWCK (figur 13) er et system for utlufting av matlaging som er designet for å være sikkert, effektivt og pålitelig. Systemet består av en enkeltvegget kanal som er laget av rustfritt stål og er egnet for både horisontale og vertikale installasjoner. Den er utformet for å imøtekomme de strenge kravene til utlufting av matlaging. Systemet er konstruert for å tåle høye temperaturer og er motstandsdyktig mot korrosjon og brann. Dette gjør det til et trygt og pålitelig alternativ for utlufting av matlaging. Halton HSWCK er enkelt å installere og vedlikeholde. Systemet er utformet for å være lett å montere og demontere, noe som gjør det enkelt å utføre vedlikeholdsarbeid når det er nødvendig. I tillegg er systemet enkelt å rengjøre og kan enkelt holdes i god stand [50].



Figur 13: HSWCK – Single wall grease duct (UL) [50]

Halton er en av lederene innen UL-godkjente fabrikkbygde systemer for fettavtrekk. Deres sveise-frie tetningssystemer er vurdert og testet av UL på forskjellige måter, inkludert [50]:

3. 500°F kontinuerlig intern temperatur
4. 2000°F i 30 minutter for å simulere en brann forårsaket av fett
5. Lekkasjetest som involverer brenning av raffinert svinefett
6. Lekkasjetest fylt med vann
7. 90" W.C. trykktesting
8. Støtte-, slag-, last- og volumtesting.

Halton sine fettavtrekk kommer i enkeltvegg, dobbeltvegg med redusert klaring og dobbeltvegg med null klaring. Disse inkluderer [50]:

9. Enkeltvegg, modell HSWG D
10. Dobbeltvegg med redusert klaring, modell HDWGD+1
11. Dobbeltvegg med null klaring, modell HDWGD-ZC



#### 4.9 ALNOR PP, PPs og PVC ventilasjonskanaler

Alnor produserer ventilasjonskanaler laget av ulike typer plast (figur 14), inkludert PVC, PP og PPs. PVC-kanalene er kostnadseffektive og har høy kjemisk motstandsevne, samt enkel montering takket være adhesivsammenføyning. Disse kanalene er egnet for bruk i boliger og andre bygninger, spesielt der ventilasjon laget av rustfritt stål eller galvanisert stål ikke er tilstrekkelig motstandsdyktig mot korrosjon.



Figur 14: ALNOR PP, PPs og PVC ventilasjonskanaler [51]

PVC-ventilasjonskanaler er de vanligste og mest installerte kanalene. PVC er det mest populære og økonomiske valget - det er preget av høy motstand mot kjemikalier, og kan dessuten sammenføres ved binding. PVC-kanaler brukes i mange industrielle anlegg, hovedsakelig i sektorer der ventilasjon laget av rustfritt stål eller galvanisert stål er utilstrekkelig med hensyn til motstandsdyktighet mot korrosjon [51].

PP-kanaler er holdbare, tette og korrosjonsbestandige. Disse kanalene har høyere temperaturrestandighet enn PVC, og det finnes også en flammebestandig versjon av PP. PP-kanaler er egnet for bruk i kjemisk industri, laboratorier og annen industriell ventilasjon [51].

PPs-kanaler er også holdbare, tette og korrosjonsbestandige. De er spesielt egnet for bruk i industriell ventilasjon der høy mekanisk styrke er nødvendig, og hvor kanalene vil bli utsatt for toksiske kjemikalier, som syrer og baser. PPs-kanaler er produsert ved å segmentere sammen plastark og er derfor dyrere enn PVC og PP-kanaler.[51]

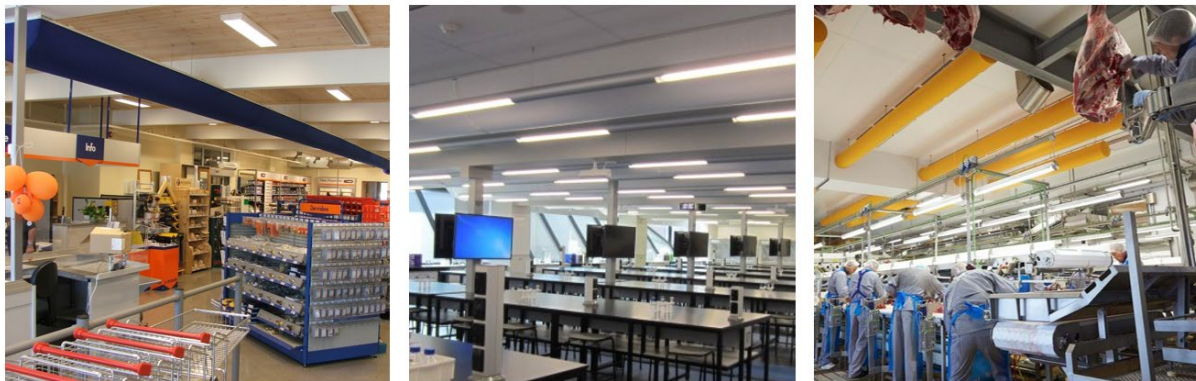


#### 4.10 KE Fibertecs tekstilkanaler

KE Fibertec (figur 15) produserer tekstilkanaler som brukes til ventilasjon, klimaanlegg og andre luftfordelingssystemer. Her er noen kilder som beskriver produktet og dets egenskaper:

Ifølge KE Fibertec [52]:

12. Tekstilkanaler er en miljøvennlig og energieffektiv løsning for luftfordeling. Tekstilkanalene er laget av et spesielt tekstilmateriale som gir en jevn og optimal luftfordeling, samtidig som det gir mulighet for enkel installasjon og vedlikehold.
13. Tekstilkanalene er fleksible og kan tilpasses forskjellige rom og bygningskonfigurasjoner. De er også motstandsdyktige mot fuktighet og mugg, noe som gjør dem egnet for bruk i fuktige eller våte omgivelser.
14. Tekstilkanaler er også et bærekraftig alternativ til tradisjonelle metallkanaler, da de kan produseres med lavere energiforbruk og karbonavtrykk. Ifølge selskapet kan tekstilkanalene produseres med opptil 90% mindre energiforbruk sammenlignet med produksjon av tilsvarende metallkanaler.



Figur 15: KE Fibertec tekstilkanaler [52]

Materialene som brukes av KE Fibertec er nøye utvalgt og testet for å oppfylle strenge branntekniske krav. I henhold til DS 428 (artikkel 3.8) må innblåsningsposser, som for eksempel tekstilkanaler, være laget av materialer som oppfyller kravene til klasse B-s1-d0. Dette sikrer at tekstilkanalene har høy brannmotstand og lav røyk- og flammeutvikling i tilfelle en brann. Selv om tekstilkanalene må være laget av klasse B-s1-d0-materialer, tillater DS 428 opptil 5% overflateareal av plast-dyser og lignende av klasse F-materiale, så lenge de er omgitt av klasse B-s1-d0-materialer. Dette gjør det mulig å bruke plast-dyser og lignende som tilbehør til tekstilkanalene uten at det går på bekostning av branntekniske krav. KE Fibertec har sørget for å velge materialer av høy kvalitet som oppfyller disse strenge kravene. Dette gir brukerne trygghet og sikkerhet når de bruker tekstilkanaler fra KE Fibertec i sine bygg- og ventilasjonsprosjekter [52].

#### 4.11 Uponors UVS-ventilasjonssystem

UVS-systemet (figur 16) fra Uponor er et fleksibelt og energieffektivt alternativ til tradisjonelle metallkanaler. Systemet er laget av plast og har en glatt indre overflate, noe som gir god luftstrøm og minimalt trykkfall. Dette gjør systemet ideelt for bruk i både nye og eksisterende bygninger [53].

Uponor UVS er et ventilasjonssystem som er spesielt utviklet for å legges i bakken, noe som gir mange fordeler og nye byggetekniske løsninger. Systemet gir større arkitektonisk frihet, sparer plass og kan minske byggehøyden, noe som ofte bidrar til en forbedret bygningsøkonomi. I tillegg kan systemet tilpasses spesifikke behov og gir mulighet for spesialtilpassede løsninger [53].



Figur 16: Uponor UVS-system [53]

Uponor UVS er at det er en tett løsning som kan installeres i områder med høyt grunnvannsnivå. Systemet har også en god varme- og lydisoleringsevne og en glatt innside med lav friksjonsmotstand. Ventilasjonssystemet er tilvirket i plastmaterialene Polypropen (PP) Ø 175-500 og Polyeten (PE) Ø 600- 2500, som er kjemikaliebestandige, tåler store påskjenninger og har lang levetid [53].

Materialene PP og PE er også gjenvinningsbare, og ved forbrenning dannes kun vann og karbondioksid, noe som gjør systemet miljøvennlig og bærekraftig. Uponor UVS er en velutprøvd løsning som har vært brukt i lengre tid og egner seg utmerket for ulike typer bygninger som skoler, sykehus, kontorbygg, leilighetsbygg og parkeringsgarasje i kjeller, samt for både nybygging og renovering av eksisterende bygninger [53].

Sammenfatningen av alle disse fordelene gjør Uponor UVS til en attraktiv løsning for de som ønsker å optimalisere byggetekniske løsninger og spare plass og kostnader i sine prosjekter.

## 4.12 CLIMAVER

Glava er en ledende produsent av bygningsisolering, og et av deres mest populære produkter er Climaver ventilasjonskanalsystem. Climaver (figur 17) er et fleksibelt ventilasjonskanalsystem som er utviklet for å redusere varmetap og støy, og for å gi en god luftkvalitet i bygg.

Climaver er et system bestående av glassullmateriale og en perforert aluminiumsfolie. Den er selvklebende, noe som gjør monteringen rask og enkel, samtidig som det sikrer at isolasjonen sitter tett og jevnt. Climaver-systemet består av tre forskjellige typer. Climaver A2 Neto, A2 Apta og A2 Plus er alle rektangulære kanalplater som er ubrennbare og laget av glassull med høy tetthet og kledning på begge sider. Den ytre kledningen består av et slitesterkt aluminiumsbelegg som fungerer som en dampsperrer og sikrer at kanalen er lufttett. Den indre kledningen er laget av sort glassfibervev som har utmerket lydabsorberende egenskaper [54].



Figur 17: Climaver system levert av GLAVA [54]

Den viktigste forskjellen mellom disse produktene ligger i deres tilleggsfunksjoner. Climaver A2 Apta gir enda bedre lydisolasjon og/eller varmeisolering sammenlignet med Climaver A2 Neto, mens Climaver A2 Plus har både ytre og indre kledning laget av samme robuste aluminiumsbelegg som fungerer som dampsperrer og sikrer at kanalen er lufttett [56][57][58].

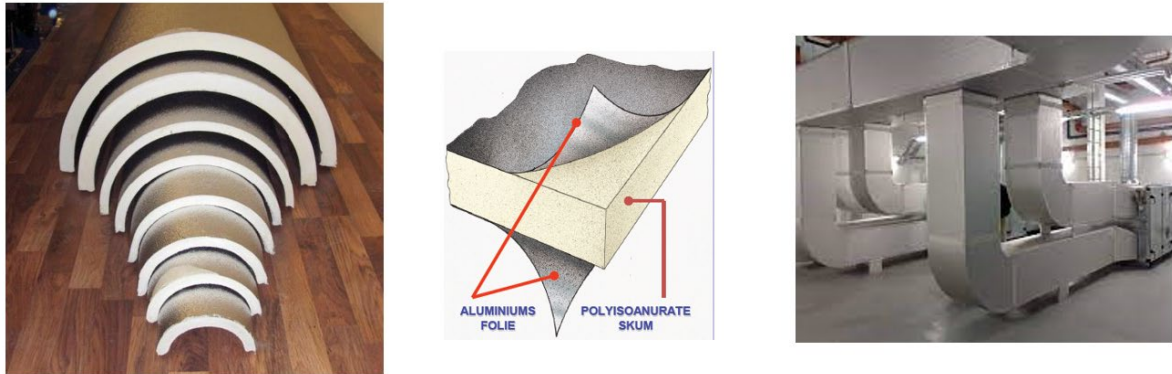
En av de største fordelene med Climaver er dens termiske og akustiske ytelse. Climaver-systemet reduserer varmetapet i kanalene og forhindrer kondensering, samtidig som det reduserer støy fra ventilasjonssystemet. Dette gir et behagelig inn klima og en mer energieffektiv bygning.

Glava fokuserer også på å gjøre Climaver-systemet miljøvennlig og bærekraftig. Climaver er laget av resirkulert glass, og Glava har en livssyklusanalyse for produktet som viser at det har et lavt klimaavtrykk. Produktet er også CE-merket og overholder de europeiske standardene for ventilasjonskanaler [55].

Climaver-systemet fra Glava er en pålitelig og effektiv løsning for ventilasjon i bygg, som gir en god luftkvalitet samtidig som det er miljøvennlig og energieffektivt. Disse kanalene er klassifisert A2-s1;d0, i henhold til NS-EN 13501-1:2018 [59].

## 4.12 IsoDuct Ventisål

Pre-isolerte ventilasjonskanaler, kjent som "pre-insulated aluminium ducts" er et produkt som ble utviklet i Italia. I Norge har disse kanalene blitt solgt og markedsført i 15 år under navnet Iso-Duct (figur 18). Produktet består av en sandwich-konstruksjon med preget aluminiumsfolie på hver side av en skumkjærne. Aluminiumsfolien er stucco preget og leveres i flere tykkelser, vanligvis 200  $\mu\text{m}$  og 80  $\mu\text{m}$ . I tillegg er folien lakkert med 13  $\mu\text{m}$  klar epoksy. Isolasjonen består av en støpt kerne i PIR skum (Polyisoanurate) [60].



Figur 18: IsoDuct kanalsystem [60]

Rektangulære plater til kanalene produseres i en kontinuerlig prosess og leveres vanligvis i lengder på 4000 mm. Runde kanaler støpes i faste former etter dimensjoner, og støpes i lengder på 3000 mm. Iso-Duct har også utviklet pre-isolerte runde kanaler i spiro dimensjoner som er produsert i Norge. Støping av runde Iso-Duct kanaler skjer nå i Sverige og selges kun av Ventistål AS [60].

Fordelene med pre-isolerte ventilasjonskanaler inkluderer enkel installasjon og en effektiv måte å redusere varmetap og støy i ventilasjonssystemer. Iso-Duct kanaler er spesielt egnet for bruk i bygninger som krever høy energieffektivitet og god luftkvalitet, som sykehus, skoler, kontorbygg og boliger. Som et resultat av deres pålitelighet og effektivitet, er pre-isolerte ventilasjonskanaler stadig mer populære i byggebransjen. De gir en effektiv og pålitelig løsning for å oppnå optimal luftkvalitet og energieffektivitet i bygninger. Iso-Duct kanaler er klassifisert B-s2;d0, i henhold til NS-EN 13501-1 [60].



### 4.13 Climate recovery

Climate Recovery (figur 19) er et komplett system for varme, kjøling og ventilasjon som er konstruert som et isolert kanalsystem. Systemet er hovedsakelig laget av glassull, sand og soda. For å sikre god isolasjon er det brukt en patentert CR aluminiumsfolie både på innsiden og utsiden av kanalene. Dette fungerer som en diffusjonssperre og hindrer fuktighet i å trenge inn i isolasjonen. CR ventilasjonskanaler er laget av gjenvunnet materiale, i motsetning til tradisjonelle kanaler laget av metall. CR bruker hovedsakelig resirkulert glass som smeltes på nytt, sammen med en liten mengde sand og soda. En annen fordel er at produksjonsprosessen krever betydelig mindre energi, opptil 70% mindre enn det som kreves ved tradisjonell produksjon av metallkanaler [61].

CR kanaler er produsert i henhold til standarddimensjoner etter NS EN 1507. De monteres vanligvis som sirkulære kanaler, men ved hjelp av en transformer kan de også gjøres om til rektangulære kanaler der det er nødvendig. Alle kanaler leveres flatpakket og vakuumert for å spare plass under transport og lagring. I tillegg kan CR kanaler resirkuleres den dagen det blir aktuelt, enten i form av nye ventilasjonskanaler eller som en komponent i asfalt. Dette gjør det også til en naturlig del av den sirkulære økonomien som stadig flere innen byggebransjen etterlyser [62]. CR kanaler er enkle å forme, lette i vekt, lydisolerte og enkle å transportere. Produksjon av metallkanaler bruker ofte nyskapt materialer, som bidrar til unødig bruk av begrensede ressurser.



Figur 19: Climate recovery system [61]

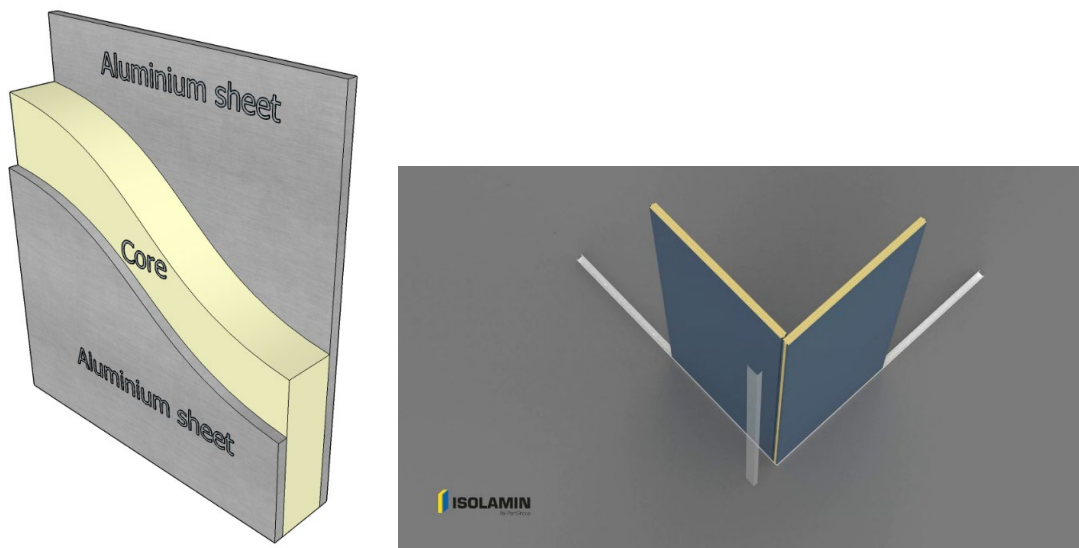
Ventilasjonskanalene kommer i flate pakker med opptil 85 kanaler på hver pall. Hver pakke veier ikke mer enn 10 kilo, så man trenger ikke å være en stor og sterk person for å håndtere dem. Sammenlignet med tunge metallkanaler, gjør dette monteringsarbeidet raskere og enklere, siden man unngår tunge løft eller tidkrevende tilskjæring [61].

Ventilasjonskanalene leveres sekskantede og bøyes enkelt til riktig form. I tilknytning til selve monteringen skjæres kanalene til riktig lengde med en vanlig kniv. Ingen andre verktøy er nødvendig. At kanalene er sekskantede, gjør det også enkelt å forme dem rektangulært når det er nødvendig. Kanalene leveres også ferdig isolert fra fabrikk, noe som sparer tid på byggeplassen [61]. Systemet er utformet med et c/c oppheng på 2,3 meter. Dette betyr at avstanden mellom opphengspunktene på kanalene er 2,3 meter, noe som gjør det enkelt å montere og installere kanalsystemet. CR kanalene er klassifisert A2-s1;d0, i henhold til NS-EN 13501-1:2018 [61].

#### 4.14 ISOLAMIN Sandwich

ISOLAMIN Fläktrumssystem (figur 20) er et komplett system for å bygge inn vifterom med vegger, tak, dører og tilkoblingsprofiler til kanaler. Systemet er basert på 33C-elementet, som er et sandwichpanel med en kjerne av tverrstilt mineralull med høy tetthet og en overflate av jevn, varmforzinket stålplate. Panelene har et tettsluttende skjøtesystem kalt C, som er trolig det tetteste på markedet og gir god fleksibilitet under montering. Systemet er testet og godkjent av anerkjente internasjonale testinstitusjoner for [63]:

- Brannklasse: Klassifisering Ei30, Ei60
- Lydreduksjon:  $R_w$  33 dB
- Lyabsorpsjon: Klassifisering A (1 side perforert)
- Trykkfasthet: Opp til tetthetsklasse D i henhold til EU-standard prEN-1507:2002 og tetthetsklasse D i henhold til VVS AMA 98, 57 luftbehandlingssystem samt tetthetsklasse C i henhold til Eurovent 2/2, 1996.
- Styrke: Elementene tåler opp til 2000 Pa ved 3000 mm spennvidde.



Figur 20: ISOLAMIN Fläktrumssystem sandwich elementer [63]

Panelkonstruksjonen er solid og reduserer behovet for bærekonstruksjoner i vifterommet. ISOLAMIN kan hjelpe med å beregne panelets styrke for spesifikke prosjekter, og leverer vanligvis skreddersydde paneler med tilpassede bredder for enkel montering. Ved behov kan de tilby materialspesifikasjoner og monteringstegninger for det enkelte prosjektet. ISOLAMIN Fläktrumssystem er egnet for innkapsling av vifterom og ventilasjonskanaler som utsettes for over- eller undertrykk. For ikke-belastede konstruksjoner finnes det andre passende ISOLAMIN-produkter. Isolamin sandwichpaneler er klassifisert A2-s1;d0, i henhold til NS-EN 13501-1:2018 [63].

## 5 Materialer

I dette kapitlet vil vi se nærmere på de forskjellige materialene som kan brukes for ventilasjonskanaler. Vi vil undersøke fordelene og ulempene med hver type materiale og vurdere deres klimapåvirkning.

Valg av materialer for ventilasjonskanaler har en direkte innvirkning på både inneklimate og det ytre miljøet. Materialvalg kan påvirke ventilasjonskanalenes styrke, holdbarhet, vekt, formbarhet og korrosjonsbestandighet. Det er viktig å velge et materiale som passer til de spesifikke kravene til ventilasjonssystemet og bygningen.

En annen viktig faktor som påvirker valg av materialer, er deres klimapåvirkning. Produksjonen av materialer kan ha en stor påvirkning på miljøet, inkludert klimaendringer, forurensning og ressursbruk. Derfor er det viktig å velge materialer som er bærekraftige og har minimal klimapåvirkning gjennom hele livssyklusen.

Ventilasjonskanaler er viktige komponenter i et ventilasjonssystem, da de sørger for å distribuere og transportere luften fra ventilasjonsaggregatet og ut i bygningen. Materialvalg for ventilasjonskanaler er viktig for å sikre optimal funksjonalitet og driftssikkerhet over tid. Tradisjonelt har ventilasjonskanaler blitt laget av stål eller galvanisert stål på grunn av deres styrke og holdbarhet, de forskjellige materialene vi skal studere nærmere er listet opp i tabell 3, i resultat kapitlet.

## 5.1 HDPE - High-Density Polyethylene

HDPE (High-Density Polyethylene) er et termoplastisk materiale som er kjent for sin styrke, holdbarhet og motstand mot korrosjon. Kanaler som er produsert i HDPE materiale er derfor populære i ulike bruksområder, inkludert vannbehandling, drenering og ventilasjon. HDPE er vanligvis produsert i form av pellets eller granulater, som kan smeltes og formes til ulike former og størrelser. Det er vanlig å produsere de ved hjelp av ekstruderingssteknikker, som innebærer at plastmaterialet blir smeltet og presset gjennom en dyse for å skape kanalene i ønsket form og størrelse. Denne produksjonsmetoden gjør det mulig å skape kanaler med jevn veggtykkelse og høy nøyaktighet [64].

Sammenlignet med kanaler laget av tradisjonelle materialer som stål, har HDPE-kanaler også en lengre levetid, lavere vedlikeholdskostnader og bedre miljømessige egenskaper, da de kan resirkuleres og er ikke-toksiske. HDPE-kanaler er derfor et populært og effektivt alternativ for ventilasjon og andre bruksområder, og bidrar til å redusere kostnader og forbedre ytelsen i bygninger og anlegg [65].

### **FORDELER**

Fleksible HDPE ventilasjonskanaler har flere fordeler som gjør dem til et populært valg i mange ventilasjonssystemer. Noen av fordelene med HDPE kanaler er [65]:

- Motstandsdyktighet mot korrosjon. HDPE er et solid og ikke-porøst materiale som motstår korrosjon fra kjemikalier og fuktighet, noe som gjør dem ideelle for bruk i tøffe miljøer som industribygg og fabrikker. De kan også brukes i utendørs applikasjoner uten at de blir skadet av værforholdene.
- Evne til å bøye seg og tilpasse seg forskjellige installasjonsvinkler. Dette gir større fleksibilitet og enkel installasjon, og gjør at de kan brukes i trange og vanskelig tilgjengelige områder.
- Enkle å transportere og installere. De kan ruller opp i lange lengder og kuttes til ønsket størrelse på installasjonsstedet. Dette gjør dem også kostnadseffektive og reduserer transportkostnadene.
- Enkle å vedlikeholde og rengjøre, da de kan tørkes av med en fuktig klut eller vaskes med mild såpe og vann. De trenger ikke å males eller behandles på samme måte som metallkanaler, noe som reduserer vedlikeholdskostnadene.
- Høy styrke og holdbarhet, noe som gjør dem til et pålitelig valg for ventilasjonssystemer. De kan motstå høyt trykk og belastninger uten å sprekke eller deformeres, og de kan vare i mange år uten behov for utskiftning.

### **ULEMPER**

Selv om fleksible HDPE ventilasjonskanaler har mange fordeler, har de også noen ulemper som bør vurderes før man velger dem til et ventilasjonssystem. Noen av ulempene med HDPE kanaler er [65] [66]:

- Begrensede temperaturområde. De tåler ikke høye temperaturer over lengre tid, og kan deformeres eller smelte ved eksponering for høye temperaturer. Dette gjør dem mindre egnet for applikasjoner som krever høy temperatur eller brannsikkerhet.



- Begrensede motstand mot UV-stråling. Over tid kan UV-stråling føre til at HDPE-kanaler blir sprø og sprekker, noe som reduserer deres levetid og pålitelighet. Derfor er det viktig å beskytte HDPE-kanaler mot sollys hvis de skal brukes utendørs.
- Mindre fleksible enn andre typer fleksible kanaler, noe som gjør dem vanskeligere å installere i visse situasjoner. I tillegg er de mindre motstandsdyktige mot mekanisk stress og slitasje enn andre materialer, noe som fører til lekkasjer og skader på ventilasjonssystemet over tid.
- Mer kostbare enn de andre typa plast alternativene på markedet, spesielt hvis de skal brukes i større dimensjoner. Dette gjør dem mindre økonomisk levedyktige for ventilasjonssystemer.

## **KLIMAPÅVIRKNING**

HDPE er et termoplastisk polymermateriale som brukes i en rekke produkter og applikasjoner. Når det gjelder klimapåvirkning, er HDPE kjent for å ha flere positive egenskaper sammenlignet med andre plastmaterialer.

HDPE har et lavt karbonfotavtrykk, da produksjonen krever relativt lite energi og genererer lite utslipp sammenlignet med andre polymermaterialer som polyvinylklorid (PVC) og polykarbonat (PC) [64]. I tillegg kan HDPE resirkuleres og brukes igjen, noe som reduserer behovet for å utvinne og produsere nytt materiale. Ifølge studier kan resirkulering av HDPE redusere CO<sub>2</sub>-utslippene med så mye som 90% sammenlignet med produksjon av nytt HDPE-materiale [65].

Likevel er det viktig å merke seg at produksjon og avhending av HDPE fortsatt har en negativ innvirkning på miljøet. Produksjonsprosessen krever fortsatt energi og ressurser, selv om det er mindre enn for andre materialer. I tillegg vil avhending av HDPE-materiale påvirke miljøet hvis det ikke håndteres riktig. HDPE som ikke er resirkulert eller deponert på riktig måte, vil forårsake forurensning og skade på dyre- og planteliv [64].

Samlet sett kan HDPE betraktes som et mer bærekraftig alternativ enn mange andre plastmaterialer, spesielt når det gjelder resirkulering og holdbarhet. Imidlertid er det viktig å fortsette å utforske og utvikle bærekraftige alternativer for å redusere klimapåvirkningen av materialproduksjon og avhending.

## 5.2 PVC - Polyvinylklorid

PVC, eller polyvinylklorid, er en plast som produseres ved friradikalpolymerisasjon av vinylklorid ( $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ ). Denne plasttypen er en av de mest produserte i verden, og masseproduksjonen skjer ved suspensjonspolymerisasjon, selv om emulsjonspolymerisasjon og massepolymerisasjon også er vanlige fremgangsmåter. På grunn av PVCs utsatthet for avspaltning av hydrogenklorid ved oppvarming og påvirkning av sollys, må plasten tilsettes stabilisatorer for å hindre misfarging, aldring og skade på maskineri. Disse tilsetningene kan bestå av tungmetallforbindelser eller rene organiske stoffer, i tillegg til stoffer som absorberer ultrafiolett lys. Fyllstoffer, pigmenter, smøremidler, antioksidanter, antistatiske midler og soppmidler er også vanlige tilsetninger [67].

PVC bearbeides på mange måter, inkludert ekstrudering, sprøytstøping, kalandrering, bestrykning, dypping, skallstøping, lakkering, pulverbelegging, blåsing, termoforming, skumplastproduksjon og pressing. Selv om PVC kan bearbeides på denne måten, blir polymeren ofte modifisert ved å blande den med andre polymerer som vinylacetat, propylen, akrylnitril, vinylidenklorid, nitrilgummi, ABS-plast, klorert polyetylen og etylen-vinylacetatkopolymerer for å øke stabiliteten, mykgjøre den eller øke slagfastheten. PVC brukes til mange formål, inkludert LP-plater, takrenner, rør, listverk, paneler, isolasjon på elektriske ledninger og kabler, kunstlær, tapet, gulvbelegg, garnflottører, fendere, varmtvannsrør, lim, kjemikalieresistente lakker og fibrer.

PVC er et materiale som brukes i produksjonen av ventilasjonskanaler på grunn av sin holdbarhet, rimelige pris og enkel montering. PVC-ventilasjonskanaler har vært i bruk i flere tiår og er mye brukt i boliger, næringsbygg og industrielle områder. Det har imidlertid blitt reist bekymringer angående miljøpåvirkningen av PVC-produksjon, bruk og avhending. Tross disse bekymringene fortsetter bruken av PVC-ventilasjonskanaler på grunn av deres lave kostnad og enkel montering. Produsenter som Duka tilbyr PVC-ventilasjonskanaler i forskjellige størrelser og konfigurasjoner, og materialet hevdes å være motstandsdyktig mot brann og korrosjon [69].

Selv om nærmere 50 millioner tonn PVC produseres hvert år i verden, er produksjonen i Norge betydelig lavere, med INOVYNs fabrikk på Herøya som produserer rundt 200 000 tonn per år [67].

### **FORDELER**

PVC ventilasjonskanaler har flere fordeler som gjør dem til et populært valg i mange ventilasjonssystemer. Noen av fordelene med PVC kanaler er [68] [69]:

- De har en jevn overflate som reduserer turbulens i luftstrømmen, og dette fører til mindre motstand og lavere energiforbruk.
- Gir også høy akustisk demping, noe som gjør dem ideelle for bruk i støyfølsomme område.
- De er enkle å installere og transportere. PVC-kanaler kan kuttes på stedet, og kan enkelt tilpasses til forskjellige størrelser og konfigurasjoner. Dette gjør installasjonen raskere og mer kostnadseffektiv.
- PVC-materialet kan gjenvinnes og brukes til å produsere nye produkter, som gulvbelegg, takteking og veggpaneler.

## **ULEMPER**

Selv om PVC ventilasjonskanaler er en populær løsning på grunn av deres kostnadseffektivitet og enkelhet ved installasjon, er det også noen ulemper knyttet til bruken av PVC i ventilasjonskanaler.

- Produksjonen av PVC medfører bruk av giftige kjemikalier og utslipp av farlige stoffer, inkludert dioxiner, til miljøet [67]. En rapport fra Carbon Trust [72] viser at PVC har en høyere karbonavtrykk enn andre materialer. Bruken av PVC-kanaler i ventilasjonssystemer kan derfor føre til økte klimagassutslipp. PVC er også kjent for å kunne gi flyktige organiske forbindelser (VOC) i inneklimate som kan påvirke helsen til de som puster det inn.
- PVC-kanaler også blitt kritisert for å ha kortere levetid og å være mindre holdbare enn alternativene.
- Mer utsatt for korrosjon og brannskader.

Til tross for disse ulempene, er PVC ventilasjonskanaler fortsatt vanlige i bruk på grunn av deres kostnadseffektivitet og enkelhet ved installasjon.

## **KLIMAPÅVIRKNING**

PVC er et av de mest brukte polymermaterialene i verden på grunn av dets allsidighet, lave kostnad og holdbarhet. PVC brukes i en rekke applikasjoner, inkludert bygg- og anleggsmaterialer, emballasje, leker og medisinske produkter. Imidlertid har PVC også blitt gjenstand for bekymring på grunn av dets negative innvirkning på miljøet [67]. Produksjon av PVC er en energi- og ressurskrevende prosess som involverer bruk av farlige kjemikalier, og som fører til utslipp av farlige stoffer som dioksiner, som forårsaker alvorlige helseproblemer og skade på miljøet.

I tillegg til produksjonsprosessen har også bruken og avhendingen av PVC negative miljøeffekter. PVC-emballasje vil for eksempel ta flere hundre år å brytes ned i naturen, og når det brennes eller deponeres på en uegnet måte, vil det føre til utslipp av giftige stoffer [71].

En rapport fra Carbon Trust (2011) om livssyklusutslipp av isolasjonsmaterialer fant at PVC hadde en høyere karbonfotavtrykk enn mange andre isolasjonsmaterialer. Rapporten understreket behovet for å bruke mer bærekraftige materialer i bygg- og anleggssektoren for å redusere den negative miljøpåvirkningen [72].

For å redusere den negative miljøpåvirkningen av PVC, er det viktig å øke bevisstheten om problemene og arbeide for å utvikle og bruke mer bærekraftige alternativer. Regulering og forskning på mer miljøvennlige produksjonsprosesser kan også hjelpe til med å redusere PVCs negative miljøpåvirkning.

### 5.3 PIR - Polyisocyanurate

Polyisocyanurate (PIR) er et isolasjonsmateriale som ofte brukes i produksjonen av ventilasjonskanaler/sandwich-elementer. PIR har en høy isolasjonsevne og er også brannhemmende, noe som gjør det til et populært alternativ i ventilasjonssystemer. Ventilasjonskanaler som er produsert i PIR er vanligvis laget ved hjelp av en produksjonsprosess som kalles kontinuerlig laminering. Dette innebærer at PIR-kjernen lamineres mellom to lag av metall eller annet materiale, som gir kanalen sin form og styrke [73].

#### **FORDELER**

PIR-kanaler er en populær type ventilasjonskanaler på grunn av deres mange fordeler. Noen av de største fordelene inkluderer [74][75][78]:

- Høy isolasjonsverdi: PIR-kanaler har en høy isolasjonsverdi, som gjør dem effektive til å redusere varmetap og spare energi. Dette bidrar til å redusere energikostnadene i et ventilasjonssystem.
- Styrke og holdbarhet: PIR-kanaler er svært sterke og holdbare, og vil motstå mekanisk stress og slitasje over tid. De er også motstandsdyktige mot deformasjon, som fører til at ventilasjonssystemet fungerer optimalt til en hver tid.
- Lav vekt: PIR-kanaler er relativt lette sammenlignet med andre typer ventilasjonskanaler, noe som gjør dem enklere å installere og transportere.
- God brannsikkerhet: PIR-kanaler har gode brannhemmende egenskaper, som bidrar til å redusere risikoen for brann og begrense skader hvis det skulle oppstå en brann.
- God lydisolasjon: PIR-kanaler har også gode lydisolerende egenskaper, som bidrar til å redusere støy fra ventilasjonssystemet.
- Lang levetid: PIR-kanaler har en lang levetid, og kan vare i mange år uten behov for reparasjon eller vedlikehold. Dette gjør dem til et langsiktig og pålitelig valg for ventilasjonssystemer.

#### **ULEMPER**

PIR-kanaler har mange fordeler, men de har også noen ulemper som bør vurderes før man velger dem til et ventilasjonssystem. Noen av ulempene er [74][75]:

- Dyrere enn andre alternativer på markedet, spesielt i større dimensjoner. Dette gjør dem mindre økonomisk levedyktige for noen ventilasjonssystemer
- Mindre motstandsdyktige mot fuktighet enn andre materialene som brukes i ventilasjonskanaler. Hvis de utsettes for høy luftfuktighet over tid, vil de begynne å miste isolasjonsegenskapene sine og dermed redusere effektiviteten til ventilasjonssystemet.
- Mindre fleksible enn andre type kanaler, noe som gjør dem vanskeligere å installere i visse situasjoner. I tillegg er de mindre motstandsdyktige mot mekanisk stress og slitasje enn andre materialer, noe som vil føre til lekkasjer eller skader på ventilasjonssystemet over tid.
- Mindre egnet for applikasjoner som krever høyere nivåer av lydisolasjon.
- Mindre egnet for applikasjoner som krever høyere brannsikkerhet.

## **KLIMAPÅVIRKNING**

Polyisocyanurate (PIR) er et skumisolasjonsmateriale som brukes i en rekke bygningsapplikasjoner, inkludert tak og vegger. Det er et populært valg på grunn av sin høye termiske ytelse og relativt lave kostnader. Men som med alle byggematerialer, er det også viktig å vurdere PIRs miljøpåvirkning [76].

En studie utført av Carbon Trust [77] viste at produksjonen av PIR isolasjon kan ha betydelig klimapåvirkning. I produksjonsprosessen brukes det fossilt brensel, som fører til utslipp av klimagasser som karbondioksid (CO<sub>2</sub>) og metan (CH<sub>4</sub>). I tillegg brukes det også kjemikalier i produksjonen som har negativ innvirkning på miljøet hvis de ikke håndteres riktig. En annen bekymring knyttet til PIR-isolasjon er avhending. Hvis materialet ikke håndteres riktig når det er utslitt, vil det ende opp på deponier eller forbrenningsanlegg, noe som øker risikoen for forurensning og utslipp av skadelige stoffer.

Likevel, PIR kan være mer miljøvennlig enn alternativene når det brukes på riktig måte. Det har høyere termisk ytelse enn mange andre isolasjonsmaterialer, noe som betyr at mindre mengder trengs for å oppnå samme isolasjonseffekt. Det har også lengre levetid enn andre materialer, noe som betyr at det vil kreve mindre erstatning over tid. Det er viktig å være oppmerksom på de potensielle miljøpåvirkningene av PIR-isolasjon, men med riktig håndtering og bruk kan det fortsatt være et effektivt valg for byggeprosjekter som søker å balansere ytelse og bærekraft [76].

## 5.4 PUR - Polyuretan

Polyuretan (PUR) er et svært allsidig isolasjonsmateriale som er mye brukt i produksjonen av en rekke produkter, inkludert ventilasjonskanaler og sandwich-elementer. En av de viktigste fordelene med PUR-isolasjon er at den produseres i en rekke forskjellige former og størrelser. Dette gjør det ideelt for bruk i sandwich-elementer, som er strukturelle paneler som består av en isolasjonskjerne som er laminert mellom to ytterpaneler. PUR-isolasjon kan også brukes i ventilasjonskanaler, som er en viktig del av bygningens ventilasjonssystem. PIR er en type PUR-isolasjon som er kjent for sin høye termiske ytelse. PIR har en enda høyere termisk motstand enn vanlig PUR-isolasjon, noe som gjør det til et ideelt valg for bruk i bygninger med høye energikrav. PIR-isolasjon er også mer brannsikker enn vanlig PUR-isolasjon, noe som gjør det til et tryggere valg for bruk i bygninger [79]. Sammenfattende, både PUR og PIR er isolasjonsmaterialer som ofte brukes i produksjonen av sandwich-elementer og ventilasjonskanaler på grunn av deres termiske egenskaper og holdbarhet. Mens PUR er en allsidig isolasjon som kan produseres i en rekke forskjellige former og størrelser, er PIR kjent for sin høye termiske ytelse og brannsikkerhet.

PUR er et materiale med ulike egenskaper, som skum, plast eller elastomer. Det blir ofte sammenlignet med gummi på grunn av sin elastisitet. PUR har en lengre levetid og høyere temperaturmotstand enn gummi, og i byggebransjen blir det hovedsakelig brukt som ekspandert polyuretan til termisk isolering. PIR, derimot, er den "forbedrede versjonen" av PUR. PIR er også produsert av de samme utgangsmaterialene som PUR. PIR blir hovedsakelig produsert som skum og brukes i form av stive skumplater til varmeisolering av bygninger. PIR har enda høyere isolasjonsverdi enn PUR [79].

En viktig regel er å huske: Jo lavere  $\lambda$ -verdi, jo mindre varmetap og dermed mer effektiv termisk isolasjon

- PUR:  $\lambda = 0,025$  til  $0,035$  W / mK
- PIR:  $\lambda = 0,022$  og  $0,027$  W / mK

Varmeledningsevnen til PIR er en av de laveste blant klassiske isolasjonsmaterialer, og dette betyr at PIR gir forbedret isolasjon med samme tykkelse. Dermed kan isolasjonslaget være tynnere og mer effektivt, og dette frigjør plass under installasjonen [80]. PIR-isolasjonsplater/sandwich-elementer brukes mye i byggebransjen på grunn av sine gode isolerende egenskaper og høye brannsikkerhet. Disse isolasjonsplatene er selvslukkende, men er brennbare ved høye omgivelsestemperaturer, som for eksempel ved brann. Dette ble tydelig i brannen på Grenfell Tower i 2017, der PIR-isolasjonsplatene bidro til at brannen spredte seg raskt. Selv om PIR-isolasjonsplater ikke er helt brannsikre, er de fortsatt en bedre løsning enn PUR-isolasjonsplater når det kommer til brannsikkerhet. PUR-isolasjonsplater er kjent for å være brennbare, og når materialet brennes, avgir det store mengder svært giftige gasser, inkludert blåsyre. Dette er svært farlig i en brannsituasjon, både for personer og for miljøet rundt [80].

Det er derfor viktig å velge riktig type isolasjonsplate når man skal isolere bygninger. PIR-isolasjonsplater er et godt valg når man ønsker høy brannsikkerhet, men det er også viktig å ta hensyn til andre faktorer som varmeledningsevne og miljøpåvirkning. Det finnes også andre alternativer til PIR- og PUR-isolasjonsplater, som for eksempel mineralull og celluloseisolering, som vil være gode valg avhengig av prosjektets behov og krav.

PUR og PIR er svært likt på grunn av deres like sammensetning og produksjonsprosesser. Ytterligere fordeler, ulemper og klimapåvirkninger av PUR kan studeres under Polyisocyanurate - PIR avsnittet.

## 5.6 PP - Polypropylen

Polypropylen er en type plast som er mye brukt i husholdningsartikler og emballasje. Symbolet for polypropylen er PP, og den er kjent som en type hydrokarbon eller polyolefin. Det finnes ulike strukturer av polypropylen, men den isotaktiske strukturen er den mest praktiske og industrielt viktige. Den er relativt hard og har en tetthet på 0,90 g/cm<sup>3</sup> og er delvis krystallinsk. Polypropylen ligner på hard polyetylen, men er sterkere og har mindre tendens til å sprekke [81].

Polypropylen er billig og lett å bearbeide etter vanlige metoder for termoplaster. Den brukes til mange formål, inkludert bilkomponenter, husholdningsartikler, gulvbelegg og emballasje, hospitalutstyr (steriliserbart), emballasjefolier, tekstilfibrer, monofilamenter til filterduk, tauverk, rør og flasker. Den rene polymeren er ikke spesielt aldringsbestandig og må tilsettes antioksidanter og ultrafiolett absorberende stoffer samt litt sot hvis platen er til utendørs bruk [81]. Den er uløselig ved vanlig temperatur og meget bestandig mot de fleste kjemikalier som ikke virker oksiderende.

Polymerisasjonen av propylen til et praktisk brukbart polypropylen lyktes først i 1953 da italieneren Giulio Natta fant egnede katalysatorer for dette. Den industrielle produksjonen startet i Italia i 1957, og nå foregår den i en rekke industriland. Verdensproduksjonen av polypropylen er rundt 60 millioner tonn per år, og det utgjør en stor andel av den totale produksjonen av plast i verden [81].

### **FORDELER**

Noen fordeler med ventilasjonskanaler laget av PP-materiale [82][83]:

- Lav vekt: PP-kanaler er lettere enn stålkkanaler, noe som gjør dem enklere å transportere og installere
- Motstandsdyktighet mot korrosjon: PP-materiale er resistent mot korrosjon og forvitring, noe som gjør det til et holdbart alternativ for ventilasjonskanaler
- God termisk isolasjon: PP-kanaler har gode termiske egenskaper, dette bidrar til å forbedre energieffektiviteten i bygninger
- Enkelt vedlikehold: PP-kanaler krever minimalt vedlikehold og er enkle å rengjøre
- Miljøvennlig: PP-materiale er resirkulerbart og dermed reduserer avfallsmengden fra bygg- og anleggsprosjekter

### **ULEMPER**

Noen av ulempene med ventilasjonskanaler laget av PP-materiale er [82][83]:

- Lavere brannmotstand: PP-materiale har en lavere brannmotstand enn stål, noe som kan øke brannrisikoen i bygninger
- Begrenset levetid: PP-kanaler kan ha en begrenset levetid sammenlignet med stålkkanaler på grunn av eksponering for ultrafiolett stråling og høy temperatur
- Lavere motstandskraft mot trykk: PP-materiale har en lavere motstandskraft mot trykk sammenlignet med stål, og dermed er mer utsatt for skader under transport eller installasjon
- Begrenset størrelse: PP-kanaler har en begrenset størrelse, noe som er en ulempe for større ventilasjonssystemer

## **KLIMAPÅVIRKNING**

Råstoffutvinning er en sentral del av produksjonen av plastprodukter. Plast lages hovedsakelig av råolje eller gass, som utvinnes ved bruk av gassturbiner og andre kilder som kan forårsake store klimagassutslipp. I tillegg vil utvinning av gass føre til store metanutslipp, spesielt i tilfelle amerikansk skifergass [84].

Videreforedling av råolje eller gass krever også energi, som ofte genereres ved bruk av fossile brensler. Dette medfører CO<sub>2</sub>-utslipp og økt belastning på klimaet. Transport av råstoffet til produksjonsanlegg, spesielt over lange avstander med skip eller rørledninger, vil også føre til utslipp av klimagasser [84].

Industriell produksjon av plastprodukter bruker ofte energi fra fossile kilder dette medfører betydelige klimagassutslipp. Resirkulering av plastavfall kan redusere behovet for ny produksjon av plastprodukter, men prosessen med å resirkulere og produsere nye produkter krever også energi og medfører utslipp av klimagasser. Brenning av plastavfall for energiproduksjon eller deponering av plastavfall vil også føre til utslipp av CO<sub>2</sub> og metan. Plastavfall som blir liggende i naturen frigjør metan når solen skinner på platen, og dette bidrar til økt belastning på klimaet [84].

Alt i alt viser dette hvor viktig det er å redusere vår avhengighet av fossile brensler og finne mer bærekraftige løsninger for produksjon, transport og avhending av plastavfall. Dette vil kreve samarbeid fra alle sektorer, inkludert regjeringer, industrien og forbrukere, for å redusere vår samlede belastning på klimaet og planeten vår.



## 5.6 Bioplast

Bioplast er en type plast som er laget av biologiske materialer, som for eksempel planter, trær, alger og maisstivelse, i stedet for å være laget av petroleumsprodukter som tradisjonell plast. Bioplast er et bærekraftig alternativ til tradisjonell plast, fordi det er nedbrytbart og produseres med mindre miljøpåvirkning. Bioplast er laget av fornybare ressurser og produseres med mindre energi og vann enn tradisjonell plast. Produksjonen av bioplast reduserer utslippene av drivhusgasser med opptil 75% sammenlignet med tradisjonell plastproduksjon [85]. Bioplast er en type plast som er laget av fornybare ressurser som mais, poteter eller sukkerroer, i stedet for å være basert på olje eller gass. Bioplast er derfor en mer miljøvennlig løsning, da den gir mindre utslipp av drivhusgasser og er biologisk nedbrytbar.

Når det gjelder ventilasjonskanaler, vil bioplast brukes til å lage kanaler som har samme funksjonalitet som kanaler laget av tradisjonelle materialer. Bioplasten kan støpes i ønsket form og størrelse og deretter monteres i ventilasjonssystemet.

Det er begrenset forskning på bruken av bioplast til produksjon av ventilasjonskanaler, men i jakten på å finne alternativer til plast basert på petroleum har MAHLE testet ulike bio-baserte plastmaterialer og har til slutt validert ett materiale som klart for serieproduksjon. Dette nye bioplastmaterialet blir først brukt til luftkanalprodukter [86].

### **FORDELER**

Fordelene med ventilasjonskanaler laget av bioplast er knyttet til bærekraft og miljøpåvirkning. Noen av disse fordelene er [86][87][88]:

- Det er mer bærekraftig alternativ til tradisjonelle plastmaterialer som brukes i ventilasjonskanaler
- Produksjon av bioplast reduserer utslippene av drivhusgasser sammenlignet med tradisjonell plastproduksjon, og vil redusere avhengigheten av fossile brensler
- Bioplastmaterialer vil redusere mengden avfall som sendes til deponi, ettersom de kan brytes ned på en mer bærekraftig måte.
- Det er lettere og mer fleksible enn tradisjonelle plastmaterialer. Dette gjør at installasjon av ventilasjonskanaler laget av bioplast blir enklere og mer kostnadseffektivt.
- Bioplast produseres av fornybare kilder, som planter og alger, noe som bidrar til å redusere avhengigheten av begrensede ikke-fornybare ressurser som olje og gass.

### **ULEMPER**

Det er flere ulemper ved å bruke bioplast til å lage ventilasjonskanaler, og noen av disse inkluderer [86][87][88]:

- Bioplast er mindre motstandsdyktig mot høye temperaturer og brannsikkerhet er en utfordring. Dette gjør det vanskelig å bruke bioplast i områder hvor høye temperaturer eller der brannfare er en bekymring.

- Produksjon av bioplast er dyrere enn produksjon av tradisjonelle plastmaterialer. Dette skyldes hovedsakelig at produksjon av bioplast fortsatt er i en tidlig fase og produksjonsprosessene er mer komplekse og kreve spesiell teknologi
- Bioplastmaterialer har lavere styrke og slitestyrke sammenlignet med tradisjonelle plastmaterialer. Dette gjør dem mindre egnet for bruk i områder med høy slitasje eller trykkbelastning, som ventilasjonskanaler.
- Det er utfordringer knyttet til å sortere og resirkulere bioplastmateriale, ettersom det er vanskelig å skille dem fra tradisjonelle plastmaterialer i resirkuleringsprosessen
- Produksjon av bioplast krever også store mengder av landbruksareal for å dyrke planter eller alger som brukes som råstoff, noe som fører til konkurranse med matproduksjon og tap av naturlige habitater.

### **KLIMAPÅVIRKNING**

Klimapåvirkningen av bioplast er komplekst og avhengig av flere faktorer, som råvarekilder, produksjonsprosesser og sluttbruk. Generelt sett antas bioplast å ha en lavere karbonfotavtrykk enn petroleumsbaserte plastmaterialer, da produksjon av bioplast involverer fornybare råvarer som planter og alger og i noen tilfeller gir lavere utslipp av klimagasser [85].

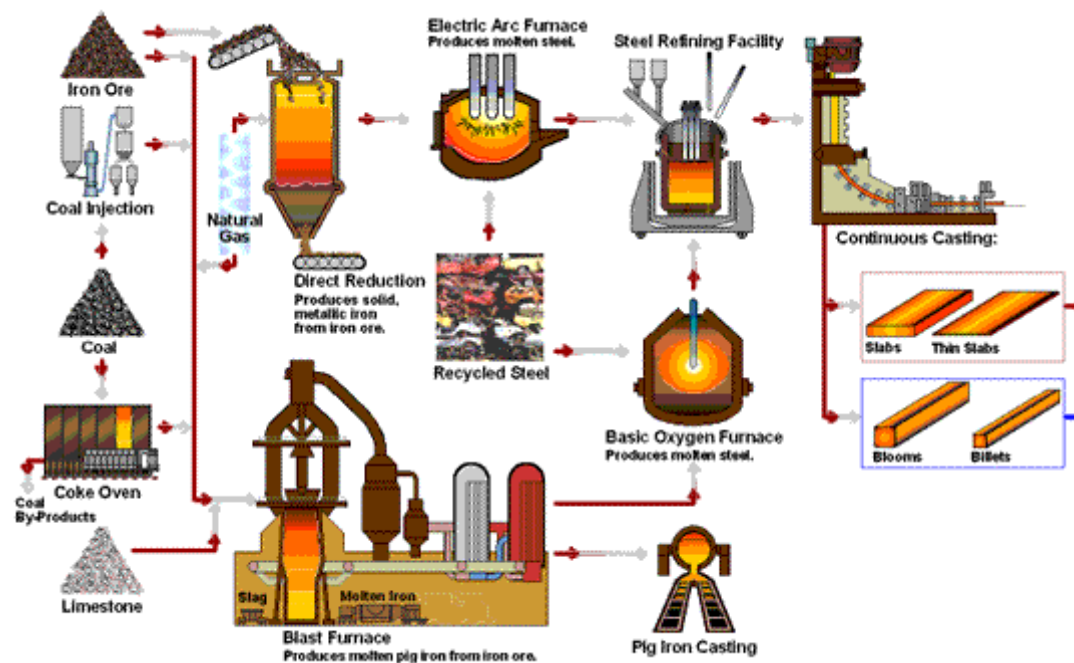
Imidlertid er det viktig å ta hensyn til hele livssyklusen til bioplast, inkludert produksjon, transport, distribusjon, bruk og avhending. Selv om bioplast har en lavere karbonfotavtrykk enn tradisjonelle plastmaterialer, har det også uønskede miljøeffekter som følge av landbruket som brukes til å produsere biomasse til bioplastproduksjon. Biomasseproduksjon krever store mengder av landbruksareal, vann og energi, som fører til tap av naturlige habitater og økt bruk av gjødsel og sprøytemidler [88]. Bioplastproduksjon fra avlinger som mais og sukker har en høyere klimapåvirkning enn produksjon av konvensjonell plast på grunn av energikrevende produksjonsprosesser og bruk av kunstgjødsel [88].

Det er derfor viktig å fortsette å utforske og utvikle bærekraftige alternativer til både petroleumsbaserte plastmaterialer og bioplast for å redusere klimapåvirkningen og bevare miljøet.

## 5.7 Galvanisert stål

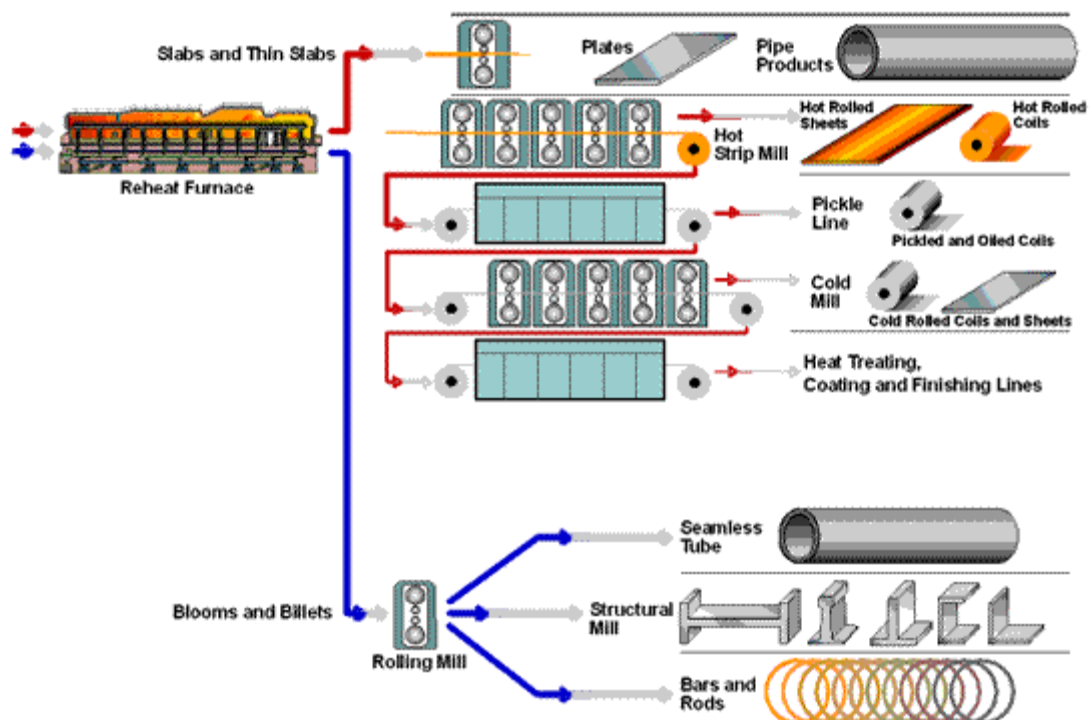
Stål er en av de mest brukte materialene i moderne konstruksjon og produksjon på grunn av sin styrke, allsidighet og holdbarhet. Produksjonen av stål er en kompleks prosess som involverer flere trinn for å oppnå det ønskede produktet. Når det gjelder produksjonen av galvanisert stål, kommer en ekstra overflatebehandling i tillegg.

Figur 21 og 22 illustrert produksjonen av stål. Det begynner med jernmalm, som er hoved råstoffet. Jernmalm blir først knust og malt til en fin pulverform. Dette pulveret blir deretter blandet med kull, som fungerer som et reduksjonsmiddel, og kalkstein, som hjelper til med å fjerne urenheter. Blandingen blir satt inn i en ovn, vanligvis kalt en masovn eller en smelteovn, hvor den blir utsatt for høye temperaturer. I ovnen reagerer kullet med jernmalmen og reduserer jernoksidene til flytende jern. Den flytende jernmassen samles opp i bunnen av ovnen og trekkes ut periodisk [131].



Figur 21: Illustrasjon av stål produksjon, første fase. [127]

Den flytende jernmassen blir deretter videreført til en stålfremstillingsprosess, hvor urenheter som karbon, silisium, svovel og fosfor blir fjernet. Dette gjøres ved hjelp av forskjellige metoder som oksygenblåsing, elektrolyse eller bruk av fluksmidler. Riktig justering av sammensetningen er viktig for å oppnå ønskede stålegenskaper som styrke, fleksibilitet og korrosjonsbestandighet. [127]



Figur 22: Illustrasjon av stål produksjon, andre fase. [127]

Når stålet er dannet, kan det underkastes videre behandlinger for å forbedre dets egenskaper. En av de vanligste behandlingene er varmebehandling, hvor stålet blir oppvarmet til spesifikke temperaturer og deretter avkjølt gradvis. Dette kan forbedre stålets styrke, hardhet eller formbarhet, avhengig av ønsket resultat. En vanlig praksis i industrien er å bruke galvanisert stål til produksjonen av ventilasjonskanaler. [127]

Galvanisert stål er vanligvis konstruert ved å påføre et lag av sink på overflaten av vanlig stål. Dette belegget gir en rekke fordeler for ventilasjonskanaler. Galvanisert stål er produsert ved å påføre et lag av sink på overflaten av vanlig stål. Denne prosessen, kjent som galvanisering, utføres for å gi en rekke fordeler til stålet. Galvanisering kan gjøres ved hjelp av forskjellige metoder, men den vanligste er varm-dyp galvanisering. I denne prosessen blir stålet først rengjort grundig for å fjerne fett, olje og andre forurensninger. Deretter blir stålet senket ned i et varmt sinkbad, vanligvis rundt 450 °C, hvor en metallurgisk binding dannes mellom stål og sink. Dette resulterer i dannelsen av et beskyttende sinkbelegg på ståloverflaten.

## **FORDELER**

Galvanisering av stål gir flere fordeler. Her er noen fordeler med ventilasjonskanaler laget av galvanisert stål [128][129]:

- **Korrosjonsbestandighet:** Galvanisert stål er svært motstandsdyktig mot korrosjon. Det beskyttende sinkbelegget som påføres overflaten, fungerer som en barriere mot fuktighet og aggressive kjemikalier i luften. Dette bidrar til å forlenge levetiden til ventilasjonskanalene og reduserer behovet for hyppig vedlikehold eller utskifting.
- **Mekanisk styrke:** Galvanisert stål gir en høy mekanisk styrke til ventilasjonskanalene. Stålet har en solid og robust struktur som vil motstå deformasjon og opprettholde sin form under påvirkning av høyt trykk eller mekanisk belastning. Dette er spesielt viktig i situasjoner der kanalene utsettes for eksterne påvirkninger eller er plassert i krevende miljøer.
- **Brannmotstand:** Galvanisert stål har naturlige brannhemmende egenskaper. Ved brann vil stålet motstå flammer og hindre spredning av brann gjennom ventilasjonskanalene. Dette bidrar til å øke sikkerheten og redusere risikoen for brannspredning i bygninger.
- **Kostnadseffektivitet:** Sammenlignet med materialer som rustfritt stål eller aluminium, er galvanisert stål generelt mer kostnadseffektivt. Prisen på galvanisert stål er ofte lavere, noe som gjør det til et attraktivt alternativ for både små og store prosjekter. Den økte holdbarheten og motstandsdyktigheten mot korrosjon bidrar til å redusere kostnadene knyttet til vedlikehold og erstatning over tid.
- **Enkel installasjon:** Galvaniserte stålkkanaler er vanligvis tilgjengelige i forskjellige standardstørrelser og former, noe som gjør dem enkle å installere i ulike ventilasjonssystemer. De kan også tilpasses og kuttes etter behov for å passe spesifikke dimensjoner og krav. Denne fleksibiliteten gjør det enklere for installatører å arbeide med materialet og sikre en effektiv og nøyaktig installasjon.

Disse fordelene gjør galvanisert stål til det mest populære valget for ventilasjonskanaler i både boliger og kommersielle bygninger. Ved å velge galvaniserte stålkkanaler kan man sikre pålitelig ytelse, lang levetid og optimal funksjonalitet i ventilasjonssystemet.

## **ULEMPER**

Ventilasjonskanaler laget av galvanisert stål har noen ulemper som bør vurderes. Her er noen av ulempene med slike kanaler [127][128][117]:

- **Vekt:** Galvanisert stål er relativt tungt sammenlignet med andre materialer som aluminium eller plast. Dette gjør installasjonen mer krevende, spesielt hvis det er behov for å montere eller håndtere store mengder kanaler. Den ekstra vekten vil også påvirke belastningen på bygningen og kreve ekstra strukturell støtte.
- **Ledningsevne for varme og kulde:** Stål har en høy termisk ledningsevne, noe som betyr at det vil overføre varme eller kulde mer effektivt enn materialer med lavere ledningsevne. Dette vil føre til varmetap eller varmeopptak gjennom ventilasjonskanalene, avhengig av temperaturforskjellen mellom kanalene og omgivelsene. Dette reduserer energieffektiviteten i ventilasjonssystemet.
- **Støyoverføring:** Stål er et hardt materiale som har potensial til å overføre lyd og støy. Dette vil være problematisk i situasjoner der støyreduksjon er viktig, for eksempel i boliger eller kontormiljøer. Uten tilstrekkelig lydisolering vil kanalene bidra til å forsterke eller overføre støy fra ventilasjonssystemet til omkringliggende områder.

- Begrenset designfleksibilitet: Galvanisert stål har begrenset designfleksibilitet sammenlignet med noen andre materialer. Det vil være vanskeligere å forme eller tilpasse kanalene til spesifikke designkrav eller unike installasjonsområder. Dette begrenser mulighetene for tilpasning og tilfredsstillelse av spesifikke arkitektoniske eller konstruksjonsbehov.
- Potensiell for korrosjon ved skade: Hvis galvanisert stål blir skadet eller riper, vil sinkbelegget bli kompromittert, noe som fører til korrosjon av stålet under overflaten. Dette vil være et problem i tilfeller der kanalene er utsatt for mekanisk slitasje, fuktighet eller aggressive kjemikalier. Regelmessig vedlikehold og inspeksjon er viktig for å oppdage og reparere eventuelle skader på kanalene for å forhindre korrosjon.
- Når forskjellige metaller er i direkte kontakt med hverandre, vil det føre til økt korrosjon. Dette fenomenet skyldes at de ulike metallene har forskjellige elektrokjemiske egenskaper, og det dannes en galvanisk celle mellom dem. I denne cellen fungerer det edlere metallet som katode, mens det mer uedle metallet fungerer som anode.

For å bestemme hvilke metaller som kan være i kontakt med hverandre uten å forårsake galvanisk korrosjon, kan man henviser til en galvanisk spenningsserie. Tabell 2, gir en oversikt over hvilke plantematerialer som kan være i kontakt med hverandre uten å skape alvorlig galvanisk korrosjon. Tabellen rangerer metallene i henhold til deres elektrokjemiske potensial, hvor det edleste metallet er plassert øverst og det mest uedle metallet nederst. Metaller som er nærmere hverandre i tabellen har mindre potensialforskjell og vil derfor ha mindre sannsynlighet for galvanisk korrosjon når de er i kontakt.

Tabell 2: Kontaktmulighet mellom ulike, ulakkerte, materialer. \*Forutsatt ingen kondens.

	<b>Rustfritt stål</b>	<b>Kobber</b>	<b>Bly</b>	<b>Aluminium</b>	<b>Aluminium-Zink</b>	<b>Forzinket stål</b>	<b>Zink</b>
<b>Rustfritt stål</b>	ok	ok	ok	ok*	ikke ok	ikke ok	ikke ok
<b>Kobber</b>	ok	ok	ok	ikke ok	ikke ok	ikke ok	ikke ok
<b>Bly</b>	ok	ok	ok	ikke ok	ikke ok	ok	ok
<b>Aluminium</b>	ikke ok	ikke ok	ikke ok	ok	ok	ok	ok
<b>Aluminium-Zink</b>	ikke ok	ikke ok	ikke ok	ok	ok	ok	ikke ok
<b>Forzinket stål</b>	ikke ok	ikke ok	ok	ok	ok	ok	ok
<b>Zink</b>	ikke ok	ikke ok	ok	ok	ikke ok	ok	ok

## **KLIMAPÅVIRKNINGER**

Produksjonen og bruk av ventilasjonskanaler laget av galvanisert stål har noen klimapåvirkninger som bør vurderes. Produksjonen av galvanisert stål involverer vanligvis flere energiintensive prosesser, som inkluderer gruvedrift, raffinering, stålproduksjon og galvanisering. Disse prosessene krever store mengder energi, spesielt hvis de bruker fossile brensler. Utslippene av klimagasser fra energiforbruket under produksjonen bidrar til økte drivhusgassutslipp [131].

Galvanisert stål er tyngre enn noen alternative materialer som plast og isolasjonskanaler. Den økte vekten vil øke energiforbruket under transport og installasjon, spesielt siden det kreves ekstra drivstoff for å håndtere og montere kanalene. Økt energiforbruk bidrar til høyere klimagassutslipp [130].

Som nevnt tidligere er holdbarhet og korrosjonsbestandighet noen av fordelene med galvanisert stål, noe som vil bidra til å forlenge levetiden til ventilasjonskanalene. En lengre levetid reduserer behovet for hyppig utskifting og dermed reduserer materialforbruket og de relaterte klimapåvirkningene. Riktig vedlikehold av kanalene, inkludert inspeksjon og reparasjon av eventuelle skader eller korrosjon, bidrar til å opprettholde deres effektivitet og levetid. Effektiv utforming og installasjon av ventilasjonskanalene bidrar til å minimere trykktap og energitap under drift. Et optimalt design bidrar til å redusere energiforbruket for å opprettholde ønsket luftkvalitet og temperatur i bygningen [130].

Det er viktig å merke seg at klimapåvirkningene av ventilasjonskanaler laget av galvanisert stål vil variere avhengig av flere faktorer, inkludert størrelsen på ventilasjonssystemet, energieffektiviteten til bygningen, transportavstander og lokale energikilder.

## 5.8 Rustfritt stål

Rustfritt stål er en legering av jern som har god motstand mot korrosjon og andre kjemiske angrep. Dette skyldes at stålet er legeret med krom. Når krominnholdet i stålet overstiger 10,5%, dannes det en tynn hinne på stålet som passivt beskytter det mot videre oksidering. Dette yttersjiktet, som består av kromoksid, er så tynt at det ikke kan sees med det blotte øye. Hvis stålet blir skadet, vil yttersjiktet gjenoppbygges svært raskt, forutsatt at det finnes oksygen i omgivelsene.

Motstandskraften i rustfritt stål øker med stigende krominnhold og minskende kullinnhold, og derfor prøver man å holde kullinnholdet i rustfritt stål under 0,25% [90]. Rustfritt stål ble oppfunnet av Harry Brearley i 1912 da han eksperimenterte med ulike legeringer til kanonrør og oppdaget at jern-kromlegeringer ikke rustet. En vanlig misforståelse er at rustfritt stål ikke kan ruste i det hele tatt, men faktum er at alt stål kan ruste under de rette betingelsene. Rustfritt stål har imidlertid en betydelig høyere motstandskraft mot rust og korrosjon enn annet stål på grunn av kromet som danner en kromoksidfilm på overflaten og beskytter det underliggende stålet mot oksidering. Filmen kan gjendannes der stålet skades og er dermed delvis selvreparerende [91].

Vanlig rustfritt stål inneholder minst 11% krom og brukes til stålemner som skal brukes i miljøer med moderate kjemiske påkjenninger, for eksempel i ferskvann eller materialer som ofte bløtlegges, som bestikk, barberblader og kniver. Rustfritt stål som inneholder mellom 13–18 % krom og ingen nikkel kalles også kromstål. Ventilasjonskanaler laget av rustfritt stål er vanlig i både kommersielle og private bygninger. Rustfritt stål er et ideelt materiale for ventilasjonskanaler på grunn av sin høye motstand mot korrosjon, holdbarhet og styrke [91].

### **FORDELER**

Hvorfor velge rustfritt stål fremfor andre alternativer, her er noen fordeler med ventilasjonskanaler laget av rustfritt stål [92][93]:

- Holdbarhet og lang levetid: Rustfritt stål er en svært slitesterk og holdbar metalltype som tåler ekstreme temperaturer og høye nivåer av fuktighet. Dette betyr at ventilasjonskanaler laget av rustfritt stål har en lengre levetid og trenger mindre vedlikehold enn kanaler laget av andre materialer.
- Motstandsdyktighet mot korrosjon: Rustfritt stål er også motstandsdyktig mot korrosjon og oksidasjon. Dette betyr at ventilasjonskanaler laget av rustfritt stål vil ha en lengre levetid og vil ikke ruste eller deformeres over tid, selv i aggressive miljøer.
- Hygienisk: Rustfritt stål er et ikke-porøst materiale som ikke absorberer fuktighet eller bakterier. Dette gjør det enkelt å rengjøre og vedlikeholde ventilasjonskanalene, og reduserer risikoen for spredning av luftbårne sykdommer i bygningen.
- Kostnadseffektivt: Til tross for at rustfritt stål er dyrere enn noen av de andre alternativene, er det en kostnadseffektiv løsning på lang sikt. Det krever minimalt med vedlikehold, og det reduserer energikostnadene ved å redusere tapet av varme og kjøling gjennom kanalene.



## **ULEMPER**

Selv om det er mange fordeler med ventilasjonskanaler laget av rustfritt stål, er det også noen ulemper som bør vurderes. Her er noen ulemper med ventilasjonskanaler laget av rustfritt stål [92][93]:

- **Kostnad:** Rustfritt stål er generelt dyrere enn noen av de andre materialene som brukes til ventilasjonskanaler, som for eksempel galvanisert stål eller hellakkerte kanaler. Dette gjør ventilasjonssystemet dyrere å installere, spesielt i større bygninger.
- **Vekt:** Rustfritt stål er tungt i forhold til andre materialer som brukes til ventilasjonskanaler. Dette gjør installasjonen av ventilasjonskanalene mer utfordrende, spesielt i bygninger med begrenset plass eller når man arbeider på høyder.
- **Ledningsevne:** Rustfritt stål er en god leder av varme, og dette påvirker effektiviteten til ventilasjonssystemet. Hvis ventilasjonskanalene er utsatt for høye temperaturer, vil dette føre til varmetap, som igjen vil øke energikostnadene og redusere effektiviteten til ventilasjonssystemet.
- **Støy:** Rustfritt stål vil også føre til økt støy i ventilasjonssystemet på grunn av resonans og vibrasjoner som oppstår når luften beveger seg gjennom kanalene.

## **KLIMAPÅVIRKNING**

Produksjon av rustfritt stål har en betydelig innvirkning på klimaet på grunn av de høye energikostnadene og utslippene av klimagasser som er involvert i produksjonsprosessen.

Ifølge International Stainless Steel Forum, står produksjonen av rustfritt stål for rundt 3% av verdens samlede CO<sub>2</sub>-utslipp. Produksjon av rustfritt stål krever store mengder energi, hovedsakelig fra fossile brensler som kull, olje og naturgass, som fører til utslipp av karbondioksid og andre drivhusgasser. Produksjonen av rustfritt stål forbruker rundt 1,8 tonn CO<sub>2</sub>-kvalenter per tonn produsert stål. Dette inkluderer utslipp fra produksjonsprosessen og energien som brukes i produksjonen av råmaterialer [95].

Det er imidlertid viktig å merke seg at det finnes måter å redusere klimapåvirkningene ved produksjon av rustfritt stål. For eksempel vil produksjonen av rustfritt stål ved bruk av fornybar energi bidra til å redusere utslippene av klimagasser. I tillegg vil resirkulering av rustfritt stål redusere behovet for ny produksjon og dermed også redusere klimapåvirkningene. Som med de fleste produksjonsprosesser, vil det alltid være en viss grad av klimapåvirkning forbundet med produksjon av rustfritt stål. Det er viktig å vurdere disse klimapåvirkningene sammen med andre faktorer, som kostnad og ytelse, når man tar beslutninger om materialer for ventilasjonskanaler. Produksjon av fossilt fritt stål skal vi se nærmere på videre i rapporten.

## 5.9 Syrefast stål AISI 316L

AISI 316L er en type syrefast stål som tilhører gruppen austenittiske rustfrie stål. Denne typen stål inneholder minst 16% krom, 10% nikkel og 2% molybden, som gir økt motstand mot korrosjon og oksidasjon, samt bedre mekanisk styrke og sveiseegenskaper sammenlignet med andre typer rustfritt stål. AISI 316L brukes ofte i applikasjoner som krever høy korrosjonsbestandighet og hygieniske krav, som i kjemiske anlegg, næringsmiddelindustrien og i medisinske instrumenter. Dette skyldes at AISI 316L har en svært glatt overflate og er lett å rengjøre, noe som gjør det ideelt for bruksområder der det er viktig å opprettholde strenge hygienestandarder [96].

### **FORDELER**

Syrefast AISI316L rustfritt stål er et vanlig materialvalg for ventilasjonskanaler i aggressive miljøer som høye temperaturer, høy luftfuktighet, kjemikalier og syrer. Noen av fordelene med ventilasjonskanaler laget av syrefast AISI316L inkluderer [96][97]:

- Høy motstandsdyktighet mot korrosjon: Syrefast AISI316L har høy motstandsdyktighet mot korrosjon og oksidasjon, selv i aggressive miljøer. Dette betyr at ventilasjonskanalene vil vare lenger og ha en høyere levetid enn andre materialer.
- God hygiene: Syrefast AISI316L er lett å rengjøre og sterilisere. Dette gjør det til et ideelt materialvalg for ventilasjonskanaler i næringsmiddelindustrien og i helsevesenet.
- Styrke: Syrefast AISI316L er et sterkt og holdbart metall, noe som gir ventilasjonskanaler laget av dette materialet god mekanisk styrke og stabilitet.
- Miljøvennlig: Syrefast AISI316L er et resirkulerbart materiale, noe som gjør det til et miljøvennlig alternativ for ventilasjonskanaler.

### **ULEMPER**

Selv om syrefast AISI316L har mange fordeler, har det også noen ulemper som bør vurderes. Noen av disse er [96][97]:

- Det er en av de dyreste metallene som brukes til ventilasjonskanaler, og kostnadene er betydelige hvis det brukes i store prosjekter.
- Det er vanskelig å bearbeide og sveise sammen, noe som øker produksjonskostnadene.
- Begrenset motstand mot visse syrer og kjemikalier, spesielt i høye konsentrasjoner eller ved høye temperaturer. Dette er et problem i industrielle eller kjemiske miljøer der disse forholdene er vanlige.
- Syrefast AISI316L være mer utsatt for korrosjon og riper hvis det ikke behandles riktig. Dette vil føre til svekkelse av materialet og potensiell feilfunksjon i ventilasjonssystemet.

## **KLIMAPÅVIRKNING**

Syrefast AISI316L er en type rustfritt stål som er kjent for å være resistent mot korrosjon og oksidasjon. Produksjonen av syrefast AISI316L krever imidlertid store mengder energi og råmaterialer, noe som vil føre til klimapåvirkninger. Produksjonen av rustfritt stål og syrefast stål er ganske lik, og dermed har de også en ganske lik klimapåvirkning. Begge ståltypene produseres ved hjelp av elektrisk smelting av jern, stål og en rekke andre legeringselementer, og deretter tilsettes krom for å gi stålet den rustfrie egenskapen. Produksjonsprosessen for rustfritt stål og syrefast stål er energikrevende, noe som fører til utslipp av karbondioksid (CO<sub>2</sub>) og andre klimagasser [98].

For å redusere klimapåvirkningen av produksjonen av rustfritt stål og syrefast stål, har produsentene begynt å implementere tiltak som å øke bruken av fornybar energi i produksjonsprosessen, forbedre produksjonsprosessen for å redusere energiforbruket, og øke gjenvinningen av metallavfall og skrapmetall for å redusere behovet for å utvinne nytt metall [98].

Det er også verdt å merke seg at produksjonen av rustfritt stål og syrefast stål har en lik klimapåvirkning, dermed vil bruken av disse ståltypene ha en positiv innvirkning på miljøet på grunn av deres langvarige holdbarhet og evne til å resirkuleres og gjenbrukes. Ved å velge rustfritt stål eller syrefast stål vil man dermed bidra til å redusere miljøpåvirkningen over tid.

## 5.10 Magnelis stål

Magnelis stål er en type stål som har blitt belagt med en beskyttende sink-magnesium-aluminium-legering. Denne beskyttende legeringen gir magnelis stål en høy korrosjonsbestandighet, og gjør det til et ideelt materiale for bruk i utendørs konstruksjoner, korrosive og fuktige miljøer og infrastruktur. Magnelis stål er produsert ved en prosess som kalles varmforsinking, der stålet dyppes i en smeltet sink-magnesium-aluminium-legering. Denne prosessen skaper et jevnt og tett beskyttelseslag på overflaten av stålet som beskytter det mot korrosjon og rustdannelse [99]. Fordelene med magnelis stål inkluderer høy holdbarhet, lang levetid og lavt vedlikeholdsbehov. Det er også miljøvennlig, da legeringen inneholder mindre sink enn tradisjonell varmforsinket stål, noe som reduserer behovet for å utvinne og bruke store mengder sink. Dette kommer vi nærmere på i underkapitlene.

Magnelis stål brukes i en rekke applikasjoner, inkludert taktekking, fasadekledning, gjerder, rørledninger, ventilasjonskanaler og broer. Det er også populært i landbrukssektoren for produksjon av driftsbygninger og stalldører, takket være dets høye motstandskraft mot korrosjon forårsaket av ammoniakk fra dyregjødsel [100].

### **FORDELER**

Magnelis-stål kan gi flere fordeler i forbindelse med produksjon og bruk av ventilasjonskanaler. Noen av fordelene er [100][101]:

- Høy motstand mot korrosjon, noe som er en stor fordel i ventilasjonskanaler som ofte utsettes for fuktighet og korrosive stoffer. Dette reduserer behovet for hyppig vedlikehold og utskifting av ventilasjonskanaler, noe som igjen reduserer kostnader og miljøpåvirkning.
- Høy slitestyrke og motstand mot mekanisk skade enn tradisjonelt stål, noe som vil være en fordel i ventilasjonskanaler som utsettes for mekanisk påkjenning, for eksempel ved rengjøring eller vedlikehold.
- Lavere karbonavtrykk sammenlignet med andre materialer som brukes i konstruksjon og produksjon av ventilasjonskanaler. Det er også et bærekraftig alternativ ettersom det er laget av gjenvinnbart materiale og gir lengre levetid sammenlignet med galvanisert stål.
- Lavere energiforbruk i produksjonsprosessen. Dette skyldes at Magnelis-stål ikke trenger en like omfattende prosess som galvanisert stål, noe som reduserer både energi- og materiellkostnader.

## **ULEMPER**

Selv om Magnelis-stål gir flere fordeler, er det også noen ulemper ved å bruke det i ventilasjonskanaler. Noen av disse er [100][101]:

- Dyrere enn tradisjonelt stål. Dette vil øke kostnadene for produksjon av ventilasjonskanaler, og dermed påvirke prisene for kunden.
- Mindre vanlig enn tradisjonelt stål, noe som gjør det vanskeligere å finne leverandører og produsenter som tilbyr Magnelis-stål. Dette vil også påvirke tilgjengeligheten av ventilasjonskanaler laget av Magnelis-stål.
- Utfordrende å resirkulere Magnelis-stål på grunn av belagt overflate, som gjør gjenvinning vanskeligere og dyrere. Dette har en negativ innvirkning på miljøet, spesielt hvis Magnelis-stål blir kastet som avfall etter at ventilasjonskanalene har utløpt sin levetid.

## **KLIMAPÅVIRKNING**

Magnelis-stål kan gi flere fordeler når det gjelder klimapåvirkning sammenlignet med tradisjonelt stål. Produksjonen av Magnelis-stål bruker mindre energi enn produksjonen av rustfritt stål og syrefast stål, og dette reduserer utslippene av drivhusgasser som CO<sub>2</sub>. I tillegg har Magnelis-stål en lengre levetid enn tradisjonelt stål på grunn av den høyere korrosjonsmotstanden, som reduserer behovet for å produsere og installere nye ventilasjonskanaler, og dermed redusere utslippene av drivhusgasser ytterligere [100].

Magnelis-stål er også mer resirkulerbart enn annen type overflate behandlet stål. Magnelis-stål inneholder mindre giftige elementer og kan enkelt separeres fra andre materialer som brukes i ventilasjonskanaler ved gjenvinning. Dette gjør gjenvinningen av Magnelis-stål mer effektiv og mindre skadelig for miljøet [102].

Imidlertid må det bemerkes at Magnelis-stål fortsatt har en klimapåvirkning i produksjonsprosessen, og det kan være noen ulemper som nevnt tidligere som kan påvirke miljøet negativt hvis ventilasjonskanaler laget av Magnelis-stål ikke blir resirkulert eller blir kastet som avfall etter endt levetid.

## 5.11 Aluminium

Aluminium er et kjemisk element med atomnummer 13 og symbolet Al. Det er en sølvaktig, lett, bløt og ikke-magnetisk metall som tilhører gruppe 13 i det periodiske systemet. Aluminium er det tredje vanligste elementet i jordskorpen, etter oksygen og silisium, og er det mest vanlige metallet [103]. Aluminium har en rekke gunstige egenskaper som gjør det til et svært anvendelig materiale i en rekke forskjellige applikasjoner. Det er både lett og sterkt, har god korrosjonsmotstand og er en god leder av varme og elektrisitet. Aluminium kan formes og støpes på ulike måter, og det kan også bearbeides ved sveising, fresing og boring.

Ventilasjonskanaler produsert i aluminium har vært en løsning for å transportere luft i ventilasjonsanlegg i mange år, men ikke en fullt vanlig løsning. Aluminium er et materiale som har mange egenskaper som gjør det ideelt for ventilasjonskanaler. Vi vil se nærmere på fordelene og ulempene med aluminiums kanaler i ventilasjonsanlegg,

### **FORDELER**

Aluminium kan gi flere fordeler i forbindelse med produksjon og bruk av ventilasjonskanaler. Noen av fordelene er [104][105]:

- Høy styrke og holdbarhet: Aluminiums ventilasjonskanaler er svært sterke og holdbare, og kan motstå mekanisk stress og slitasje over tid. De er også motstandsdyktige mot deformasjon, noe som vil føre til at ventilasjonssystemet fungerer optimalt.
- Lav vekt: Aluminiums ventilasjonskanaler er relativt lette sammenlignet med andre typer ventilasjonskanaler, noe som gjør dem enklere å installere og transportere.
- God brannsikkerhet: Aluminiums ventilasjonskanaler har gode brannhemmende egenskaper, som bidrar til å redusere risikoen for brann og begrense skader hvis det skulle oppstå en brann.
- God varmeledningsevne: Aluminiums ventilasjonskanaler har en god varmeledningsevne, som igjen bidrar til å redusere varmetap og spare energi i ventilasjonssystemet.
- Lang levetid: Aluminiums ventilasjonskanaler har en lang levetid og kan vare i mange år uten behov for reparasjon eller vedlikehold. Dette gjør dem til et langsiktig og pålitelig valg for ventilasjonssystemer.
- Fleksibilitet: Aluminiums ventilasjonskanaler kan formes og tilpasses til ulike former og størrelser, noe som gjør dem svært fleksible og tilpasningsdyktige til ulike ventilasjonsbehov.
- God lydisolasjon: Aluminiums ventilasjonskanaler har også gode lydisolerende egenskaper, dette vil bidra til å redusere støy fra ventilasjonssystemet.

### **ULEMPER**

Selv om aluminium gir flere fordeler, er det også noen ulemper ved å bruke det i ventilasjonskanaler. Noen av disse er [105]:

- Aluminiumskanaler er mer kostbare enn kanaler laget av andre materialer som PVC eller HDPE

- Aluminium vil reagere med visse kjemikalier som finnes i noen rengjøringsmidler og luftkvalitetsprodukter, noe som vil føre til at kanalene korroderer og svekker seg over tid. Dette vil skje når fuktighet og luft kommer i kontakt med metallet over tid, noe som fører til at kanalene blir svekket og til slutt mislykkes. Dette er spesielt problematisk i fuktige områder eller når kanalene er utsatt for høy luftfuktighet.
- Aluminium er et elektrisk ledende materiale, som betyr at det kan lede strøm og dermed føre til elektriske farer hvis det kommer i kontakt med strømledninger eller elektriske apparater
- Aluminiums kanaler har dårlig akustisk ytelse, noe som betyr at de ikke gir god lydisolering mellom ventilasjonsrom og rom som de betjener
- Mer utsatt for skade enn andre materialer. Dette skyldes at aluminium er et mykere metall og vil bli bøyd eller deformert hvis det utsettes for kraftig støt eller press. Dette fører til at kanalene blir lekk eller ikke lenger er i stand til å transportere luft effektivt.

### **KLIMAPÅVIRKNING**

Aluminiumproduksjon og -bruk kan ha betydelige klimapåvirkninger. Produksjon av aluminium krever store mengder energi, noe som fører til betydelige utslipp av drivhusgasser. I tillegg vil produksjonsprosessen generere annen forurensning, som for eksempel luftforurensning og avfall. Aluminiumproduksjon forårsaker opptil 1,5% av globale klimagassutslipp [106]. Dette skyldes hovedsakelig at produksjonen krever store mengder elektrisitet, ofte fra kull- eller gasskraftverk, som slipper ut store mengder karbondioksid og andre klimagasser.

Imidlertid vil aluminium også ha en positiv klimaeffekt når det brukes i produkter med lang levetid. Aluminium er et lett og sterkt materiale som kan brukes til å erstatte tyngre materialer som stål og betong. Dette vil redusere energiforbruket og utslippene fra transport og konstruksjon [105].

En annen fordel med aluminium er at det er resirkulerbart [106]. Gjenvinning av aluminium krever mindre energi og gir mindre utslipp av drivhusgasser sammenlignet med produksjon av ny aluminium. Dette vil bidra til å redusere klimapåvirkningene fra aluminiumproduksjon og -bruk.

## 5.12 Fossilfritt stål

Fossilfritt stål er gunstig for å redusere klimagassutslippene fordi produksjonen av stål tradisjonelt har vært en av de mest energiintensive og forurensende prosessene i industrien. Produksjon av stål krever store mengder energi og innebærer vanligvis utslipp av store mengder karbondioksid (CO<sub>2</sub>) og andre klimagasser. Fossilfritt stål produseres imidlertid ved hjelp av elektrisitet fra fornybare energikilder, som sol- eller vindkraft, og bruker ikke fossile brensler, som kull eller olje. Dette reduserer betydelig klimagassutslippene forbundet med produksjonen av stål. Ventilasjonkanaler laget av fossilfritt stål har potensial til å være et miljøvennlig alternativ til kanaler laget av tradisjonelle materialer [107]. Stål er et materiale som allerede har høy gjenvinningsgrad, og fossilfritt stål produseres uten å bruke fossile brensler, som kull eller olje. Produksjonen av ventilasjonkanaler av fossilfritt stål vil derfor ha en lavere karbonavtrykk enn tradisjonelle kanaler. Fossilfritt stål har også en høyere kvalitet og holdbarhet enn tradisjonelt stål, noe som bidrar til å redusere behovet for utskifting og dermed ressurser som brukes på å produsere nye kanaler.

### **FORDELER**

Fordelene med ventilasjonkanaler laget av fossilfritt stål inkluderer både miljømessige og økonomiske fordeler. Fossilfritt stål produseres ved hjelp av fornybar energi og uten å bruke fossile brensler, noe som reduserer klimagassutslippene forbundet med produksjonen. Stål har også en høy gjenvinningsgrad, og ventilasjonkanaler laget av fossilfritt stål vil enkelt gjenvinnes og resirkuleres når de når slutten av levetiden [108].

Ventilasjonkanaler laget av fossilfritt stål er også av høy kvalitet og holdbarhet, noe som betyr at de vil vare lenger og ha lavere vedlikeholdskostnader sammenlignet med tradisjonelle ventilasjonkanaler. De er også korrosjonsbestandige og motstandsdyktige mot brann, noe som gjør dem sikrere og mer pålitelige i bruk. Dette kan føre til en lavere total kostnad over levetiden til ventilasjonssystemet [108].

### **ULEMPER**

En av de største ulempene med ventilasjonkanaler laget av fossilfritt stål er at produksjonskostnadene for øyeblikket høyere enn for tradisjonelle ventilasjonkanaler. Dette skyldes i stor grad at produksjonsprosessen for fossilfritt stål fortsatt er relativt ny og ikke like effektiv som produksjonsprosessen for tradisjonelt stål. Imidlertid forventes kostnadene å synke i takt med økt etterspørsel og forbedringer i produksjonsprosessen over tid [109].

En annen ulempe er begrenset tilgjengelighet av fossilfritt stål, da det foreløpig er begrenset til enkelte produsenter og leverandører. Dette gjør det vanskeligere å finne og kjøpe ventilasjonkanaler laget av fossilfritt stål sammenlignet med tradisjonelle ventilasjonkanaler [109].

Det er også noen begrensninger i bruk av fossilfritt stål i enkelte applikasjoner, for eksempel i høytemperaturmiljøer der stål med høyere legeringer er nødvendig. Imidlertid er dette ikke en vanlig bekymring for de fleste ventilasjonsapplikasjoner [109].



## **KLIMAPÅVIRKNINGER**

Fossilfritt stål er et bærekraftig alternativ til tradisjonelt stål som vil ha positive klimapåvirkninger. Produksjonen av tradisjonelt stål er en av de største kildene til klimagassutslipp i verden. Fossilfritt stål er produsert ved hjelp av elektrisitet fra fornybare energikilder som vannkraft, vind og sol, og dermed reduseres utslippene fra produksjonsprosessen. Det viser seg at overgangen til fossilfri stålproduksjon vil redusere utslippene av CO<sub>2</sub> med opptil 5 % globalt [110].

I tillegg vil gjenbruk og resirkulering av fossilfritt stål redusere utslippene ytterligere. Fossilfritt stål kan resirkuleres på samme måte som tradisjonelt stål, og gjenbruk av stålkomponenter i bygninger og infrastruktur vil også redusere behovet for å produsere nytt stål [109].

En annen positiv klimaeffekt av fossilfritt stål er at det vil bidra til å redusere avhengigheten av fossile brensler. Tradisjonelt stål produseres ved hjelp av kull og andre fossile brensler, mens fossilfritt stål er produsert ved hjelp av fornybar energi. Ved å redusere bruken av fossile brensler i produksjonen, vil fossilfritt stål bidra til å redusere utslippene fra både produksjonen og bruk av stålkomponenter.

## 6 Resultater og diskusjon

Denne studien er en omfattende analyse av ventilasjonskanaler som tar for seg hele livssyklusen til produktene. Systemgrensen er satt til å inkludere modulene for bundne utslipp fra produksjon, installasjon, transport, livsløpsslutfase og gjenbruk, som er representert av kategoriene A1-A5, B4, C1-C4 og D. Dataene som er brukt i analysen er basert på produktdatablad, byggeprogram og samtaler med Grønn VVS. For å beregne klimagassutslippene, har forfatteren brukt miljødata i form av EPD, så langt det lar seg gjøre.

Formålet med studien er å vurdere miljøpåvirkningen av ventilasjonskanaler, spesielt når det gjelder GWP. Ved å se på hele livssyklusen til produktene, kan forfatteren vurdere både direkte og indirekte utslipp fra produksjon til avfallshåndtering, og dermed gi en helhetlig vurdering av miljøpåvirkningen. Studien gir verdifull informasjon som kan brukes til å identifisere mulige forbedringer og tiltak for å redusere klimagassutslippene fra ventilasjonskanaler. Det kan også bidra til å øke bevisstheten om miljøpåvirkningen av bygg- og anleggsprosjekter, og fremme bærekraftig praksis innenfor VVS-bransjen.

Siden målet er å undersøke klimagassutslippene knyttet til ventilasjonskanaler gjennom hele livssyklusen, og derfor er vurdering av miljøpåvirkningskategorien GWP valgt som en sentral indikator for å vurdere miljøpåvirkningen. For å beregne miljøpåvirkningen, er den funksjonelle enheten satt til å være per løpemeter. Dette gjør det mulig å sammenligne miljøpåvirkningen knyttet til ulike kanalmaterialer i markedet og evaluere deres bidrag til det totale klimagassutslippet. Ved å bruke GWP som indikator kan man få et helhetlig bilde av miljøpåvirkningen de forskjellige materialene gjennom hele livssyklusen, og dermed bidra til å ta informerte beslutninger om bærekraftige løsninger. Det har totalt blitt analysert 15 kanaltyper og 12 kanalmaterialer. Disse er beskrevet i tabell 2 og 3.

*Tabell 2: Oversikt over kanalkvalitetene som ble analysert i denne rapporten og hvilke materialer de er produsert av*

	<b>Produsent</b>	<b>Type</b>	<b>Materiale</b>
1	Trox	AuraFlex kanaler	PE
2	Flexit	«lavtbyggende» kanal	Polyeten (HDPE)
3	Flexit	PolyFlex	Alu-foliebelagt plast med stålwire-spiral
4	Flexit	Flexikanal	Aluminium
5	Systemair	IS/UIS	Aluminium
6	Systemair	Tube F	PE
7	Duka	ventilasjonsrør	PVC
8	Halton	HSWCK «grease duct»	Rustfri stål
9	Alnor	ventilasjonskanaler	PVC, PP, PPs
10	KE Fibertec	Tekstilkkanaler	Tekstil
11	Uponor	UVS-ventilasjonssystem	PP
12	GLAVA	Climaver	Isolasjonskanal
13	Ventistål	IsoDuct	isolasjonskanal
14	Climate recovery	Climate recovery duct	Isolasjonskanal
15	Isolamin	Sandwich	Elementer

Tabell 3: De forskjellige materialene som kan brukes for ventilasjonskanaler

	<b>Materiale</b>
1	High-Density Polyethylene - HDPE
2	Polyvinylklorid - PVC
3	Polyuretan – PUR
4	Polyisocyanurat – PIR
5	Polypropylen - PP
6	Bioplast
7	Rustfritt stål
8	Fossilfritt stål
9	Magnelis
10	Syrefast stål AISI 316L
11	Aluminium
12	Galvanisert stål

## 6.1 Beregninger

Dette avsnittet beskriver hvordan GWP for det deklarererte produktet i en EPD beregnes og legges inn i Excel-ark for å beregne GWP av de forskjellige ventilasjonskanalene.

GWP angis i kilogram CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (CO<sub>2</sub>e) per deklarerert enhet (meter, kubikkmeter, kilogram, stk, m.m.) som må samsvare med enheten til komponenten. For å beregne miljødata fra for stykk til pr løpemeter, er det nødvendig å bruke omregningsfaktorer som ofte er lagt ved i EPDene, eller har blitt hentet ved hjelp av å kontakte de som har produsert EPD til de spesifikke produktene. Deretter summeres GWP for alle stadier av komponenten (produksjon, installasjon, transport, livsløpsslutfase, og ombruk) for å gi totalt GWP for komponenten.

I Excel-arket, brukes det forskjellige formler samme formel for å beregne totalt GWP for alle ventilasjonskanaler. For å kunne sammenligne de ulike materialene som ble brukt til ventilasjonskanaler, ble det EPD-tallene gjort om til verdier gitt per løpemeter. En over sikt over EPDene som ble brukt er lagt ved i vedlegg D. Dette gjorde det mulig å sammenligne miljøpåvirkningen fra de ulike materialene på en mer nøyaktig måte. For å gjøre om EPD-tallene ble det brukt forskjellige formler avhengig av materialet som ble brukt. For eksempel ble det brukt en formel som tok hensyn til vekten av stålet per løpemeter, og en annen formel som tok hensyn til tykkelsen på isolasjonen per løpemeter for isolerte kanaler. Formlene er lagt ved inn under metodikk kapittelet.

Ved å gjøre om EPD-tallene til verdier per løpemeter, kunne man enklere beregne den totale miljøpåvirkningen fra produksjon, transport og installasjon av ventilasjonskanaler. Dette gjorde det mulig å sammenligne materialene på en mer nøyaktig måte og velge det materialet som hadde minst miljøpåvirkning i livssyklusanalysen. Sammenligningen av materialene basert på verdier per løpemeter var også nyttig for å kunne gi anbefalinger til hvilke materialer som bidro til å redusere den totale miljøpåvirkningen fra byggeprosjekter, samtidig som man kunne velge det mest kostnadseffektive og funksjonelle materialet for formålet.

I en markedsanalyse som ble gjennomført, ble det innhentet konfidensielle tall fra de største kanalleverandørene i hele Norge for å finne statistikk på hvilke kanalstørrelser som ble mest brukt i markede, se tabell 4. Dette ble gjort for å kunne gi bedre innsikt i markedstrendene og for å hjelpe bransjen med å tilpasse seg endringer i etterspørselen.

Tabell 4: Statistikk på markedsandel av kanalstørrelser

Størrelse mm	% av solgt lengde
100	1,53
125	19,60
160	11,80
200	9,33
250	9,59
315	12,36
400	10,65
500	6,85
630	5,85
800	5,58
1000	5,45
1250	1,35
<b>Totalt</b>	<b><u>100</u></b>

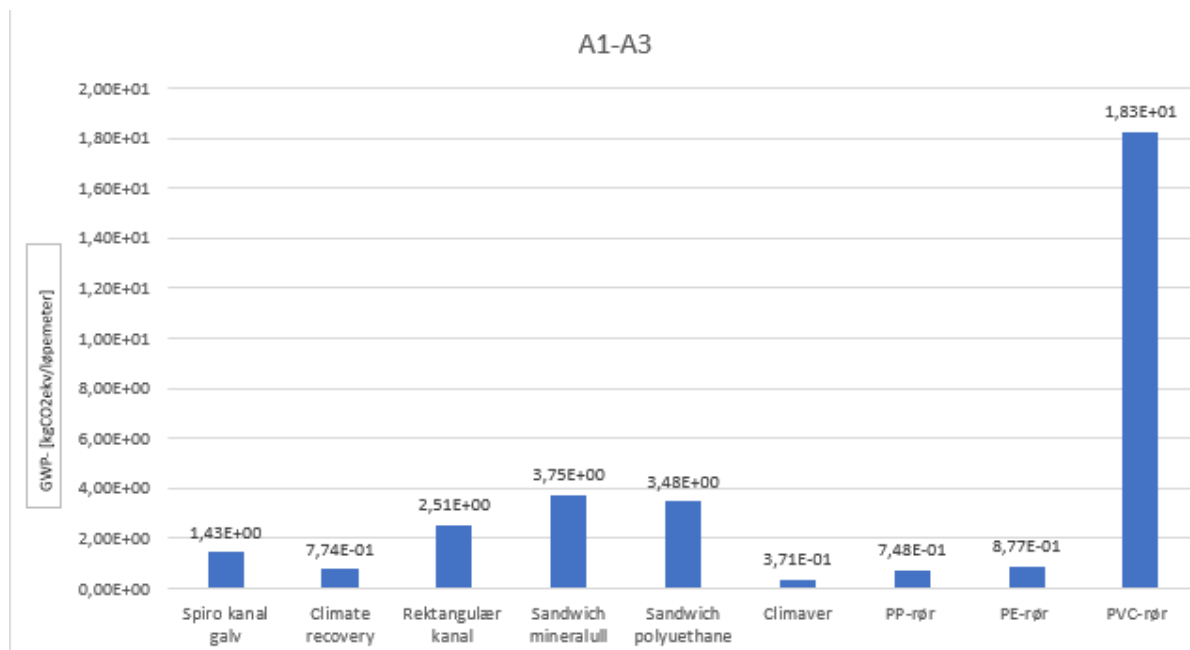
Tabell 5 viser resultatene fra markedsanalysen viste at det var en økning i etterspørselen etter mindre kanalstørrelser, spesielt blant mindre og mellomstore byggeprosjekter. Dette kan skyldes en økt bevissthet rundt energieffektivitet og et ønske om å redusere kostnader og miljøpåvirkning.

På den annen side ble det også observert en fortsatt etterspørsel etter større kanalstørrelser til større byggeprosjekter og industrielle applikasjoner. Dette indikerer at det fortsatt er behov for større kanaler til spesifikke formål og bransjer. Statistikken som ble innhentet om hvilke kanalstørrelser som var mest brukt i markedet, ble brukt til å lage en vektet middelvei i videre LCA-beregninger. Dette gjorde det mulig å estimere miljøpåvirkningen fra produksjonen, transporten og installasjonen av ventilasjonskanaler på en mer nøyaktig måte.

Ved å bruke den vektete middelveien kunne man ta hensyn til den relative bruken av ulike kanalstørrelser i markedet. Dette betyr at de kanalstørrelsene som var mest brukt, ville ha større innvirkning på den endelige LCA-beregningen enn de mindre brukte størrelsene.



## 6.2 Produksjon (A1-A3)

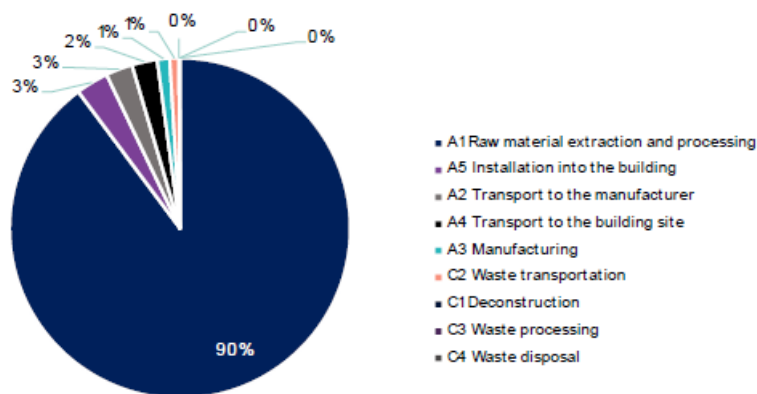


Figur 24: Produksjon A1-A3

Produksjonen av isolasjonskanaler krever bruk av forskjellige materialer som aluminium, isolasjon, stål og plast. Imidlertid viser utregninger at produksjonen av isolasjonskanaler genererer mindre klimagassutslipp enn produksjonen av stål, se figur 24.

Stålproduksjon er kjent for å være en av de mest energiintensive og miljøskadelige industriprosessene, da produksjonen krever høy temperatur og bruk av fossile brensler som kull og olje. I tillegg fører utvinning og transport av jernmalm og kull til ytterligere utslipp av klimagasser. Sammenlignet med dette er produksjonen av isolasjonskanaler mindre energiintensiv og mer miljøvennlig, da det brukes mer resirkulert materiale og mindre energiintensive produksjonsprosesser.

Imidlertid er det viktig å huske at produksjon av isolasjonskanaler også kan generere klimagassutslipp, spesielt hvis det brukes ikke-fornybare energikilder under produksjonen. Derfor er det viktig å ta hensyn til hele livssyklusen til materialene og produktene som brukes i bygg- og konstruksjonsbransjen, og vurdere alternativer som kan redusere miljøpåvirkningen.

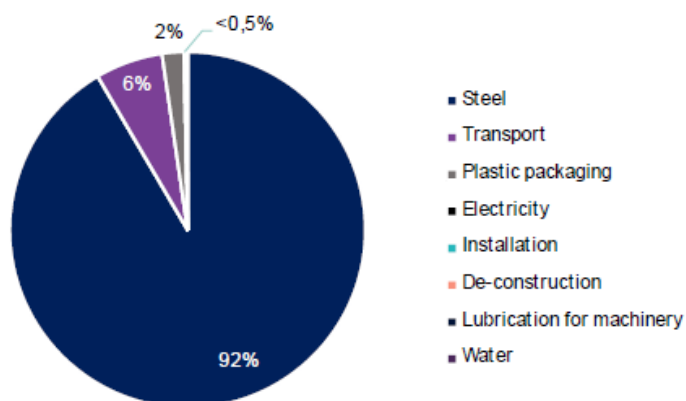


Figur 25: Globalt oppvarmingspotensial – Stadier i livssyklusen [126]

Beregninger og analyser viser at produksjonen av stål er en av hovedårsakene til at stålkanaler har et høyt globalt oppvarmingspotensial (GWP) [126], se figur 25 og 26. Produksjon av stål involverer en rekke energiintensive prosesser som bruker store mengder fossile brensler, noe som fører til utslipp av klimagasser som karbondioksid og metan. Disse utslippene har en betydelig innvirkning på klimaendringene og bidrar til global oppvarming [126].

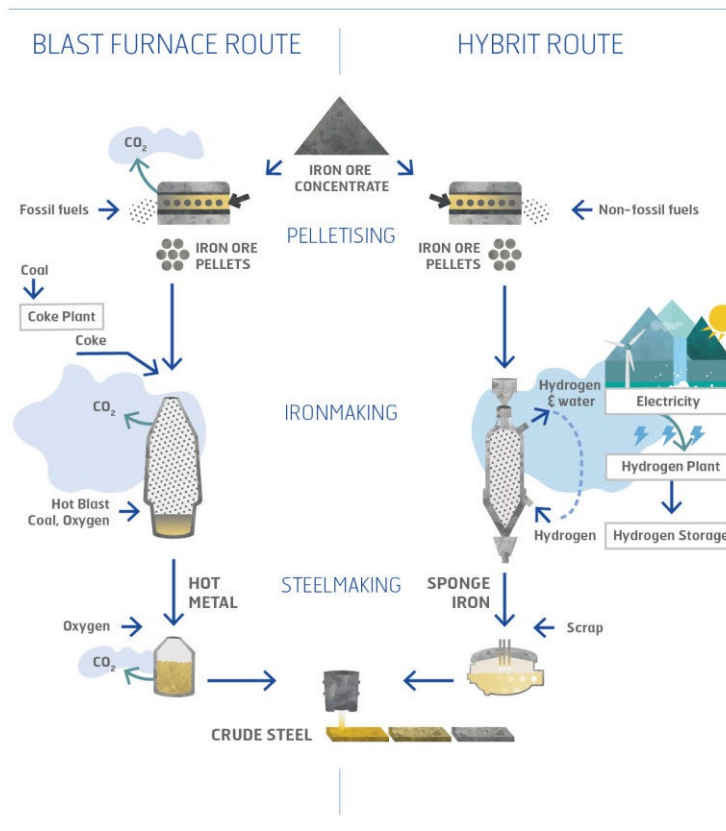
På grunn av dette er det viktig for bransjen å vurdere mer miljøvennlige alternativer for produksjon av stålkanaler. En mulighet kan være å bruke resirkulert stål eller å redusere mengden stål som brukes i produksjonen ved å integrere andre materialer som kan ha mindre innvirkning på miljøet. Alternativer som bruk av fornybar energi og karbonfangst- og lagringsteknologi kan også bidra til å redusere klimagassutslippene forbundet med produksjonen av stål.

Det er viktig å merke seg at selv om produksjonen av stålkanaler kan ha høyt GWP, kan stål fortsatt være et holdbart og bærekraftig materiale for bygg- og konstruksjonsbransjen. Imidlertid bør bransjen gjøre en innsats for å redusere klimapåvirkningen og bidra til en mer bærekraftig fremtid ved å velge mer miljøvennlige alternativer for produksjon av stålkanaler.



Figur 26: Globalt oppvarmingspotensial fossilt kgCO<sub>2</sub>e – Klassifikasjoner (Datapunkter Elektrisitet, installasjon, dekonstruksjon, smøring av maskiner og vann utgjør til sammen mindre enn 0,5 % av GWP) [126]

## Produksjon av fossilfritt stål



Figur 27: Produksjon av fossilfritt stål [112]

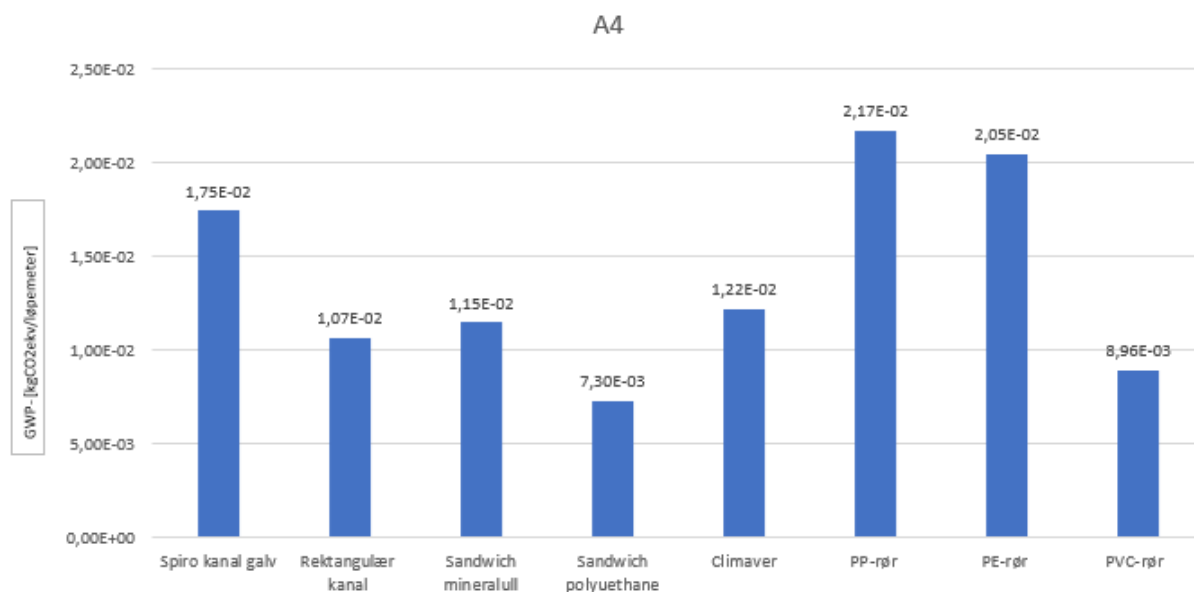
Stål brukes i mange industrier, men dessverre er produksjonen av stål en av de største kildene til CO<sub>2</sub>-utslipp i verden. Ifølge «6th Assessment Synthesis Report», publisert av IPCC, viser det seg at jern- og stålproduksjon sto for de største industriutslippene med 7,2 prosent [1]. Det skyldes hovedsakelig kull og koks som brukes i produksjonsprosessen, og det er bekymringer om at etterspørselen etter stål vil føre til enda høyere CO<sub>2</sub>-utslipp [134].

HYBRIT-prosjektet ble lansert i 2016 for å finne en løsning på dette utfordrende problemet. Prosjektet søker å undersøke mulighetene for å erstatte kull og koks med hydrogengass i stålproduksjonsprosessen, som illustrert i figur 27. Dette vil føre til en helt ny og innovativ tilnærming til produksjon av stål, og skape en nesten utslippsfri produksjonsprosess for stål. [112]

Vattenfall, LKAB og SSAB står bak HYBRIT-prosjektet og har som mål å endre stålproduksjonsindustrien til en mer bærekraftig og miljøvennlig prosess. Ved å erstatte fossile brenslere med fornybare energikilder, vil dette prosjektet være en milepæl i overgangen til en mer bærekraftig industriell produksjon. HYBRIT-prosjektet representerer et viktig skritt mot en mer bærekraftig fremtid for stålproduksjon og andre store industrier. Det vil ikke bare bidra til å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene i verden, men også bidra til å øke bevisstheten om behovet for å finne mer bærekraftige og innovative løsninger på globale utfordringer [108].



## 6.3 Transport A4



Figur 28: Transport A4

Figur 28, viser at beregningene på transport av flatpakkede ventilasjonskanaler krever mindre energi enn transport av hele kanaler. Dette skyldes hovedsakelig at flatpakkede ventilasjonskanaler tar opp mindre volum og veier mindre enn hele kanaler. Som et resultat kan flere ventilasjonskanaler transporteres samtidig, noe som reduserer antall transportturer og mengden drivstoff som kreves for transporten. I tillegg til å redusere energiforbruket, kan transport av flatpakkede ventilasjonskanaler også føre til mindre utslipp av klimagasser og mindre trafikkbelastning på veiene. Dette kan bidra til å redusere miljøpåvirkningen forbundet med transport av ventilasjonskanaler.

### Transport av ventilasjonskanaler

Frakt av ventilasjonskanaler fra fabrikk til byggeplass kan være en utfordring på grunn av størrelsen og kravene til ventilasjonskanalene. Ut ifra intervjuene som ble utført har jeg kommet frem til seks mulige løsninger.

- 1. Transportere ved siden av hverandre:** Den vanligste løsningen er å pakke hver 3 meter lange spirorør en og en ved siden av hverandre inn i en lastebil. Dette gjøres for å forsegle rørene med plastlokk i hver ende, for å oppfylle de strenge renhetskravene som er nødvendige i prosjektene.
- 2. Transportere ved å pakke runde kanaler konsentrisk:** Det er en mer plassbesparende metode å pakke rundekanaler konsentrisk, ved å starte med den største dimensjonen og deretter tre neste dimensjon inn i hulrommet, og enda en dimensjon inn i der igjen. På denne måten kan det fraktes flere meter med ventilasjonsrør per lastebillass. Selv om denne metoden kan spare plass og fraktkostnader, må det tas hensyn til renhetskravene til ventilasjonskanalene. For å løse dette problemet kan bunnen på den ytterste rørdimensjonen plugges, og så kan en plastpresenning, også kjent som en "badehette", trekkes over hele forsendelsen for å oppfylle kravene til renhet.

[113]

3. **Transportere stående:** En innovativ måte å effektivisere transporten av ventilasjonskanaler på er å kutte kanalene i 2,4 meters lengder og frakte dem stående når de er av samme størrelse. Dette gir mulighet for å laste flere ventilasjonskanaler på hver lastebil, noe som igjen reduserer antall transportenheter som trengs. Ved å frakte ventilasjonskanalene stående, reduseres også risikoen for at kanalene blir skadet under transport. Dette skyldes at kanalene får en bedre støtte og mindre bevegelse, sammenlignet med når de ligger horisontalt. Dette åpner for muligheten til å stable kanalene i en del av lastebilen, mens resten av lasterommet kan benyttes til å frakte andre varer eller utstyr. Ved å utnytte lasterommet på denne måten, kan man redusere antall transportenheter som trengs og dermed redusere transportkostnadene. Det vil også være mer miljøvennlig, ettersom færre transportenheter fører til mindre utslipp av CO<sub>2</sub> og andre miljøskadelige stoffer. Det er imidlertid viktig å påpeke at det er nødvendig å ta hensyn til vekten av kanalene når de fraktes stående, da dette kan påvirke lastebilens stabilitet under transporten. En grundig risikovurdering bør derfor utføres før denne transportmetoden benyttes. Det er viktig å merke seg at denne praksisen kan ha innvirkning på monteringsprosessen, da det vil være behov for å koble sammen flere lengder av kanaler på byggeplassen. Imidlertid kan denne ulempen oppveies av de betydelige fordelene som følger med å redusere antall turer og transportkostnader knyttet til ventilasjonskanaler.
4. **Produsere på plass:** Det er også mulig å sette opp en spiromaskin på byggeplassen for å effektivisere produksjonen av ventilasjonskanaler. Dette er ofte gjort på større prosjekter hvor det er lønnsomt å investere i denne teknologien. Ved å benytte seg av spiromaskin elimineres behovet for å transportere ventilasjonskanalene fra fabrikken til byggeplassen, da kanalene kan produseres direkte på stedet. Spiromaskinen er en maskin som produserer ventilasjonskanaler i spiralform av ulike dimensjoner og lengder, og kan produsere kanaler i ulike materialer, som galvanisert stål, aluminium eller rustfritt stål. Spiromaskinen har et høyt produksjonsvolum og kan produsere flere hundre meter ventilasjonskanaler på kort tid. Dette gir en betydelig tidsbesparelse og effektivisering av produksjonen. Ved å benytte seg av en spiromaskin, vil man også redusere kostnadene knyttet til frakt og lagring av ventilasjonskanalene, da kanalene kan produseres og monteres direkte på stedet. Dette vil også redusere risikoen for skader og kvalitetsproblemer som kan oppstå under transporten av ventilasjonskanaler. Det er imidlertid viktig å merke seg at investeringen i en spiromaskin kan være høy, og det kan være nødvendig med opplæring og vedlikehold for å opprettholde en effektiv og pålitelig produksjon. En grundig vurdering av prosjektets størrelse og behov vil være avgjørende for å avgjøre om det er lønnsomt å investere i en spiromaskin på byggeplassen. Denne teknikken for pakking og frakt av ventilasjonskanaler kan være spesielt nyttig i store prosjekter hvor det er behov for å transportere store mengder ventilasjonskanaler fra fabrikken til byggeplassen på en effektiv måte. Dette kan også bidra til å redusere kostnadene og forbedre logistikken for prosjektet.
5. **Transportere som flatpakket:** Kanaler som ikke er laget av stål, plast eller andre lignende harde materialer har muligheten til å bli transportert som flatpakket. Transport av flatpakkede ventilasjonskanaler kan være en praktisk løsning for å frakte store mengder kanaler på en effektiv måte. Dette kan bidra til å redusere kostnader og unngå unødvendig transport av tunge stålskanaler fra blikkenslager til byggeplassen. Ventilasjonskanaler som er laget av isolasjonstyper er de type ventilasjonskanaler som kommer flatpakket og kan kuttes og tilpasses på stedet. Dette gjør at man kan unngå å transportere store og tunge kanaler til byggeplassen, og heller frakte flatpakkede kanaler som tar mindre plass og er lettere å håndtere. Dette kan være spesielt nyttig for store konstruksjoner hvor det kan være behov for flere omganger med transport.

6. **Transportere i ruller:** Transport av fleksible ventilasjonskanaler skjer vanligvis på ruller som er ca. 50 meter lange. Dette er en av de vanlige standardlengde for fleksible kanaler og gjør det enklere å transportere store mengder kanaler på en effektiv måte. Fleksible ventilasjonskanaler er vanligvis laget av plast, tekstil- og metallmaterialer, og kan bøyes og vrís for å passe til ulike ventilasjonskonfigurasjoner. Fordi de er fleksible, kan de ruller sammen og pakkes relativt kompakt for transport.

De fleste intervjukandidatene mener at å produsere kanalene på plass er det beste alternativet, da det eliminerer transportdelen. Imidlertid påpekes det at dette er en kostbar prosess, og det må være et prosjekt med tilstrekkelig fortjeneste for å dekke rigg- og produksjonskostnader. I prosjekter der denne metoden ikke er lønnsom, anses transport av rundekanaler konsentrisk som den beste måten å frakte kanalene på. Det understrekes at det er viktig å ivareta renhetskravene til ventilasjonskanalene. Hvis det oppstår problemer med renhet eller hvis det ikke er mulig å transportere konsentrisk på grunn av kanaler av samme størrelse, foretrekkes stående transport. Ved å frakte kanalene stående kan man fylle en mindre del av lastebilen med kanaler og resten med annet utstyr. Dette gir en mer konsentrert og plassbesparende løsning sammenlignet med å frakte kanalene oppå hverandre. Tabell 6 viser en oversikt av hvilken transport typer som er til vanlig brukt for de ulike variantene i henhold til intervjukandidatene.

Tabell 6: Oversikt over transport for de ulike kanaltypene

Kanaltyper	Transport typer					
	Ved siden av hverandre	Pakke runde kanaler konsentrisk	Stående	Produsere på plass	Flatpakket	Ruller
Sirkulære stål kanaler	x	x	x	x		
Rektangulære stål kanaler	x		x			
Plastkanaler $\leq \varnothing 100$						x
Plastkanaler $\geq \varnothing 100$	x		x*			
Sandwich elementer	x		x		x	
Isolasjonskanaler	x		x		x	

\* Når de er av type hardplast

## 6.4 Installasjon A5

Gjennom intervjuer med entreprenører og montører, samt litteratursøk, har man komme fram til de ulike kravene for oppheng og montering av de forskjellige typer ventilasjonskanaler. Dette inkluderer krav til styrke, stabilitet, tetthet og brannsikkerhet.

Det er forskjellige krav og anbefalinger til avstand mellom opphengene for å sikre at kanalene er tilstrekkelig støttet og stabile. Det er også krav til festemidler og opphengs metoder for å sikre at kanalene holdes på plass og ikke beveger seg eller faller ned over tid.

I tillegg er det være krav til tetthet for å unngå luftlekkasjer og sikre at ventilasjonssystemet fungerer optimalt. Dette inkluderer krav til tegningsmateriale og tetningsmetoder for å sikre at kanalene er helt tette.

Brannsikkerhet er også et viktig krav for oppheng og montering av ventilasjonskanaler. Kanalene kan utgjøre en risiko for brannspredning, og det er krav til brannsikre materialer og brannhemmende belegg for å forhindre eller begrense brannspredning.

Videre variere disse parameterne i henhold til hvilke typer ventilasjonskanal som blir brukt. Det er forskjeller mellom oppheng og montering av stålskanaler og fleksible kanaler. Kravene varierer avhengig av størrelse og form på kanalene, samt hvor de skal plasseres og hvordan de skal kobles til andre deler av ventilasjonssystemet.

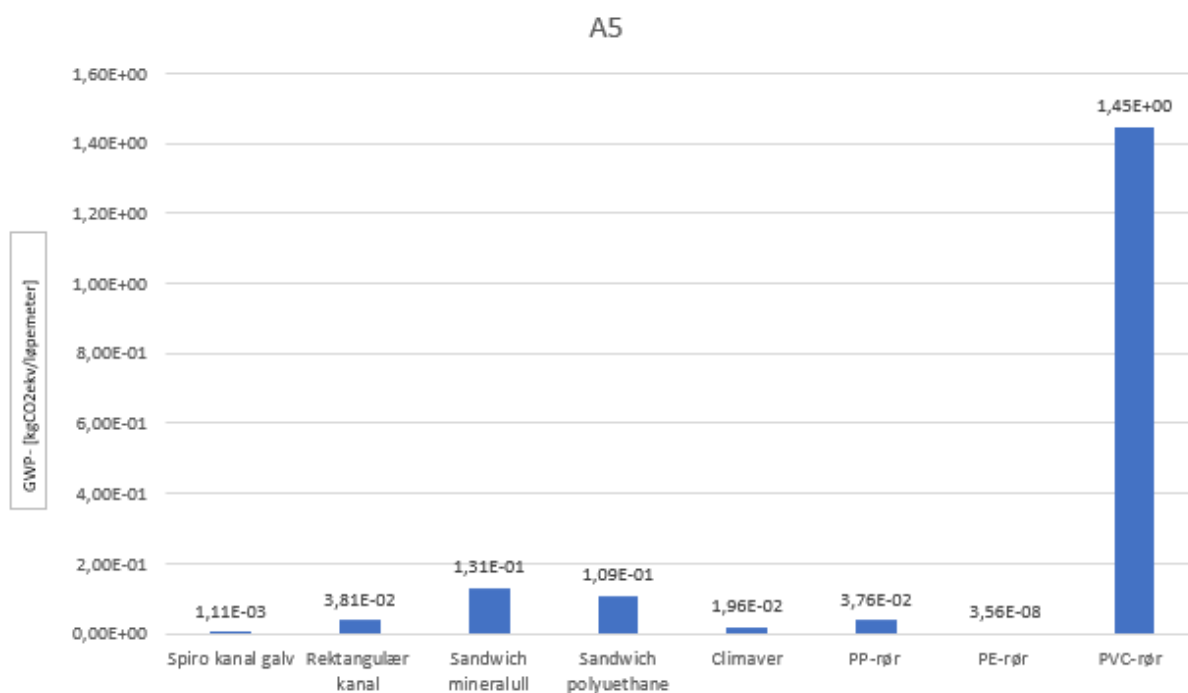
Byggforskeren «550.401 Opphengs systemer for tekniske installasjoner. Dimensjonering og utførelse» skriver følgende om sirkulære kanaler: *«Avstand mellom oppheng. For sirkulære ventilasjonskanaler anbefales generelt en opphengs avstand på maksimalt 3,0 m dersom ikke produsenten eller leverandøren angir kortere avstand.»*

Når det kommer til rektangulære kanaler skriver den videre at: *«Avstand mellom oppheng. For rektangulære ventilasjonskanaler med opptil 6,0 m kanalomkrets anbefales generelt en opphengs avstand på maksimalt 2,4 m dersom ikke produsenten eller leverandøren angir kortere avstand. Det skal generelt ikke være mer enn én skjøt mellom to oppheng, bortsett fra ved bruk av kanaldelar som bend, overganger og andre lette komponenter. Opphengene skal plasseres maksimalt 0,5 m fra skjøt.»*

De forskjellige leverandørene av ventilasjonskanaler har forskjellige krav når det gjelder montering og oppheng av kanalene. Dette kan skyldes forskjeller i materialer, konstruksjon, størrelse og form på kanalene. Det er derfor viktig å nøye undersøke og følge leverandørens spesifikke krav når det gjelder montering og oppheng av ventilasjonskanalene. Dette kan inkludere krav til avstand mellom opphengene, krav til festemidler og opphengs metoder, krav til tetthet og brannsikkerhet, samt spesifikke instruksjoner for tilpasning og kutting av kanalene på stedet.

Det er viktig å merke seg at feilaktig montering av ventilasjonskanaler kan ha alvorlige konsekvenser for sikkerheten, effektiviteten og påliteligheten til ventilasjonssystemet. Derfor er det viktig å følge leverandørens spesifikke krav og sikre at kanalene monteres på en trygg og korrekt måte.

Det er krav til flere oppheng per meter for fleksible kanalmaterialer sammenlignet med kanaler laget av stål. Dette skyldes at fleksible kanaler vanligvis ikke er like stive som stålkjerner, og dermed kan de bevege seg mer under påvirkning av luftstrømmer eller trykkendringer. Dette kan føre til at kanalene bøyer seg eller deformeres over tid, og dermed er det nødvendig med flere oppheng for å sikre at kanalene holdes på plass og beholder sin form og funksjon over tid.



Figur 29: Installasjon A5

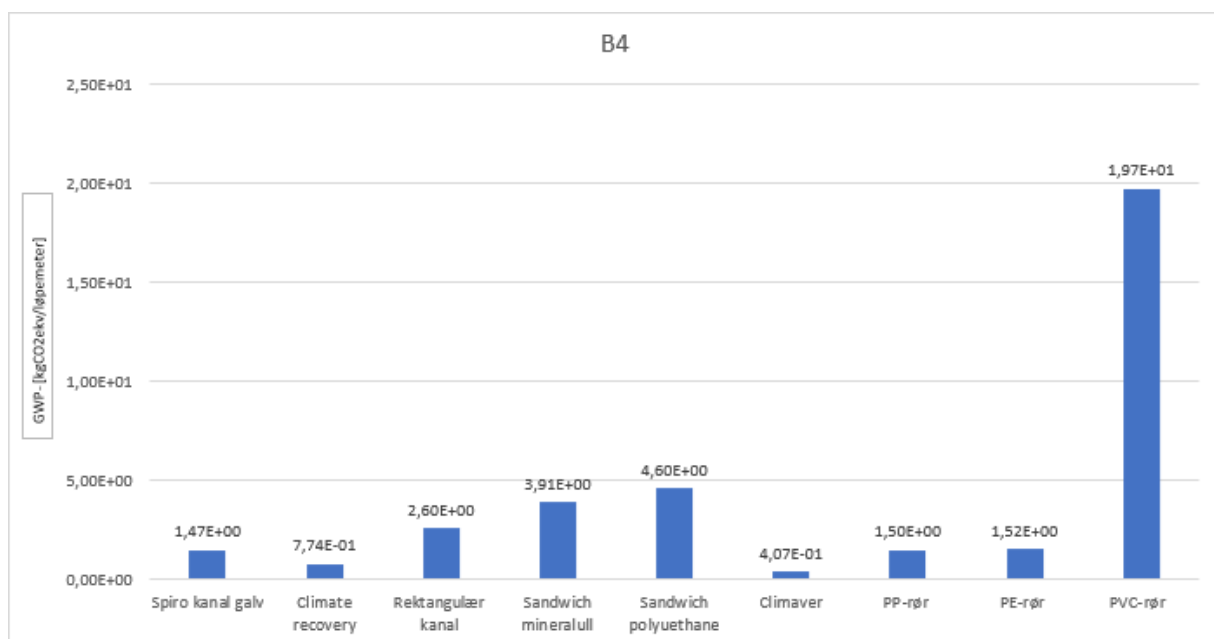
I henhold til figur 29 er det tydelig at klimagassutslippene for installasjoner av PVC-kanaler scorer betydelig høyere i verdi sammenlignet med andre alternativer. PVC-kanaler er produsert med ulike tykkelser avhengig av diameteren. Det er brukt en tykkelse på 3,2 mm for Ø125, 4,7 mm for Ø160, 5,9 mm for Ø200 og 7,3 mm for Ø250 og større kanaler. Årsaken til den tykke godstykkelsen kan forklares på følgende måte:

Ut ifra intervjuene med leverandørene ble det konkludert frem til at dette er på grunn av at den tykke godstykkelsen på PVC-kanaler er designet for å oppnå bedre styrke og holdbarhet. PVC-materialet er relativt mykt og kan være mer utsatt for deformasjoner eller skader hvis ikke tilstrekkelig tykt. Ved å øke tykkelsen på PVC-kanalene, oppnår man en bedre motstand mot trykk og ytre påvirkninger, noe som resulterer i mer robuste kanaler.

Imidlertid er det viktig å merke seg at selv om den tykke godstykkelsen bidrar til økt styrke, bidrar det også på klimagassutslippene. Produksjonen av PVC involverer bruk av visse kjemikalier og energiintensive prosesser, som fører til høyere utslipp av klimagasser sammenlignet med andre materialer.

## 6.5 Utskiftning

Basert på intervjuene og diskusjonene kom det frem at utskiftning av ventilasjonskanaler ikke er en vanlig prosess, men det er visse situasjoner der det kan være nødvendig å vurdere erstatning. Alder og slitasje er en av hovedgrunnene, da kanalene over tid kan bli skadet, korrodert eller miste effektivitet, noe som påvirker luftstrømmen og luftkvaliteten negativt. Skader og blokkeringer forårsaket av faktorer som bygningsarbeid, vannlekkasjer eller skadedyr kan også kreve utskiftning for å gjenopprette optimal luftstrøm og effektivitet. I tillegg kan oppgradering av ventilasjonssystemet eller bygningen føre til behov for erstatning for å imøtekomme nye krav og standarder.



Figur 30: Utskiftning B4

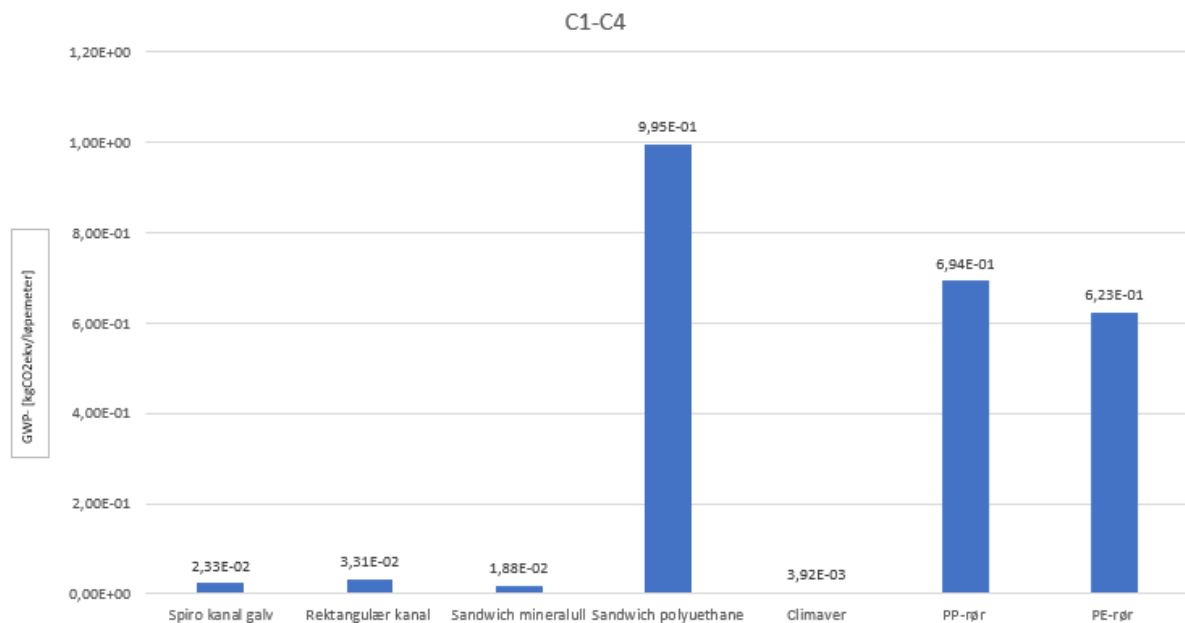
Figur 30 viser at PVC-kanaler er miljømessig ugunstige sammenlignet med alternativer som climaver-kanaler når det gjelder klimagassutslipp. Dette kan indikere at å velge mer bærekraftige materialer har en fordel når det gjelder miljøpåvirkning.

Når det gjelder prosessen for utskiftning av ventilasjonskanaler, understreker intervjuene behovet for en grundig inspeksjon av eksisterende kanaler for å identifisere eventuelle problemer eller skader. Spesialisert utstyr som kameraer kan brukes til å inspisere kanalene nøye. Basert på inspeksjonen kan en plan utarbeides, inkludert bestemmelse av riktig størrelse, materialer og layout for de nye kanalene. Fjerning av gamle kanaler bør utføres nøye for å unngå forstyrrelser i bygningsstrukturen, og det kan kreve fagfolk med erfaring og ekspertise

## 6.6 End of life (C1-C4) og Potensialet for gjenbruk og resirkulering (D)

End of life fasen for ventilasjonskanaler har flere trinn disse er: demontering, transport, avfallshåndtering og deponering.

Ifølge beregningene som vist i figur 31, ser vi at plastrør og sandwichelementer laget av polyuretan scorer høyt når det gjelder klimagassutslipp.



Figur 31 End of life C1-C4

Ut ifra intervjuene med montører og prosjektledere kommer vi fram til at først må ventilasjonskanalene demonteres eller. Dette innebære å løsne og fjerne skruer, klemmer eller annet festemateriale som holder kanalene på plass. Etter demontering må ventilasjonskanalene transporteres fra stedet der de ble fjernet. Dette krever bruk av egnede kjøretøy eller transportmidler for å frakte materialene trygt til riktig destinasjon. Når det gjelder ventilasjonskanaler, er det viktig å vurdere riktig avfallshåndtering. Dette innebærer å sortere og behandle materialene på en miljøvennlig måte. For eksempel kan stålskanaler resirkuleres, mens andre materialer kan kreve spesifikk avfallshåndtering.

Hvis resirkulering eller annen avfallshåndtering ikke er mulig, kan det være nødvendig å deponere ventilasjonskanalene på en godkjent deponiplass. Dette må gjøres i samsvar med gjeldende lover og forskrifter for å sikre at materialene blir riktig behandlet og ikke forårsaker skade på miljøet.

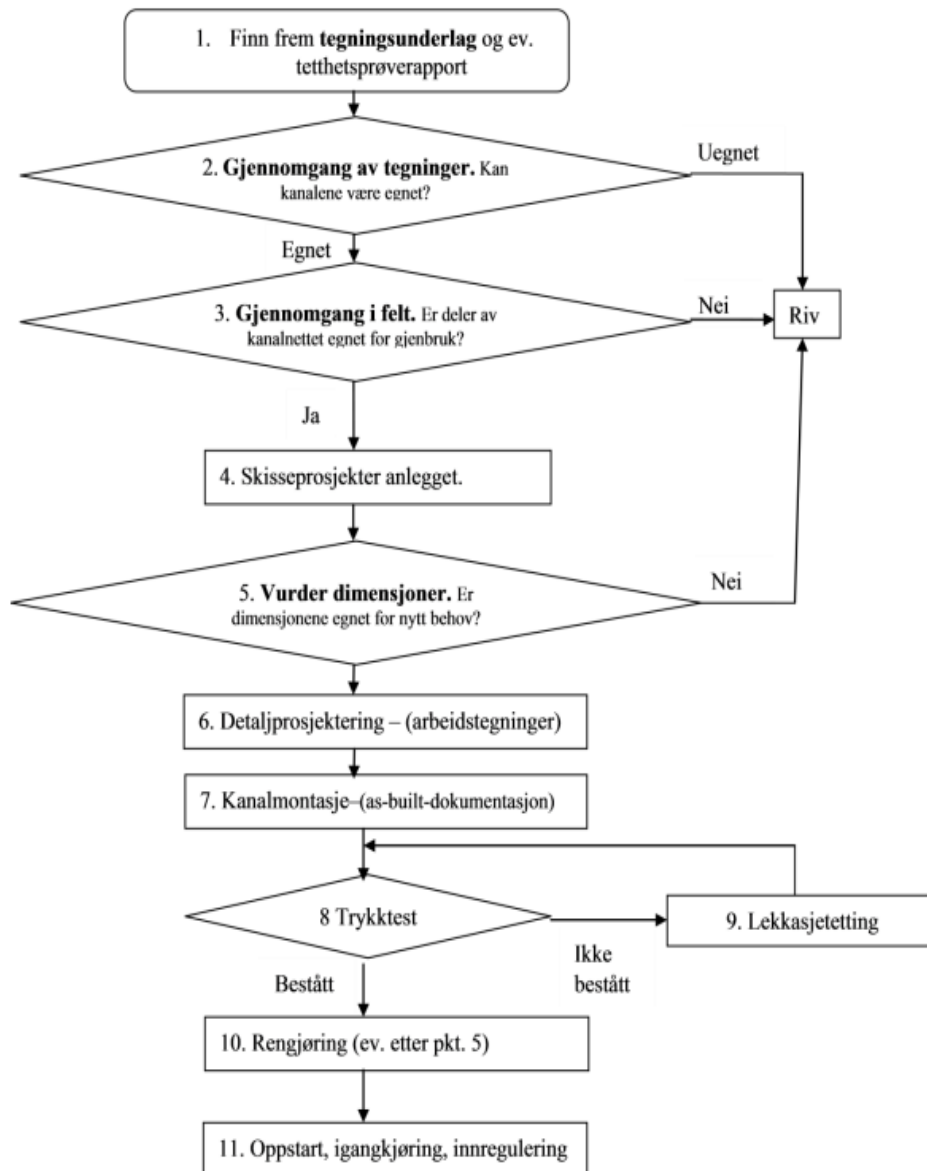
Videre i intervjuene kom vi frem til at generelt gjenbruk av ventilasjonskanaler kan være en kostnadseffektiv og miljøvennlig løsning, men det er viktig å vurdere noen faktorer før man tar en beslutning. For det første må kanalene inspiseres grundig for å sjekke om de er i god stand og fri for skader eller forurensninger som kan påvirke inneluftkvaliteten. Hvis kanalene er i dårlig stand eller har blitt forurenset, må de repareres eller erstattes før de kan brukes igjen.

For det andre må man vurdere om ventilasjonssystemet har blitt riktig dimensjonert og designet for de nye bruksområdene. Hvis det opprinnelige systemet ble designet for andre formål, kan det hende at kanalene ikke passer til de nye kravene til ventilasjon. I slike tilfeller kan det være nødvendig å endre eller utvide systemet.

Endelig bør man vurdere om gjenbruk av kanalene er den beste løsningen for den spesifikke situasjonen. Hvis man for eksempel bygger et helt nytt bygg, kan det være mer kostnadseffektivt å installere et nytt ventilasjonssystem i stedet for å gjenbruke de gamle kanalene.

Det er også viktig å være oppmerksom på at gjenbruk av ventilasjonskanaler kan påvirke energieffektiviteten til ventilasjonssystemet. Gamle kanaler har høyere luftmotstand enn nye, og dette fører til økt energiforbruk og redusert luftstrømningseffektivitet. I en rapport publisert av SINTEF kommer forskerne frem med en framgangsmåte for gjenbruk av kanaler trinn for trinn [113]. Disse er vist i figur 32.





Figur 32: Flytskjema som viser trinnvis fremgangsmåte for gjenbruk av kanalnett [113]

Det er viktig å merke seg at kostnadene ved gjenbruk av kanalnett vil variere avhengig av en rekke faktorer, inkludert tilstanden til eksisterende kanaler, størrelsen på bygget, og omfanget av arbeidet som må gjøres for å tilpasse kanalene til de nye bruksområdene.

Tabell 7 gir en oversikt over kostnadene ved gjenbruk av kanalnett i Solbråveien 23 hentet fra SINTEF rapport [125],

Tabell 7: Kostnader for gjenbruk kontra riving og nyinstallasjon for Solbråveien 23 [125]

Aktivitet	Merkostnad Solbråveien [kr/10.000 m <sup>2</sup> ]	Merkostnad gjenbruk [kr/m <sup>2</sup> ]	Merkostnad nyinstallasjon [kr/m <sup>2</sup> ]
1. Finne frem tegninger og anleggsdokumentasjon	10.000,-	1	
2. Gjennomgang av tegninger	10.000,-	1-2	
3. Gjennomgang i felt	10.000-100.000,-	1-10	
4. Skisseprosjektering	Ingen forskjell		
5. Vurdere dimensjoner	20.000 – 50.000	2-5	
6. Detaljprosjektering	0		
7a. Rive	150.000	15	150
7b. Kanalmontering	400.000-500.000,-	40-50	400-500
8. Trykktest	0		
9. Lekkasjetetting	50.000,-	5	
10. Rengjøring	900.000 -1.800.000	90-180	
11. Oppstart	0		
12. Uforutsett		5 -52	
SUM		160-330, snitt 245,-	550-700, snitt 625,-

Som beskrevet i teksten, viser kostnadsanslagene at gjenbruk av eksisterende kanalnett var svært lønnsomt sammenlignet med å installere et nytt kanalnett. Besparelsen var betydelig, med en minimumsbesparelse på 2,2 millioner kr og en midlere besparelse på 3,8 millioner kr. Dette skyldes i stor grad at rivekostnadene blir betydelig redusert når eksisterende kanalnett gjenbrukes.

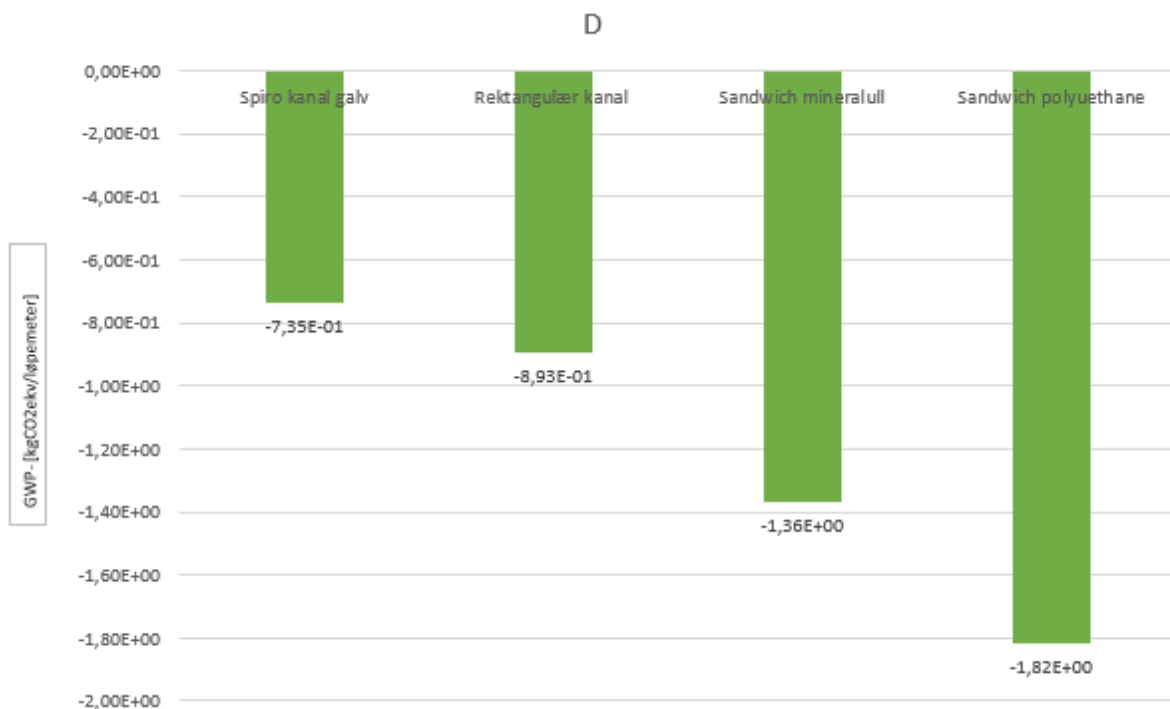
Det er også mulig at gjenbruk av kanalnett sammen med oppgradering av aktive tilluftsventiler kan føre til kortere byggetid og redusert nedetid. Imidlertid er ikke disse potensielle besparelsene inkludert i den økonomiske analysen som er beskrevet i teksten.

Det er viktig å merke seg at kostnadsanslagene som er presentert i teksten, er basert på grove estimater og at faktiske kostnader kan variere betydelig avhengig av en rekke faktorer, inkludert tilstanden til eksisterende kanaler og størrelsen på bygget.

## Resirkulering

Ventilasjonskanaler laget av gjenvunnet materiale er en mer miljøvennlig løsning enn tradisjonelle stålkkanaler. Gjenvunnet materiale har allerede blitt produsert og brukt tidligere, og det å bruke det på nytt reduserer behovet for å utvinne og produsere nye materialer. Dette reduserer både utslippene og energiforbruket som er knyttet til produksjonen av nye materialer. I tillegg kan ventilasjonskanaler laget av gjenvunnet materiale være like holdbare og effektive som tradisjonelle stålkkanaler, og kan derfor være et godt alternativ å redusere klimaavtrykk [114].

Det finnes flere alternative materialer som kan brukes til ventilasjonskanaler istedenfor stål, spesielt hvis man ønsker å bruke resirkulerte materialer. En mulighet er å bruke isolasjonskanaler. En annen mulighet er å bruke PVC-plast, som er et rimelig og lett materiale som kan resirkuleres. PVC er også motstandsdyktig mot korrosjon og kan vare lenge [114].



Figur 33: Resirkulering D

Beregningene for klimagassutslipp i resirkuleringsfasen D, som vist i figur 33, indikere at kun fire kanaltyper er egnet for resirkulering, og at Sandwich-kanaler er den som gir best utslag i henhold til resirkulering.

Det er viktig å være realistisk når man vurderer resirkuleringspotensialet til ulike kanaltyper. Det er utfordrende å skille komponentene i kanalene, for eksempel å separere alufolien fra isolasjonsskummet eller den tynne alufolien fra mineralull. Sterke lim og materialbindinger kan gjøre demontering og resirkulering mer komplisert.

Resirkulering av ventilasjonskanaler er en kompleks prosess som krever spesialisert teknologi og fasiliteter dermed er det mer hensiktsmessig å fokusere på gjenbruk av materialer i stedet for resirkulering. Det er viktig å merke seg at beregningene for klimagassutslipp i resirkuleringsfasen er basert på ideelle scenarier og teoretiske beregninger. I praksis kan det være utfordrende å oppnå de samme resultatene på grunn av tekniske, økonomiske og logistiske begrensninger. Disse tallene er ikke kontroll sjekket med leverandør, og har blitt tatt med videre i resultatet.

Stål er en viktig byggestein i samfunnet vårt, og brukes til alt fra bygninger, broer og kjøretøy til redskaper og fabrikker. Dessverre har produksjonen av stål en betydelig påvirkning på atmosfæren vår. Ifølge CarbonBrief står jern- og stålindustrien for hele 11 prosent av de globale CO<sub>2</sub>-utslippene. En av hovedårsakene til de høye utslippene er at kull brukes for å fjerne oksygen fra jernmalm. Dette fører til at CO<sub>2</sub> blir et restprodukt. Men det finnes alternative metoder som kan brukes til å produsere stål på en mer bærekraftig måte. En av disse metodene er å bruke hydrogen istedenfor kull. Når hydrogen brukes, blir vanndamp det eneste restproduktet. Dette kan potensielt redusere CO<sub>2</sub>-utslippene betraktelig i fremtiden [115].

Gjennom intervjuene med leverandørene kommer vi frem til at de kunngjør i dag at de vil tilby produkter i lavutslippsstål for markedet. Det lavutslippsstålet består hovedsakelig av resirkulert stål, produseres med 100 prosent fornybar energi og har omtrent 70 prosent lavere klimaavtrykk enn tradisjonelt produsert stål [116].

Stål er et essensielt materiale i byggebransjen med unike egenskaper som gjør det mulig å resirkulere det gjentatte ganger uten å miste kvalitet. Imidlertid genererer produksjonsprosessen for nytt stål store mengder karbondioksid. Leverandørene jobber med å minimere deres karbonavtrykk og vil være en av verdens første selskaper som får tilgang til fossilfritt stål om noen få år.

Det lavutslippsstålet, XCarb<sup>®</sup> RRP, har omtrent 70 prosent lavere CO<sub>2</sub>-avtrykk enn tradisjonelt produsert stål, ifølge miljøproduktdeklarasjoner fra produsenten ArcelorMittal. Stålet er basert på minst 75% resirkulert stål og produseres ved hjelp av 100% fornybar energi [116].

## 6.7 Brannsikkerhet

Når en ventilasjonskanal går gjennom et brannskille, for eksempel en branncellevegg, er det viktig å sikre gjennomføringen slik at brannskillet ikke svekkes i vesentlig grad. Dette kan oppnås ved å utføre ventilasjonsanlegget i ubrennbare materialer som tilfredsstillende klasse A2-s1,d0 og å feste kanaler og ventilasjonsutstyr på en måte som hindrer at de faller ned og bidrar til økt fare for brann- og røykspredning [117].

Det er også viktig å velge riktig brannsikkerhetsstrategi for ventilasjonssystemet, enten "steng-inne-strategi" eller "trekk-ut-strategi", og å utføre løsningen i tråd med valgt strategi. Hvis ventilasjonskanalen bryter gjennom et brannskille, må den ikke stå åpen og trykkløs, da dette kan føre til spredning av røyk og branngasser.

**Steng-inne-strategi:** Gjennom intervjuet med leverandører innenfor dette feltet ble det kommet frem til at i TEK17 er dette en preakseptert løsning som har flere fordeler. Den krever ikke ekstra plass over himlingen, og prosjektering krever ingen beregninger. Installasjonen er rask og plassbesparende, og det er ikke nødvendig med brannisolering. Det er også enkel funksjonstesting tilgjengelig. Fordelene med denne løsningen inkluderer at den begrenser brann- og røykskader til et minimum og er kostnadseffektiv. Imidlertid må det bemerkes at brannspjeldene må vedlikeholdes og testes regelmessig for å sikre at de fungerer som de skal i en nødsituasjon. Alt i alt er Steng inne-prinsippet og installasjon av brannspjeld en effektiv måte å hindre spredning av brann og røyk i et bygg på. Det er en kostnadseffektiv og enkel løsning som kan bidra til å beskytte liv og eiendom i en brannsituasjon [118].

**Trekk-ut-strategi:** Ved valg av denne strategien er det viktig å ta hensyn til en rekke faktorer for at denne strategien skal være akseptabel i henhold til kravene i TEK17. Dette inkluderer å vurdere røykspredning i tilfelle strømbrytning, plassbehov i teknisk rom for bypass, behov for spesialvifter som kan tåle høye temperaturer, og krav til økt himlingsshøyde på grunn av brannisolasjon på tillufts- og avtrekkskanaler. Andre faktorer som må vurderes inkluderer funksjonstesting, rehabiliteringskostnader etter en brann og behovet for en grundig analyse av løsningen. Det er også viktig å være klar over at når branntrykket i en celle øker, kan det overstige trykket i tilluftskanalen og tillate spredning gjennom ventilasjonskanalen, selv med "Trekk ut-prinsippet" på plass. Derfor er det viktig å ta alle disse faktorene i betraktning og utvikle en omfattende brannstrategi [118].

En røykføler må monteres i tilluftskanalen umiddelbart etter ventilasjonsaggregatet, som vil stoppe ventilasjonssystemet hvis røyk detekteres. Dette hindrer at bygget blir fylt med røyk i tilfelle brann. Hvis ventilasjonsanlegget skal være i drift under brann, må røykføleren i tynt tilluftskanal deaktiveres ved utløst brannalarm [117].

Selv om både "steng-inne-strategi" og "trekk-ut-strategi" gir likt sikkerhetsnivå i prinsippet, vil en "steng-inne-strategi" gi en høyere sikkerhet for at gjennomføringen av en ventilasjonskanal ikke vil svekke brannskillet, da "trekk-ut-strategi" ofte søker etter forenklinger.

Under intervjuene ble de forskjellige løsningene for ventilasjonsprinsippene diskutert med det formål å avdekke hvordan kravene i forskriftene for brannsikring av ventilasjonsanlegg tolkes, og for å vurdere hvilke tiltak som anses som nødvendige for de forskjellige løsningene. Byggeforskrift TEK 17 § 11-10 stiller krav om at «*Tekniske installasjoner skal prosjekteres og utføres slik at installasjonene ikke øker faren vesentlig for at brann oppstår eller at brann og røyk sprer seg... Ventilasjonsanlegg må utføres i materialer som tilfredsstillende klasse A2-s1,d0 [ubrennbare materialer]. For kanaler gjelder*

*dette hele tverrsnittet (kanalgodset). Unntak kan gjøres for små komponenter som ikke bidrar til spredning av brann.»*

### **Tilluft og avtrekk**

I intervjuene med fagfolk, entreprenører og leverandører ble det uttalt at de norske byggeforskriftene TEK17 og VTEK17 ikke spesifiserer ytelseskrav for detaljprosjektering av ventilasjonsanlegg. Dette betyr at ansvaret for å utføre arbeidet riktig legges på RIV (Rør, Ventilasjon og Sanitær)- entreprenøren. Det er riktig at ventilasjonsanlegget må være utformet og montert på en måte som hindrer brann- og røykspredning gjennom kanalnett, og også ved gjennomføringer i brannskillende bygningsdeler. Det er også viktig å være oppmerksom på varmeledning i kanalgodset, som kan føre til at brannen sprer seg via ventilasjonsanlegget. For å unngå dette, må kanalene og kanalgodset være laget av materialer som er tilstrekkelig brannhemmende og isolerte, og eventuelle gjennomføringer i brannskiller må tettes med branntetting for å hindre at brann og røyk sprer seg. I tillegg må alle komponenter i ventilasjonsanlegget være av god kvalitet og riktig montert, slik at det ikke oppstår utettheter som kan føre til brann- og røykspredning. Det er viktig å følge forskriftene og samarbeide med brannrådgiveren og andre relevante fagpersoner gjennom hele prosessen for å sikre at ventilasjonsanlegget er utført på en forsvarlig måte.

Det er to vanlige strategier for å ivareta kravet om at ventilasjonsanlegget ikke skal bidra til brann- eller røykspredning i byggverket via kanalnett. Trekk-ut strategi og steng-inne strategi er begge aktuelle, men det er vanligst å velge trekk-ut strategi i de fleste bygg og prosjekter. Dette innebærer at luften trekkes ut av rommene og føres ut av bygget via kanalnett, og dermed unngår man at brann- og røykgasser sprer seg til andre deler av bygget.

Dersom man velger steng-inne strategi, må man ha brannspjeld i kanalføringene gjennom brannskillende vegger for å hindre at brann og røyk sprer seg. Dette kan være en kostbar løsning, spesielt i leilighetsbygg der hver leilighet utgjør en egen branncelle. Derfor velger man som regel trekk-ut strategi i slike bygg.

Dersom man velger trekk-ut strategi, må man sørge for at anlegget fungerer i en viss tid ved brann. Dette kan enten gjøres ved å dimensjonere anlegget slik at det klarer å trekke ut røyk og branngasser i en viss tid, eller ved å installere en by-pass eller vurdering av behov for by-pass. By-pass vil kreve en ekstra vifte og spjeld for å kunne stenge av mot anlegget, og dette kan være en kostbar løsning. RIV har ansvaret for å vurdere behovet for by-pass og å dimensjonere anlegget i henhold til kravene i brannklassene. Det er viktig å følge forskriftene og samarbeide med brannrådgiveren og andre relevante fagpersoner for å sikre at ventilasjonsanlegget er utført på en forsvarlig måte

Varmeledning i kanalgodset ivaretas ved hjelp av brannisolering i henhold til NS-EN 1366, ifølge intervjuene. Det påpekes imidlertid at brannisolering ofte blir utelatt i bygninger med sprinkleranlegg. Å unnlate brannisolering er et avvik fra prosjekteringsstandarden og må derfor dokumenteres gjennom en analyse. RIV har ansvaret for å gjennomføre en slik analyse. Det er ikke nødvendig å gjennomføre en uavhengig kontroll av analysen, men RIV må godkjenne løsningen.

Ifølge intervjuene med fagfolk er det vanlig at bygg som er bygget etter TEK10 eller TEK17 er sprinklet. I boligbygg er det også et krav om slokkeanlegg der det er heis og bygget er høyere enn tre etasjer. Kandidatene mener det er vanlig i bransjen å utføre analysen som kreves for å unnlate brannisolering i sprinkleranlegg.

Når det gjelder varmeledning gjennom kanalgodset, påpeker kandidatene at i henhold til TEK17/VTEK17 må avtrekkskanalen fra kjøkkenet føres i en egen kanal på grunn av fettavsetninger

fra matos. Et avvik fra dette må behandles som et fravik fra forskriften. Kandidaten forklarer at denne preaksepterte ytelsen er ny i TEK17, og derfor er fraviksvurderingen også ny i bransjen. Det er derfor ikke sikkert at det er mange som har erfaring med å gjennomføre denne vurderingen.

Da det dreier seg om et fravik, må man ha en brannrådgiver som er villig til å utføre vurderingen. Kandidaten mener en løsning med en egen kanal for kjøkkenavtrekk i sjakten frem til aggregatet på taket ikke vil være et fravik fra forskriften. Dersom brannrådgiveren ikke godtar fraviket, må en slik løsning velges i stedet.

### **Kjøkkenavtrekk**

Videre i intervjuene ble det diskutert at byggeforskriften TEK17 stiller krav om at avtrekkskanaler fra kjøkken må ha brannmotstand EI 15 A2-s1,d0 helt frem til sjakten. Dette kravet kan oppfylles ved å bruke brannisolering eller gipsinnkassing av kanalen, og gjelder uavhengig av om kanalene er separate eller samlet i sjakt. Hvis man ikke følger dette kravet, vil det betraktes som et fravik fra preakseptert ytelse i VTEK, og brannrådgiveren vil da være ansvarlig for å dokumentere løsningen og sørge for uavhengig kontroll.

Det er veldig vanlig å gjøre en fraviksvurdering for kjøkkenavtrekk uten brannisolering i deres prosjekter, ifølge kandidatene. Hvis man velger å ikke bruke brannisolering, må man sørge for at det er en sikkerhetsavstand på minst 30 mm til brennbart materiale. Det er viktig å ta hensyn til disse kravene for å sikre brannsikkerheten i bygningen.

### **Avkast**

Ifølge kandidatene gjelder i prinsippet de samme kravene for avkastkanalen som for tilluft og avtrekk. For å hindre varmeledning i kanalgodset, forklares at det er fornuftig å ha brannisolering av avkastkanalen fra aggregatet til taket. De informerer om at ofte blir isolasjonen utelatt i sprinklede bygg. Dersom isolasjonen blir utelatt, må dette dokumenteres ved analyse.

Kandidatene påpeker at kravet om brannmotstand for avtrekkskanal fra kjøkken også vil gjelde fra aggregatet og frem til sjakten. Det forklares at den preaksepterte ytelsen ikke dekker denne løsningen fordi avtrekk fra kjøkken normalt ikke føres i en egen kanal. Derfor må denne løsningen behandles som et fravik fra forskriften. Problemstillingen i denne situasjonen vil være hvor mye matos og fett som kan passere gjennom aggregatet til andre brannceller i bygget via avkastkanalen. I en eventuell analyse må man vurdere om det er fare for spredning av brann og røyk. Hvis det er en risiko for brann- og røykspredning, kan man ikke gjennomføre fraviket..

Videre i intervjuet beskrives det ulike løsninger for brannsikring i både sentrale og desentrale ventilasjonsanlegg.

### **Sentrale anlegg**

For sentrale anlegg påpekes det at det er tre mulige løsninger når det gjelder valg av trekk-ut strategi. Det første alternativet innebærer å vurdere behovet for by-pass. Hvis det kun er brann i én leilighet/branncelle av gangen, og andelen av luft med høyt innhold av partikler og høy temperatur er liten i forhold til den totale luftmengden fra alle leilighetene/branncellene, kan man kanskje unngå by-pass. Men hvis det er mange leiligheter/brannceller med brann samtidig, vil by-pass være nødvendig.

Kandidaten forklarer også at det finnes to alternative løsninger hvis by-pass er nødvendig. Den ene løsningen er å bruke aggregater med innebygd by-pass, mens den andre er å bruke en røykgassvifte og spjeld for å føre luften helt utenom aggregatet. Kandidaten mener at den siste løsningen er den

vanligste. Kandidaten nevner også at det finnes boligprosjekter bygget etter TEK17 hvor by-pass-løsningen er brukt, og hvor en brannrådgiver har gjennomført en fraviksvurdering for løsningen.

### **Desentrale anlegg**

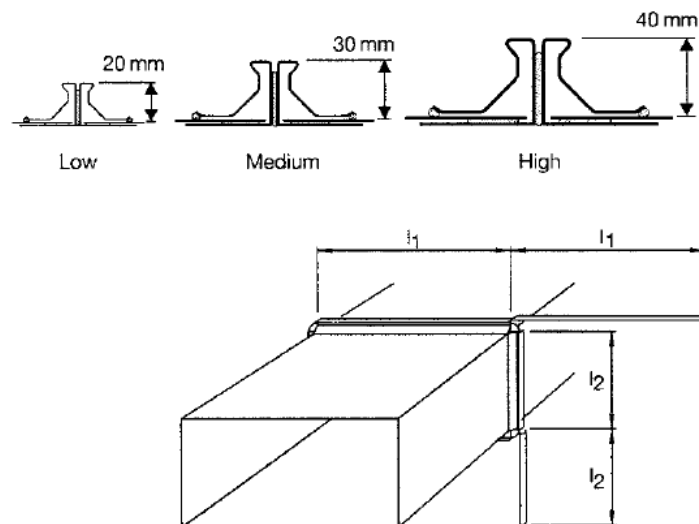
Når det gjelder desentrale løsninger, mener kandidaten at det ikke er nødvendig med brannsikringstiltak hvis hver leilighet har en kombiboks for inntak og avkast i veggen. Men hvis avkast fra flere leiligheter samles i en felles kanal til taket, kan det oppstå en risiko for brannspredning mellom leilighetene via avkastkanalen. Kandidaten foreslår å bruke en røykgassvifte i toppen av kanalen for å sikre riktig retning på luftstrømmene i kanalen, spesielt hvis det er mange etasjer. Kandidaten påpeker også at hvis aggregatet skrus av i en leilighet, kan avkastluft fra en annen leilighet føres inn mot dette aggregatet i stedet for å føres over taket. Generelt anbefaler kandidaten å bruke en røykgassvifte i toppen av avkastkanalen for å hindre brannspredning, og denne løsningen vil kunne tilsvare trekk-ut strategi i et desentralt anlegg med felles avkast til taket.



## 6.8 Valg av kanalgeometri

Sirkulære kanaler er vanligvis mer kostnadseffektive enn rektangulære kanaler [135]. ASHRAE Fundamentals [136] anbefaler også bruk av sirkulære kanaler når mulig. Rektangulære kanaler ble tidligere oftere brukt og brukes fortsatt i mange land. En kombinasjon av begge typer kanaler er vanligvis optimal, for eksempel bruk av rektangulære kanaler som plenumskanaler nær luftbehandlingsenhetene der luftstrømmen er høy og krever store kanaldimensjoner. Sirkulære distribusjonskanaler kobles deretter til plenumskanalen lengre nedstrøms.

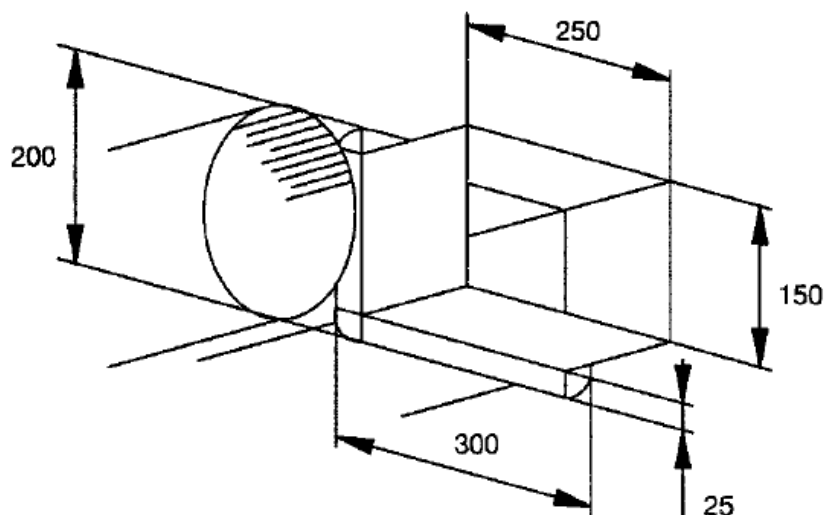
Ved vurdering av plassbehovet for kanalsystemet er det viktig å vurdere både tverrsnittet til kanalene og hvordan de er koblet sammen. Geidssystem (glidende skjøter), som vist i figur 34, brukes på rektangulære kanaler. Disse tar opp mer plass sammenlignet med skjøter brukt på sirkulære kanaler. Geid skjøter på en rektangulær kanal krever også plass på begge sider av kanalen for å kunne skyve på skjøtene. Dette kan forvirre uerfarne designere som tror at den logiske løsningen for en rektangulær kanalsjakt er en rektangulær kanal [135].



Figur 34: Geid skjøter på rektangulære kanaler øker plassbehovet. Ved installasjon må det være tilgjengelig fri plass for skjøteforbindelsen [135]

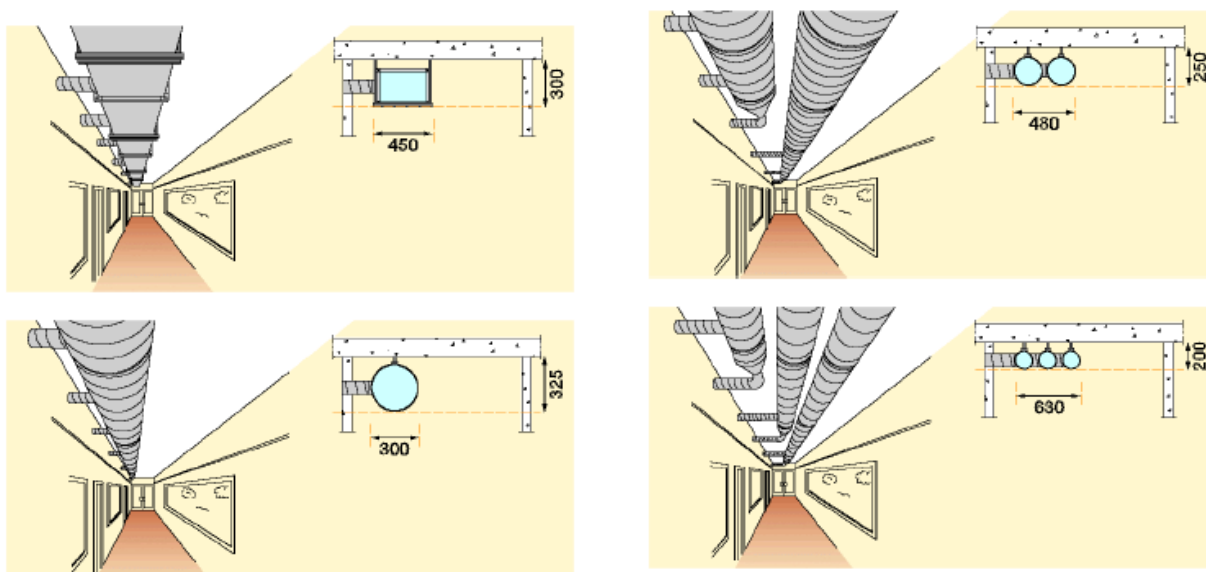
Installering av en sirkulær kanal krever vanligvis mindre plass enn en rektangulær kanal med tilsvarende trykkfall. Geid skjøter på rektangulære kanaler stikker vanligvis ut mellom 20 og 40 mm på alle sider av kanalen, og siden disse skjøtene dekker kanalbredden, krever de tilgjengelig plass av samme størrelsesorden på begge sider av kanalen, se figur 34. Problemer kan oppstå når kanalen er installert over en senket himling i en korridor eller i en kanalsjakt, og kanalene bare er tilgjengelige fra én side på grunn av innovervendte skjøtedeler [135].

En grunn til å bruke rektangulære kanaler er at de kan utnytte tilgjengelig plass mer effektivt enn sirkulære kanaler, spesielt hvis sideforholdet til plassen er stort. Imidlertid kan flere parallelle sirkulære kanaler være en alternativ løsning i slike tilfeller. For eksempel kan en rektangulær kanal med målene 250 x 150 mm erstattes av en sirkulær kanal med 200 mm diameter innenfor samme plass uten økt trykkfall (figur 35). Kostnaden er vanligvis lavere for det sirkulære alternativet.



Figur 35: Samme plass og samme frie kanalareal [135]

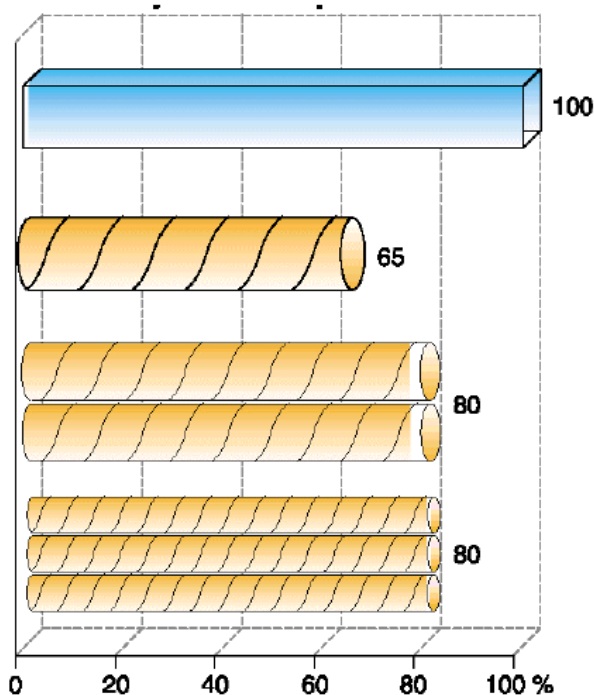
Flere sirkulære kanaler kan ofte erstatte en flat rektangulær kanal uten behov for ekstra plass (Figur 36), og den installerte kostnaden er vanligvis lavere enn for den rektangulære kanalen. Bruken av to eller flere kanaler i stedet for en rektangulær kanal vil sannsynligvis også gi fordeler som bedre luftstrømkontroll, forenklet luftbalansering og økt fleksibilitet [135].



Figur 36: Plassbehov for rektangulær eller sirkulær kanal(er) [135]

Tradisjonelt har ventilasjons- og klimaanleggskanaler blitt laget med rektangulære tverrsnitt for å tilpasses begrensede takhulrom og tekniske rom. Imidlertid går bruken av sirkulære kanaler nå opp, da de er vanligvis mer kostnadseffektive ifølge Evans og Tsal (1996) [137] og ASHRAE Fundamentals (2001) [136].

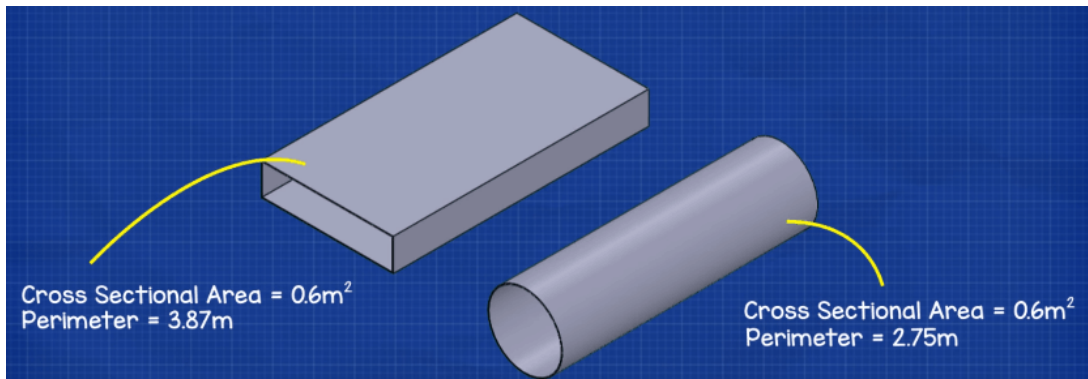
Selv om det er mulig å lage rektangulære kanaler like tette som sirkulære kanaler, er kostnaden høyere [135]. Derfor er energibruken generelt større for rektangulære kanaler på grunn av økt friksjon og lekkasje. Når det er begrenset plass, kan flere sirkulære kanaler være et godt alternativ med omtrent samme investeringskostnad som én rektangulær kanal (Jagemar 1991) [138].



Figur 37: Sammenligning av vekten til kanaler [135]

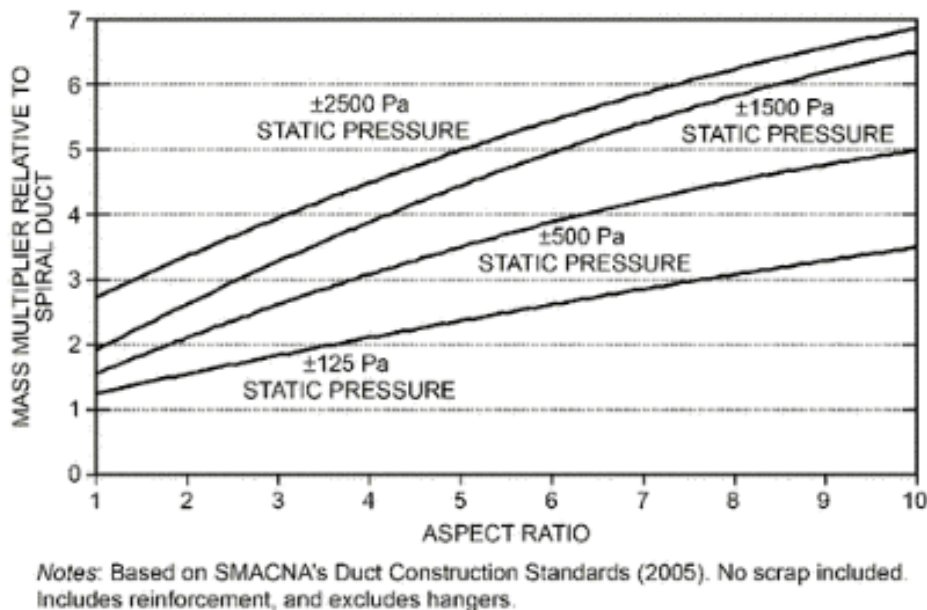
Sirkulære kanaler er enklere å produsere, gjøre tette og håndtere sammenlignet med rektangulære kanaler. De er vanligvis mindre kostbare, og den totale stålomkretsen for å transportere samme luftstrøm er mindre enn for rektangulære kanaler. For samme tverrsnittsareal krever sirkulære kanaler mindre materiale, og de kan være tynnere på grunn av sin mer stive konstruksjon. Vekten av et typisk kanalsystem med rektangulære kanaler er normalt 30-40% høyere enn et sirkulært kanalsystem (Figur 37).

Omkretsen av runde kanaler er mindre enn rektangulære kanaler. Til rektangulære kanalsideforhold fra 2 til 4, er økningen ca. 30 til 55 %. Denne økningen resulterer i økt isolasjon, inkludert mulig tykkelse for å kompensere for den ekstra varmeoverføringen, figur 38 [120].



Figur 38: Eksempel på rund vs rektangulær kanal

Massen av sirkulære kanaler er mindre enn rektangulære. Figur 39 viser den relative vekten av rektangulær kanal til rund kanal for kanaltrykk fra  $\pm 125$  til  $\pm 2500$  Pa når den ekvivalente diameteren til rektangulær kanal er den samme som den runde kanaldiameteren. Tilsvarende diameter er definert som diameteren til en rektangulær kanal som har lik motstand mot strømning for lik strømning og lengde. [119]



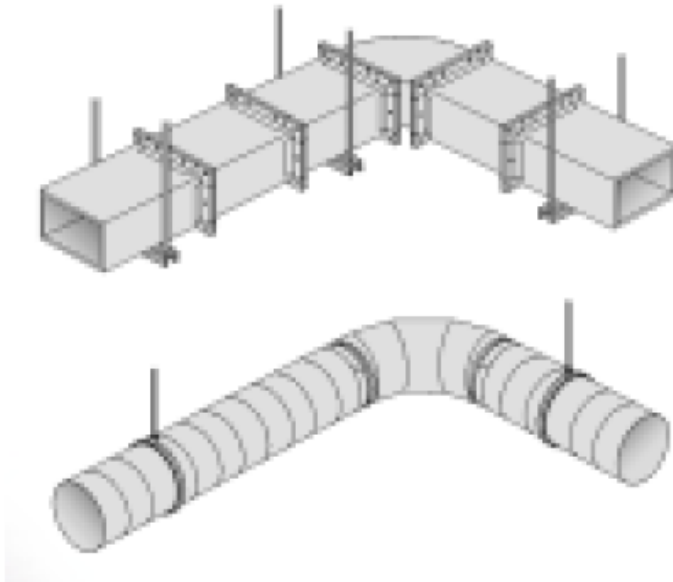
Figur 39: Relativ vekt av rektangulær kanal til rundkanal [119]

Kostnadene knyttet til kanalene øker generelt med størrelsen eller diameteren. Siden runde kanaler og komponenter kommer i standardiserte størrelser med diameter som følger en matematisk serie på  $1:2^{1/3}$ , er de ofte mer kostnadseffektive enn rektangulære kanaler som krever tilpasning av høyde og bredde. Rektangulære kanaler må også måles og tilpasses kravene, og kan ikke endres på stedet.

Runde kanaler og tilbehør er normalt standardvarer og kan leveres raskt, noe som forenkler byggeprosessen og passer godt med raske byggeprogrammer. De kan brukes overalt i bygningen der diameteren passer, og leveres i lengre lengder enn rektangulære kanaler, noe som reduserer

behovet for skjøter. Vekten og volumet av et rundt kanalsystem er også mindre enn for et rektangulært system, noe som påvirker kostnadene og gjør installasjonen enklere.

Installasjonen av kanaler har vanligvis en fordel for runde kanaler når det gjelder kostnad. Mens to personer vanligvis er nødvendig for å installere rektangulære kanaler, kan en arbeider i de fleste tilfeller installere runde kanalsystemer med opptil 200 mm diameter alene. Kanalopphengene er også enklere og krever mindre plass for runde kanaler, noe som resulterer i færre oppheng og en kostnads- og installasjonstid som normalt er omtrent 20% mindre (figur 40).

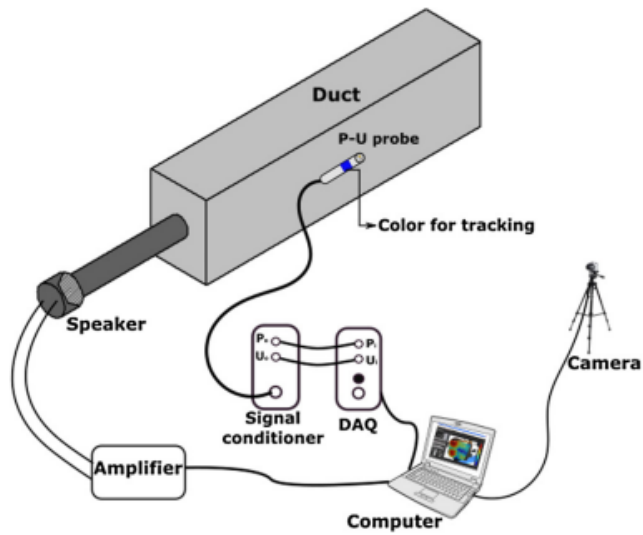


Figur 40: Oppheng og skjøter for rektangulære og runde kanaler [135]

Runde ventilasjonskanaler har generelt sett større motstand mot lavfrekvent "breakout noise" enn andre typer ventilasjonskanaler på grunn av deres sirkulære form. Dette skyldes at lydbølger som beveger seg gjennom en runde kanal blir spredt ut i alle retninger, og dermed reduserer lydnivået som når ut gjennom kanalveggene [121]. En illustrasjon av hvordan dette kan måles er vis i figur 41. På den annen side kan rektangulære ventilasjonskanaler føre til større "breakout noise" fordi lydbølgene som beveger seg gjennom dem kan bli reflektert tilbake og forsterket i visse retninger. Dette kan forårsake betydelige lydproblemer, spesielt i bygninger med flere etasjer, der ventilasjonssystemet kan føre til uønsket støy i etasjene under.

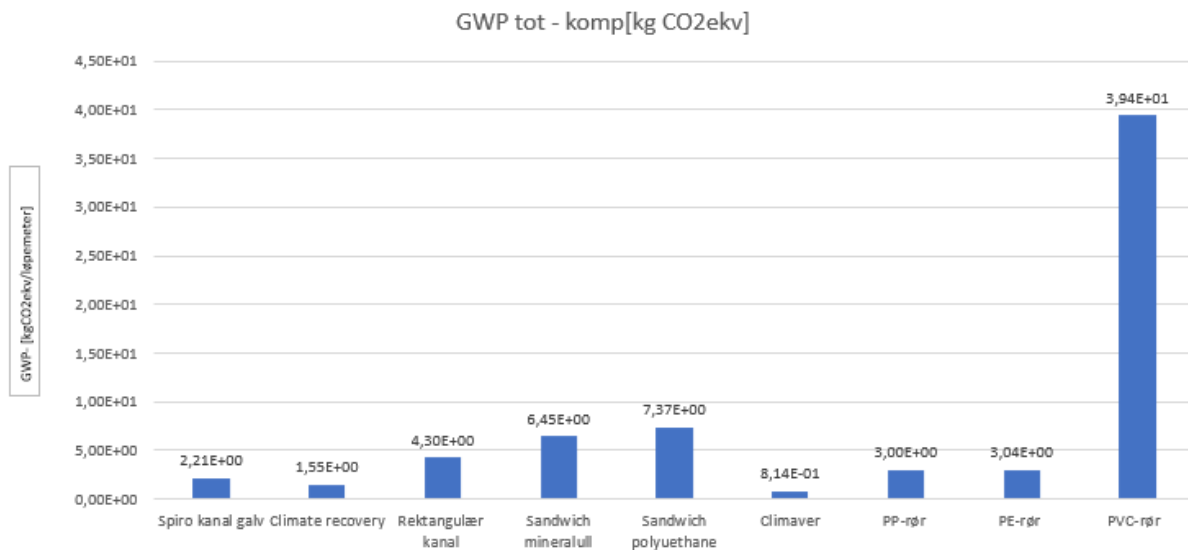
**"breakout noise.":** Kanaler transporterer den kondisjonerte luften fra en luftbehandlingsenhet til en okkupert plass. Tilsvarende forplanter lyden som produseres fra en luftbehandlingsenhet seg til mottakeren (et rom) i lengde- og tverr retningen av kanalen. Den utstrålte støyen fra kanalveggene som beveger seg i tverr retningen kalles "breakout noise.". "Breakout noise" er en av de vanlige banene for lydoverføring i HVAC tynnveggede kanaler[123]. Cummings [122] diskuterte rollen til ulike kanalvernsnittsgemetrier på utbrudd og innbrudds støy. Videre ga Cummings forskningsgjennomganger de siste to tiårene på "kanalutbruddsstøy."

Av alle geometriene hadde rektangulære kanaler maksimal utbruddsstøy ved lavere frekvenser, noe som betyr minimalt veggoverføringstap. "breakout noise" forårsaker den strukturell-akustiske koblingen mellom den fleksible kanalveggstrukturen og det akustiske domenet inne i kanalvolumet. Luftbårne og strukturbårne lyder bidrar til kanalutbruddsstøy, som er mer dominerende ved lave frekvenser [122]



Figur 41: Eksperimentelt oppsett for lydeffektmåling av breakout noise [124]

## 6.9 De totale klimagassutslippene



Figur 42: GWP tot - komp [pr løpemetere CO2ekv]

Basert på analyser og beregninger utført ved hjelp av EPDene (vedlegg D), kommer det frem i figur 42 at PVC-rør betraktes som den største klimaverstingen blant byggematerialer. Dette skyldes hovedsakelig utslippene av klimagasser som oppstår i produksjonsprosessen og montering knyttet til PVC-rør. EPDene gir en omfattende oversikt over de miljømessige påvirkningene fra et produkt gjennom hele dets livssyklus, inkludert produksjon, bruk og avhending.

På andreplass kommer sandwich-elementer, som også anses for å ha betydelige negative miljøpåvirkninger. Produksjonen av sandwich-elementer krever ressursintensive prosesser, og materialene som brukes, kan ha høy klimapåvirkning. I tillegg fører bruken av energiintensive produksjonsmetoder og transport av sandwich-elementer til ytterligere utslipp av klimagasser.

I kontrast til dette viser analysene at isolasjonskanaler er et bedre alternativ enn tradisjonelle galvaniserte kanaler når det gjelder klimapåvirkning. Isolasjonskanaler er utviklet for å redusere varmetap og øke energieffektiviteten i bygninger. De bruker materialer og teknologier som er designet for å minimere energiforbruket og dermed redusere klimagassutslippene i bygningens driftsfase.

Ved å ta hensyn til kun EPDene og de gjennomførte beregningene, blir det tydelig at valg av byggematerialer spiller en betydelig rolle i å redusere klimapåvirkningen. Alternativer til PVC-rør bør vurderes, og bruk av isolasjonskanaler fremfor galvaniserte kanaler kan bidra til å redusere de negative miljøeffektene og fremme bærekraftig byggepraksis. Det er viktig å fortsette å utforske og investere i miljøvennlige materialer og løsninger for å oppnå en mer bærekraftig byggebransje.

Det er en del usikkerhet knyttet til nye og moderne alternativer når det gjelder brannsikkerhet, opphengs systemer, tetthet og lydproblematikk. Når man vurderer alternative materialer som et system, er det viktig å ta hensyn til disse faktorene for å sikre en trygg og funksjonell bygningsløsning.

Materialvalg må overholde gjeldende brannsikkerhetsstandarder og forskrifter. Byggematerialer bør være i stand til å motstå brann og begrense spredningen av flammer og røyk. Det kan være

nødvendig å vurdere brannhemmende belegg eller tilleggsforanstaltninger for å opprettholde brannsikkerheten. Byggeforskrift TEK 17 § 11-10 stiller krav om at «*Tekniske installasjoner skal prosjekteres og utføres slik at installasjonene ikke øker faren vesentlig for at brann oppstår eller at brann og røyk sprer seg... Ventilasjonsanlegg må utføres i materialer som tilfredsstillende klasse A2-s1,d0 [ubrennbare materialer]. For kanaler gjelder dette hele tverrsnittet (kanalgodset). Unntak kan gjøres for små komponenter som ikke bidrar til spredning av brann.*» Alternativt materiale må være egnet for bruk med eksisterende eller tilpassede opphengs systemer. Det er viktig å vurdere materialenes vekt, styrke og holdbarhet, samt deres kompatibilitet med eksisterende strukturer og opphengs systemer. Dette må vurderes i henhold til de forskjellige trykklassene og vurderes fra system til system med tanke på inntak, avkast, tilluft og avtrekk og de forskjellige trykkene. Materialene må ha tilstrekkelig styrke til å tåle de nødvendige trykkbelastningene. Ved vurdering av alternative materialer må man være sikker på at de oppfyller eller overgår de kravene som er fastsatt for trykklassene i systemet. Dette kan inkludere kriterier som maksimalt arbeidstrykk og motstand mot mekanisk stress.

For å sikre energieffektivitet og redusere varmetap i bygninger, er det avgjørende at de forskjellige materialene opprettholder nødvendig tetthet. Ved vurdering av alternative materialer er det viktig å evaluere om de gir tilstrekkelig isolasjon og forsegling for å opprettholde ønsket inneklimate og minimere energiforbruket. Riktig installasjon av alternative materialer spiller en viktig rolle i å oppnå ønsket tetthet og ytelse. Dette krever at montørene blir opplært i spesifikke montasjeveiledninger og bruk av nye og spesialiserte verktøy. Montasjeveiledningene gir detaljerte instruksjoner om riktig installasjonsteknikk, inkludert forsegling av skjøter, tilpasning til eksisterende strukturer og korrekt bruk av festemidler.

Ved å følge montasjeveiledningene kan montørene sikre at alternative materialer installeres korrekt og oppnår tilstrekkelig tetthet. Dette kan inkludere bruk av tetningsmidler, isolasjonstape eller andre forseglingsteknikker for å eliminere luftlekkasjer og varmetap. Opplæring av montørene er derfor viktig for å sikre at de har den nødvendige kompetansen og forståelsen av hvordan alternative materialer skal installeres på riktig måte. Dette kan omfatte opplæring i de spesifikke teknikkene og prosedyrene som er nødvendige for å oppnå ønsket tetthet og isolasjon. Videre er bruk av nye og spesielle verktøy ofte nødvendig for installasjonen av alternative materialer. Disse verktøyene kan være utformet spesifikt for å sikre korrekt montering og forsegling, og de kan være en viktig del av opplæringen for montørene.

Forskjellige materialer har forskjellig påvirkning i henhold til lydisolasjonen i en bygning. Alternativt materiale bør vurderes med tanke på dets evne til å redusere lydoverføring mellom rom og bygningens generelle lydisolasjonsegenskaper. Det er avgjørende å utføre grundige undersøkelser og konsultere relevante eksperter for å vurdere disse faktorene før man implementerer alternative materialer.



## 7 Evaluering av metode

Denne masteroppgaven har tatt sikte på å utføre et betydelig antall intervjuer, hvor hele 18 respondenter har blitt inkludert i studien. Ved å gjennomføre en slik omfattende intervjustudie har forfatteren ønsket å oppnå en grundig og representativ analyse av sitt forskningsemne. Denne tilnærmingen gir flere fordeler. For det første tillater et stort antall intervjuer en bredere dekning av ulike roller i bransjen. Respondentene inkluderer ikke bare en rekke ulike aktører i bransjen, men også flere leverandører. Dette gjør det mulig å fange opp forskjellige perspektiver og synspunkter knyttet til det grønne skiftet som skjer i ventilasjonsverdenen. I tillegg gir et betydelig antall intervjuer også muligheten til å undersøke variasjoner og forskjeller blant respondentene. Ved å inkludere et bredt spekter av respondenter, kan masteroppgaven fange opp ulike syn på kanalkvaliteter og ventilasjonssystemer. Dette bidrar til en mer helhetlig og nyansert forståelse av problemstillingen.

Selv om det kan være utfordrende å gjennomføre så mange intervjuer, viser dette et høyt nivå av engasjement og dedikasjon fra forfatterens side. Det indikerer også et ønske om å produsere en grundig og omfattende masteroppgave. Ved å samle inn data fra et betydelig antall respondenter, legger forfatteren til rette for et solid empirisk grunnlag og gir oppgaven et høyt nivå av pålitelighet og validitet. Denne masteroppgaven er et imponerende forsøk på å utforske og analysere det grønne skiftet som skjer i ventilasjonsverdenen. Ved å gjennomføre et relativt stort antall intervjuer med 18 respondenter, har forfatteren lagt til rette for en grundig og representativ studie som vil bidra til kunnskapsutviklingen på området.

Forfatteren antyder at intervjuer med byggherrer kunne ha gitt ytterligere informasjon, spesielt angående valg av materialer og grønnere byggeplasser. Intervjuer med totalentreprenører kunne også ha avdekket deres synspunkter på bruk av mer grønnere valg. På grunn av det allerede høye antallet respondenter, ble det imidlertid bestemt at disse rollene ikke skulle inkluderes i undersøkelsen. Likevel understøttes problemstillingene som ble avdekket hos byggherrer delvis av teorien som ble gjennomgått.

Behandlingen av intervjudataene i denne studien ble gjennomført på en grundig måte. Denne prosessen var tidskrevende og kunne ha blitt betydelig forenklet ved å bruke en mer effektiv metode. En alternativ tilnærming kunne vært å notere kun det som ble oppfattet som viktig i selve intervjusituasjonen. Ved å forenkle kategoriseringen kunne forskeren ha fokusert på spesifikke uttalelser som var relevante for viktige funn og kategorier, i stedet for å sortere gjennom alle uttalelsene. Denne forenklete tilnærmingen ville ha resultert i en betydelig reduksjon av den totale tiden som ble brukt på behandlingen av dataene. Det ville ha vært mer målrettet og spesifikt, og ville ha krevd solide ferdigheter fra intervjueren i å gjennomføre undersøkelser på en effektiv måte. Det er viktig å merke seg at den grundige metoden ble valgt i denne studien av ulike grunner. Fordelene med denne tilnærmingen blir diskutert i neste avsnitt. At forfatteren hadde begrenset erfaring med å gjennomføre undersøkelser, er av grunnene. Ved å velge en grundig metode, ønsket forfatteren å sikre at alle relevante aspekter ble dekket og at en grundig analyse kunne gjennomføres. Selv om det kan være mer tidkrevende, gir den grundige metoden et solid fundament for å trekke pålitelige konklusjoner og resultater.

I fremtiden kan det være hensiktsmessig å vurdere en balanse mellom grundighet og effektivitet i behandlingen av intervjudataene. Ved å kombinere elementer fra begge tilnærmingene kan forskeren oppnå et mer strømlinjeformet og samtidig omfattende analytisk arbeid. Dette krever imidlertid erfaring og ferdigheter hos intervjueren for å kunne identifisere og fokusere på de mest relevante aspektene av intervjuene.

## 7.1 Har intervjudesignet påvirket resultatet?

For å minimalisere påvirkningen av intervjuerens formuleringer, ble det valgt å starte intervjuene med åpne spørsmål. Dette gav respondentene muligheten til å uttrykke seg fritt og dele sine egne meninger og perspektiver. Ved å åpne opp for en bredere diskusjon, kunne forskeren få en dypere forståelse av respondentenes synspunkter. Etter å ha skapt en åpen dialog ble det deretter stilt mer spesifikke spørsmål om utvalgte temaer som forskeren anså som viktige. Dette gjorde det mulig å gå mer i dybden på spesifikke områder av interesse og få mer detaljert informasjon. Ved å bruke denne tilnærmingen kunne forskeren få et mer nyansert bilde av respondentenes perspektiver og oppfatninger. Ved å begynne med åpne spørsmål og deretter gå videre til mer spesifikke spørsmål, ble det skapt en gradvis overgang som tillot respondentene å uttrykke seg fritt før de ble utfordret på mer konkrete emner. Dette bidro til å skape en atmosfære av åpenhet og trygghet, der respondentene følte seg mer komfortable med å dele sine tanker og erfaringer.

Denne tilnærmingen bidro til å sikre at intervjuene var så objektive som mulig, og at respondentene kunne gi sine egne ufiltrerte meninger. Ved å la respondentene uttrykke seg fritt og deretter utforske spesifikke temaer, kunne forskeren få en mer helhetlig forståelse av deres perspektiver og bidra til en mer grundig analyse av dataene. Det er viktig å merke seg at selv om forsiktighet ble tatt for å redusere intervjuerens påvirkning, er det alltid en viss grad av påvirkning som kan oppstå i intervjusituasjoner. Derfor var det viktig å opprettholde en åpen og respektfull dialog, der forskeren også var bevisst på sin egen påvirkning og forsøkte å minimere den så mye som mulig.

Det ble lagt merke til at respondentene i stor grad var sikre på sine meninger og ikke endret standpunkt underveis i intervjuene. Dette kan delvis tilskrives det faktum at alle respondentene betraktes som eksperter på sine fagfelt med lang erfaring. Deres ekspertise og trygghet på egne meninger gjorde det mindre sannsynlig at de ville bli påvirket av intervjueren. For å sikre at studien var nøytral og ikke favoriserte eller nedvurderte noen av produktene til leverandørene, ble hele studien anonymisert. Produktene ble vurdert fra en nøytral vinkel, og fordeler og ulemper ble kun analysert med tanke på materiale og form av ventilasjonskanaler. Dette bidro til en objektiv og upartisk tilnærming til analysen av dataene.

I intervjusituasjonen kan det oppstå asymmetriske maktforhold mellom intervjueren og respondentene. For å redusere dette problemet ble to faktorer vektlagt i denne studien [27].

1. Intervjueren forsøker å stille kritiske spørsmål og diskutere respondentenes uttalelser ved å ta opp egne meninger. Dette bidro til en mer balansert dynamikk og skapte større symmetri i intervjusituasjonen.
2. Respondentene ble betraktet som elitepersoner og anses å være på et tilsvarende akademisk nivå som intervjueren. Dette skapte en følelse av likeverdighet og bidro til en mer likestilt samtale.

For å sikre at alle spørsmål ble grundig besvart og for å unngå feilaktige koblinger mellom svar og spørsmål, ble det valgt å stille flere spørsmål som omhandlet de samme problemstillingene. Dette ble gjort for å få et mer helhetlig bilde av respondentenes perspektiver og erfaringer. Som en konsekvens av dette kunne det oppstå gjentakelser og delvis fragmenterte intervjuer.

For å forbedre flyten i intervjuene og redusere gjentakelser kunne respondentene fått se intervjuguiden i sin helhet før intervjuet startet. Dette ville ha gjort dem mer bevisste på hvilke spørsmål som ville bli stilt senere i intervjuet, og potensielt hindret dem fra å svare på spørsmål før de ble stilt. En bedre oversikt over spørsmålsrekkefølgen kunne ha bidratt til en jevnere og mer strukturert samtale. Selv om gjentakelser kan oppleves som repetitivt, har de en viktig funksjon i

forskningsprosessen. Ved å gjenta spørsmål som omhandler de samme problemstillingene, reduseres risikoen for feiltolkninger og misforståelser av respondentenes svar. Dette styrker påliteligheten og validiteten til funnene som blir presentert i studien.

Behandlingen av dataene i studien har vært grundig og pålitelig. Videoopptak av intervjuene har blitt brukt for å sikre nøyaktig gjengivelse av respondentenes svar. Deretter har en nøyte utført transkribering av intervjuene blitt gjennomført. Dataene har blitt systematisk kategorisert og analysert for å identifisere mønstre, temaer og sammenhenger. Denne grundige tilnærmingen til datahåndtering bidrar til å sikre at viktige informasjoner ikke går tapt og at funnene er pålitelige. Det er viktig å merke seg at denne grundige metoden krever betydelig tid og ressurser. Imidlertid er fordelene at den gir en solid og pålitelig analyse av dataene og styrker validiteten til studiens resultater. Forskerens grundige tilnærming til behandling av data bidrar til å sikre at funnene er pålitelige og kan brukes som et solid grunnlag for videre forskning og diskusjon.

## 7.2 Er funnene overførbare og sammenlignbare med virkeligheten?

Bruken av en relativt stor respondentgruppe bidrar til å styrke den interne gyldigheten til funnene. En større gruppe respondenter gir et bredere spekter av perspektiver og meninger, og gir dermed et mer representativt bilde av virkeligheten. Ved å inkludere et større antall respondenter blir det også større variasjon i uttalelser og synspunkter, noe som kan bidra til en mer nyansert analyse.

Den grundige metoden for behandling av dataene styrker også den interne gyldigheten. Ved å bruke en nøyte utført transkribering, kategorisering og analyse, sikrer forfatteren at dataene blir grundig gjennomgått og tolket. Dette reduserer risikoen for at viktig informasjon går tapt eller misforstås. Forfatteren opplever at budskapene fra intervjuobjektene er blitt ivaretatt gjennom omformuleringer, noe som har ført til bedre og mer nyanserte analyser. Dette tyder på at forfatteren har vært nøyte med å formidle respondentenes meninger og perspektiver på en nøyaktig og balansert måte. For å minimere muligheten for favorisering eller markedsføring av noen produkter over andre, har forfatteren valgt å anonymisere hele studien. Dette bidrar til å sikre at funnene og konklusjonene ikke blir påvirket av partiskhet eller skjevhet i retning av visse produkter eller leverandører.

Gyldigheten for resultatene er også testet mot prosjektets veiledere. Veilederne har vært involvert i alle stadiene av oppgavens utvikling og har vurdert i hvilken grad resultatene samsvarer med deres forståelse av virkeligheten i bransjen. Veilederne anses som respektable personer innen VVS-bransjen, og forfatteren opplever at deres tilbakemeldinger har vært nyanserte og ikke forsøkt å påvirke forfatteren til fordel for bransjen.

Forfatteren vurderer at funnenes pålitelighet og interne gyldighet er godt ivaretatt i studien. Dette innebærer at resultatene fra undersøkelsen anses som pålitelige og representative for bransjen som studien omhandler. Forfatteren har vært nøyte med å sikre validitet og gyldighet både i selve intervjusituasjonen og gjennom kontroll mot annen kunnskap, litteratur og forskning. Ved å sikre validitet og gyldighet i intervjusituasjonen har forfatteren implementert metoder som å stille åpne spørsmål og ha en grundig behandling av intervjudataene. Dette har gitt respondentene mulighet til å uttrykke seg fritt og gi sine egne meninger og perspektiver, samtidig som det har vært en grundig og systematisk analyse av dataene. Denne kombinasjonen av metodiske tilnærminger bidrar til å sikre at funnene er representative og troverdige. For å styrke validiteten og gyldigheten av funnene er resultatene også kontrollert mot øvrig kunnskap, litteratur og forskning på området. Dette innebærer en sammenligning og vurdering av resultatene opp mot eksisterende teori og forskning, for å sikre at funnene er i samsvar med tidligere kunnskap og perspektiver. Denne trianguleringen av metoder og kilder bidrar til å styrke funnenes pålitelighet og validitet.

For å sikre kvalitet og pålitelighet i arbeidet rundt beregningene har det blitt gjennomført en grundig egenkontroll av ulike beregninger og inndata i livsløpsregnskapet. Følgende områder har blitt spesielt vurdert:

1. Gjennomgang av materialuttak: Det har blitt utført en grundig kontroll av materialene som er brukt i studien. Dette innebærer at inventaret er blitt nøye gjennomgått og sammenlignet med beregningsarket i Excel. Formålet er å verifisere at materialene som er oppført i regnskapet, er riktige og korrekt registrert.
2. Kontroll av EPD: EPD er dokumenter som inneholder informasjon om et produkts miljøpåvirkning gjennom hele dets livssyklus. For å sikre påliteligheten av regnskapet, er EPD-dataene blitt nøye kontrollert. Dette innebærer å sammenligne deklarerert enhet, omfang og utslipp opp mot beregningsarket i Excel for å verifisere nøyaktigheten av dataene.

Egenkontrollen har som formål å identifisere eventuelle feil eller unøyaktigheter i beregningene og inndataene som brukes i livsløpsregnskapet. Ved å gjennomføre grundige kontroller og sammenligninger av dataene i Excel-arket med faktiske opplysninger og dokumenter, kan man sikre at regnskapet er korrekt og pålitelig. Dette bidrar til å styrke kvaliteten og validiteten av studien, samt øke tilliten til resultatene som presenteres.

Det er viktig å merke seg at selv om funnene anses som sanne for bransjen basert på studiens validitet og gyldighet, er utbredelsen og størrelsen av funnene ukjent. Dette betyr at studien ikke kan generalisere funnene til hele bransjen eller estimere deres utbredelse. Likevel, ved å kombinere litteraturstudie med kvalitative undersøkelser og sikre validitet og gyldighet gjennom metodetriangulering, styrkes funnenes troverdighet og relevans.

## 8 Usikkerhetsvurdering

I all forskning er det av betydning å være bevisst på og håndtere usikkerheter, og et omfattende arbeid som dette innebærer flere potensielle kilder til usikkerhet. I dette avsnittet har er det forsøkt å belyse den usikkerheten som underbygger arbeidet i denne oppgaven.

Usikkerhet kan oppstå på ulike nivåer og i ulike faser av forskningsprosessen. Det kan være usikkerhet knyttet til datainnsamling, metodologi, analyser, tolkning av resultater og generalisering av funn. Som forskere er vi nøye med å erkjenne og adressere disse usikkerhetsfaktorene for å sikre en grundig og pålitelig forskningsprosess. Forfatteren i denne oppgaven har vært oppmerksomme på at det finnes flere potensielle kilder til usikkerhet. Det har blitt gjort en innsats for å identifisere og beskrive disse usikkerhetsmomentene. Dette inkluderer for eksempel å være åpne om eventuelle antagelser og begrensninger i metodene som er benyttet, samt å erkjenne at det kan være mangler i tilgjengelige data. Ved å tydeliggjøre disse usikkerhetsfaktorene ønsker vi å øke bevisstheten rundt forskningens begrensninger og potensielle feilkilder.

Det er viktig å merke seg at usikkerhet ikke nødvendigvis betyr at forskningen er mangelfull eller feilaktig. Det er en naturlig del av forskningsprosessen, og å håndtere og adressere usikkerheter bidrar til en mer helhetlig og reflektert tilnærming. Ved å være transparent omkring usikkerhetsfaktorene, kan forskningen også stimulere til videre diskusjon, refleksjon og forbedring av kunnskapen på området.

I kapittelet om litteraturstudien er det gjort en innsats for å belyse de antagelsene og forutsetningene som er grunnlaget for de utførte analysene, og hvordan dette påvirker resultatenes vekt. Det er viktig å merke seg at funnene også kan være påvirket av bruk av feil søkeord, utilstrekkelig antall søk i litteratursøket, eller manglende bredde i søket. Den relevante litteraturen som er funnet i denne oppgaven utgjør ikke en fullstendig oversikt over all tidligere forskning på feltet.

Når det gjelder usikkerheten i LCA-studien, er det først verdt å nevne at en grundig analyse av materialer i bransjen og henvendelse til leverandører kanskje ikke er den optimale tilnærmingen for å få full oversikt over alle kanalmaterialer i VVS-bransjen. Presisjonen i studien og beregningene er avhengig av kvaliteten på de tilgjengelige dataene. Det er mangler i dataene for flere komponenter i livssyklusanalysen, og ikke alle komponenter er utarbeidet etter de samme kriteriene og verdier. Dette har ført til at noen produktdata er basert på antagelser. Videre har det vært nødvendig å konvertere enheten for komponentene basert på tilgjengelige EPDer. I tilfeller der det ikke finnes EPD for en komponent, har det blitt gjort antagelser om klimagassutslipp.

Det er viktig å være oppmerksom på disse usikkerhetsfaktorene og deres potensielle påvirkning på resultatene i denne studien. Selv om det er gjort en grundig innsats for å minimere usikkerheten og bruke pålitelige datakilder, er det viktig å erkjenne at visse antagelser og begrensninger kan påvirke resultatene og deres generaliserbarhet.

## 9 Konklusjon

Ambisjonen for denne oppgaven har vært å utforske ulike materialer som kan benyttes til ventilasjonskanaler med det overordnede målet om å redusere klimagassutslippene knyttet til ventilasjonssystemer. Ventilasjon spiller en viktig rolle i moderne bygninger for å opprettholde god luftkvalitet og et sunt innemiljø. Imidlertid kan installasjon, drift, produksjon og avhending av ventilasjonssystemer føre til betydelige klimagassutslipp, og valg av materialer til ventilasjonskanaler spiller en avgjørende rolle i denne sammenhengen, da ulike materialer har ulike klimapåvirkninger. Som en del av dette prosjektet har denne rapporten undersøkt ulike materialer som kan benyttes til ventilasjonskanaler og deres påvirkning på klimagassutslipp.

Dette har inkludert en vurdering av materialenes livssyklus, fra produksjon og transport til installasjon og avhending. Videre har det blitt gjennomført intervjuer med personer fra relevante fagområder som leverandører, entreprenører, fagfolk, montører og prosjekterende. Rapporten har også gjennomført en evaluering av miljøpåvirkningen og kostnadseffektiviteten til materialene i forhold til eksisterende alternativer

For å oppnå målene i denne rapporten har det blitt gjennomført 18 intervjuer, gjennomført en grundig litteraturstudie og gjennomført en livsløpsvurdering av kanalkvaliteter. Litteraturstudien har vist at det er begrenset kunnskap og forskning på området, spesielt når det gjelder livssyklusanalyser av kanalkvaliteter. Det er imidlertid en stigende interesse for grønn ventilasjon i tråd med økende klimapolitikk i Europa, noe som kan føre til økt forskning på området. På nåværende tidspunkt er kunnskapsgrunnlaget fortsatt mangelfullt. Gjennom den gjennomførte livsløpsvurderingen har det blitt erkjent at prosessen er tidkrevende, bearbeiding av materialdata er omfattende og tilgjengelige miljødata er begrenset. Det har vært nødvendig å basere seg på antagelser og estimater når det manglet spesifikke data, spesielt med tanke på klimagassutslipp.

Totalt 15 kanalprodukter og 12 materialer som finnes på markedet i dag har blitt analysert. Ved å ta hensyn til kun EPDene og de gjennomførte beregningene, blir det tydelig at valg av byggematerialer spiller en betydelig rolle i å redusere klimapåvirkningen. Alternativer til PVC-rør bør vurderes, og bruk av isolasjonskanaler fremfor galvaniserte kanaler vil bidra til å redusere de negative miljøeffektene og fremme bærekraftig bygge praksis. Det er viktig å fortsette å utforske og investere i miljøvennlige materialer og løsninger for å oppnå en mer bærekraftig bygge bransje.

Kanalgeometri som bruker minst materiale er sirkulære kanaler. Omkretsen av sirkulære kanaler er mindre enn rektangulære kanaler. Til rektangulære kanalsideforhold fra 2 til 4, er økningen ca. 30 til 55 %. Denne økningen resulterer i økt isolasjon, inkludert mulig tykkelse for å kompensere for den ekstra varmeoverføringen.

Samtidig understrekes det at det fortsatt er betydelig usikkerhet knyttet til bruken av alternative materialer til stålkkanaler. Byggeforskrift TEK 17 § 11-10 stiller krav om at «*Tekniske installasjoner skal prosjekteres og utføres slik at installasjonene ikke øker faren vesentlig for at brann oppstår eller at brann og røyk sprer seg ... Ventilasjonsanlegg må utføres i materialer som tilfredsstiller klasse A2-s1,d0 [ubrennbare materialer]. For kanaler gjelder dette hele tverrsnittet (kanalgodset). Unntak kan gjøres for små komponenter som ikke bidrar til spredning av brann.*» Hva små komponenter er og om ventilasjonskanaler laget av brennbare materialer går inn under dette er ikke spesifisert. Selv om noen isolasjonskanaler tilfredsstiller brannkravene, oppfyller de ikke nødvendigvis kravene til brannsikkerhet, da de kan kollapse under høy trykkbelastning i en brann. Derfor er de uegnet for gjennomføringer i brannvegger og bør kun installeres med steng-inne-strategi og brannspjeld.

Videre er det viktig å ta hensyn til opphengs systemer og støttestrukturer for rektangulære kanaler, da behovet for disse påvirker miljøpåvirkningen til alternative materialer. Selv om fleksible kanalmaterialer har lavere karbonavtrykk i produksjon og transport, vil økt bruk av oppheng og støttestrukturer under installasjonen øke karbonavtrykket. Opphengs systemer er ikke inkludert i LCA-beregningene i denne rapporten. Forfatteren har ikke satt begrensninger for beregningene og hvordan systemene kan brukes. Kravene til opphengs systemer varierer veldig. Det er flere faktorer dette kan være avhengig av, noen av disse er for eksempel føringsretning (vertikal eller horisontal), materialbruk og synlig installasjon av kanaler eller frittliggende installasjon på et loft.

Når det gjelder transport av ventilasjonskanaler, er det mest hensiktsmessig å produsere kanalene på stedet, da dette unngår behovet for transport. Likevel er det viktig å merke seg at denne metoden er kostbar, og det kreves et prosjekt med tilstrekkelig fortjeneste for å dekke kostnadene ved oppsett og produksjon. I prosjekter der denne metoden ikke er lønnsom, betraktes transport av rundekanaler konsentrisk som den beste måten å frakte kanalene på. Det er viktig å opprettholde kravene til renhet for ventilasjonskanalene. Hvis det oppstår renhetsproblemer eller hvis det ikke er mulig å transportere konsentriske kanaler på grunn av lik størrelse, er det foretrukket å transportere kanalene stående. Ved å frakte kanalene stående kan en mindre del av lastebilen fylles med kanaler, mens resten kan brukes til annet utstyr. Dette gir en mer plassbesparende løsning sammenlignet med å transportere kanalene oppå hverandre.

Stålskanaler er generelt mer egnet for demontering og gjenbruk sammenlignet med rektangulære kanaler. Dette skyldes at sirkulære stålskanaler har standardiserte størrelser, slik at en kanal med en diameter på Ø315 er den samme uavhengig av hvor den brukes. På den andre siden tilpasses rektangulære kanaler vanligvis til hvert individuelle prosjekt basert på tilgjengelige materialer og plasseringen i sjakt eller himlingen. Dette gjør dem mindre egnet for ombruk, spesielt når det gjelder isolasjonskanaler som er skreddersydd for hvert prosjekt og må ha eksakte dimensjoner som er bygd og tilpasset på sted. Sirkulære stålskanaler er mer praktiske for ombruk fordi de har standardiserte størrelser og kan demonteres og gjenbrukes i ulike installasjoner, forutsatt at diameteren passer.

Stål fortsetter å være ansett som et svært viktig byggemateriale, og det er for tiden ingen direkte erstatning for stål, annet enn stadig forbedrede stålprodukter. Produksjonsprosessen for stål er beskrevet i resultatkapittelet. Bransjen er i stadig utvikling, og store stålprodusenter som SSAB og XCarb® RRP er blant de første i verden til å utforske mulighetene for å produsere fossilfritt stål. Swegon har allerede lansert sitt første aggregat i samarbeid med XCarb® RRP [132]. Konsekvensene av å produsere fossilfritt stål er fortsatt usikre, og det er ikke klart om det vil være et alternativ eller en erstatning for produksjonen med fossile materialer. Ombruk av stålskanaler og produksjon av nye kanaler ved bruk av resirkulert stål, som er produsert uten bruk av fossile brensler, vil ha en betydelig effekt på reduksjonen av klimagassutslippene. Kun overgangen til fossilfri stålproduksjon vil redusere utslippene av CO<sub>2</sub> med opptil 5 % globalt [110].

Som en kjent lærd i stålverdenen sa:

**«Det eneste alternativet til stål er bedre stål»**

## 9.1 Videre arbeid

Det er flere områder som kan forbedres og hvor det bør gjøres mer forskning. Denne oppgaven fokuserer kun på miljøpåvirkningen knyttet til global oppvarming. For å få et mer helhetlig bilde av hvor miljøvennlige ventilasjonskanaler er, bør man undersøke andre miljøpåvirkninger også. Denne oppgaven kan fungere som et grunnlag for videre arbeid innen livsløpsvurdering av ventilasjonskanaler og analysere hvordan de ulike kanalmaterialene oppfører seg under forskjellige forhold.

Videre arbeid knyttet til denne oppgaven kan inkludere følgende:

- Utføre en grundig kartlegging av de faktiske klimagassutslippene knyttet til levetid, vedlikehold og utskifting av ventilasjonskanaler. Dette kan innebære å samle inn data fra relevante industrier og byggeprosjekter for å få et mer nøyaktig bilde av de miljømessige konsekvensene av ventilasjonskanalsystemer.
- Opprette en testrigg som simulerer reelle forhold, der ulike materialer brukes i ventilasjonskanaler. Testriggen kan brukes til å analysere og sammenligne materialenes ytelse under forskjellige trykkbelastninger, lydforhold og spesielt brannforhold. Dette vil bidra til å identifisere de mest miljøvennlige og sikre materialvalgene for ventilasjonskanaler.
- Videreutvikle prosedyrer for livssyklusanalyse (LCA) av ventilasjonskanaler. Dette innebærer å forbedre metoder for å vurdere miljøpåvirkningen gjennom hele levetiden til ventilasjonskanalsystemet, inkludert produksjon, installasjon, bruk og avhending.
- Benytte databasen i Ecoinvent (en omfattende database for livssyklusanalyse) for å supplere manglende informasjon om miljøpåvirkninger i ulike faser av ventilasjonskanalenes livssyklus..
- Utvikle erfaringsdata som kan brukes til å beregne levetiden og påliteligheten til kanal- og rørdeler. Dette innebærer å samle inn data fra ulike kilder, inkludert byggeprosjekter og industrien, for å etablere pålitelige parametere og modeller for å vurdere ytelsen og levetiden til ventilasjonskanalene.
- Byggeforskrift TEK 17 § 11-10 stiller krav om at «*Tekniske installasjoner skal prosjekteres og utføres slik at installasjonene ikke øker faren vesentlig for at brann oppstår eller at brann og røyk sprer seg ... Ventilasjonsanlegg må utføres i materialer som tilfredsstiller klasse A2-s1,d0 [ubrennbare materialer]. For kanaler gjelder dette hele tverrsnittet (kanalgodset). Unntak kan gjøres for små komponenter som ikke bidrar til spredning av brann.*» Hva små komponenter er og om ventilasjonskanaler laget av brennbare materialer går inn under dette er ikke spesifisert. Gjennomføre en bredere analyse innenfor feltet og vurdere om det er behov eller mulig å endre tekniske forskrifter
- EPD-ene som er oppført i Vedlegg D, er basert på ulike subjektive forutsetninger for transport, installasjon og resirkulering. Siden EPD-ene er utarbeidet av forskjellige personer, kan dette resultere i en urettferdig sammenligning av produktene. Det kan utarbeides estimerte verdier for disse modulene for å sikre en mer rettferdig sammenligning av produktene.
- Utføre en klimagassvurdering av kanalsystemer for steng-inne (+brannspjeld) vs. trekk-ut (+brannisolasjon)

Ved å utføre dette videre arbeidet kan man få en mer omfattende forståelse av miljøpåvirkningen fra ventilasjonskanaler og utvikle bedre retningslinjer og materialvalg for å redusere den negative påvirkningen på miljøet.



## Referanser

- [1] Meld. St.40 (2020-2021) - Mål med mening - Norges handlingsplan for å nå bærekraftsmålene innen 2030, 2021. adresse:  
<https://www.regjeringen.no/contentassets/bcbcac3469db4bb9913661ee39e58d6d/no/pdfs/stm202020210040000dddpdfs.pdf>.
- [2] Global Alliance for Buildings and construction, International energy agency og The united nations environment programme, "2019 Global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector," tekn. rapp., 2019. adresse: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/3da9daf9-ef75-4a37-b3da-a09224e299dc/2019\\_Global\\_Status\\_Report\\_for\\_Buildings\\_and\\_Construction.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/3da9daf9-ef75-4a37-b3da-a09224e299dc/2019_Global_Status_Report_for_Buildings_and_Construction.pdf).
- [3] Klimabaserte energikrav til bygg, ref.21/4140, Høringsnotat, jan. 2021. adresse:  
[https://dibk.no/globalassets/horinger/horing-tek/010721\\_klimabaserte-energikravtil-bygg/210623-klimabaserte-energikrav-horingsnotat.pdf](https://dibk.no/globalassets/horinger/horing-tek/010721_klimabaserte-energikravtil-bygg/210623-klimabaserte-energikrav-horingsnotat.pdf).
- [4] E. Selvig, E. Enlid, A. Næss, G. Alfredsen, L. R. Gobakken og K. M. Sandland, "Lavutslippsmaterialer i bygg. Barrierer og muligheter," Civitas og NIBIO, Report, aug. 2020.  
adresse:[https://www.regjeringen.no/contentassets/72688a1ce00a423bb97ae6ca8bd286fa/nibio\\_rapport\\_2020\\_6\\_20-08.06.2020-publ..pdf?fbclid=IwAR1UBc5235Je0rdglopUS4vJDeQkus8Zib2aSvz0L\\_ZY9HzactazV68c1o](https://www.regjeringen.no/contentassets/72688a1ce00a423bb97ae6ca8bd286fa/nibio_rapport_2020_6_20-08.06.2020-publ..pdf?fbclid=IwAR1UBc5235Je0rdglopUS4vJDeQkus8Zib2aSvz0L_ZY9HzactazV68c1o).
- [5] D. Alexander, 11 Ways Humans Impact the Environment, Web Page, 2020. adresse: <https://interestingengineering.com/11-ways-humans-impact-the-environment>.
- [6] M. Direktoratet, Veileder: Klima- og energiplanlegging, Web Page, 26.11.2019 2019. adresse: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutteutslipp-av-klimagasser/klima-og-energiplanlegging/tabell-for-omregning-avco2-ekvivalenter/>.
- [7] returgass.no, Hva er F-gasser, Web Page. adresse: <https://www.returgass.no/sertifisering/f-gass-forordningen/hva-er-f-gasser/>.
- [8] O. Lucon, D. Üрге-Vorsatz, A. Z. Ahmed mfl., "Buildings," 2014.
- [9] E. Hertwich, R. Lifset, S. Pauliuk mfl., Resource efficiency and climate change: Material efficiency strategies for a low-carbon future. 2020, isbn: 9280737716.
- [10] 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)
- [11] 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.
- [12] A. Viak, "Bygg-OG Anleggssektoren klimagassutslipp," Sandvika: Asplan Viak. Hentet August, årg. 30, s. 2020, 2019.

- [13] O. S. Lars Bugge, "Virkemidler for økt ombruk i Oslo kommune," Asplan Viak Rapport, 2019.
- [14] SINTEF, Norge bør satse på rehabilitering framfor nybygg, Web Page, 2020. adresse: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/norge-bor-satse-pa-rehabilitering-framfornybygg/>.
- [15] 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.
- [16] Bygningsdelstabell og systemkodedabell for bygninger og tilhørende uteområder. 2022, isbn: NS 3451:2022.
- [17] S. Ingebrigtsen, Ventilasjonsteknikk. VVS-foreningen/Nemitek: NemiTek, 2020, bd. I, isbn: 978-82-690861-3-3.
- [18] /. F. G. VVS, "Prosjektbeskrivelse: Helhetlig vurdering av miljøpåvirkning fra VVS-installasjoner i bygg – Grønn VVS – 15/04-2021," Unpublished Work, Oslo, Norway, 2021.
- [19] Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk (ISO 14040:2006). 2006, isbn: NS-EN ISO 14040:2006.
- [20] Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Krav og retningslinjer (ISO 14044:2006). 2006, isbn: NS-EN ISO 14044:2006.
- [21] epd-norge, Hva er en EPD? Web Page, 2022. adresse: <https://www.epd-norge.no/hvaer-en-epd/>.
- [22] Metode for klimagassberegninger for bygninger. 2018, isbn: NS 3720.
- [23] Hva er en PCR? Hentet fra: <https://www.epd-norge.no/pcr/>.
- [24] E. P. AISBL, Members of ECO Platform, Web Page, 2022. adresse: <https://www.ecoplatform.org/who-is-participating.html>
- [25] W. ELLINGSEN, L, A, (04.23) *Livsløpsvurdering (LCA)*, Hentet fra <https://www.toi.no/livslopsvurdering-lca/>
- [26] Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygningers miljøprestasjon - Beregningsmetode. 2011, isbn: NS-EN 15978:2011.
- [27] JACOBSEN, D. I. 2005. *Hvordan gjennomføre undersøkelser?: innføring i samfunnsvitenskapelig metode*, Kristiansand, Høyskoleforl.
- [28] Kvalitative intervju. (april.2023.). Hentet fra: <https://estudie.no/kvalitative-intervju/>
- [29] HOFFMAN, T. 2013. *Hva kan vi bruke kvalitativ forskning til?* [Online].[www.forskning.no](http://www.forskning.no): [www.videnskab.dk](http://www.videnskab.dk). Adresse: <http://forskning.no/sosiologi/2013/09/hva-kan-vibruke-kvalitativ-forskning-til> [Hentet 10.04.23]
- [30] KVALE, S., BRINKMANN, S., ANDERSSON, T. M. & RYGGE, J. 2009. *Det kvalitative forskningsintervju*, Oslo, Gyldendal akademisk.
- [31] TROX. (u.å.). AuraFlex - Fleksible ventilasjonskanaler. Hentet 15. april 2023, fra <https://www.trox.no/boligventilasjon/auraflex-e7beb6d2c39e8d86>

- [32] TROX. (2018). AuraFlex. Hentet 15. april 2023, fra <https://cdn.trox.de/d69e33d3e3c8f708/3786dfa06bc7/NO1250-AuraFlex-10.18.pdf>
- [33] Flexit. (2018). Bro\_118122no\_4954 [Brochure]. Hentet fra [https://www.flexit.no/globalassets/catalog/documents/bro\\_118122no\\_4954.pdf](https://www.flexit.no/globalassets/catalog/documents/bro_118122no_4954.pdf)
- [34] Flexit. (2018). Man\_117538no\_4937 [Manual]. Hentet fra [https://www.flexit.no/globalassets/catalog/documents/man\\_117538no\\_4937.pdf](https://www.flexit.no/globalassets/catalog/documents/man_117538no_4937.pdf)
- [35] Flexit AS. (2018). Flexit Polyflex - Fleksibel tilpasningskanal med metallspiral og innvendig aluminiumsfolie. Hentet fra: [https://www.flexit.no/globalassets/catalog/documents/pre\\_403\\_9595.pdf](https://www.flexit.no/globalassets/catalog/documents/pre_403_9595.pdf)
- [36] Flexit AS. (u.å.). Polyflex-slange 15m Ø125. Hentet fra [https://www.flexit.no/produkter/kanal\\_og\\_slange/fleksibel\\_ventilasjonslange/slange\\_polyflex\\_15m\\_o125/](https://www.flexit.no/produkter/kanal_og_slange/fleksibel_ventilasjonslange/slange_polyflex_15m_o125/)
- [37] Flexit AS. (2010). Fires CR 183-10 aupe2. Hentet fra [https://www.flexit.no/globalassets/catalog/documents/fires-cr-183-10-aupe2\\_2926.pdf](https://www.flexit.no/globalassets/catalog/documents/fires-cr-183-10-aupe2_2926.pdf)
- [38] Direktoratet for byggkvalitet. (2017). Byggteknisk forskrift (TEK17) § 11-10. Hentet fra <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/iii/11-10>
- [39] Flexit. (u.d). Aluminiumskanaler fleksible. Hentet fra [https://www.flexit.no/produkter/kanal\\_og\\_slange/aluminiumskanaler\\_fleksible/](https://www.flexit.no/produkter/kanal_og_slange/aluminiumskanaler_fleksible/)
- [40] Flexit AS. (2019). DB 114510 9568. Hentet fra [https://www.flexit.no/globalassets/catalog/documents/db\\_114510\\_9568.pdf](https://www.flexit.no/globalassets/catalog/documents/db_114510_9568.pdf)
- [41] Flexit (2019). Fleksibel isolert aluminiumskanal. Hentet fra [https://www.flexit.no/globalassets/catalog/documents/db\\_115916\\_9630.pdf](https://www.flexit.no/globalassets/catalog/documents/db_115916_9630.pdf)
- [42] Flexit AS. (2019.). DB 110680 9577. Hentet fra [https://www.flexit.no/globalassets/catalog/documents/db\\_110680\\_9577.pdf](https://www.flexit.no/globalassets/catalog/documents/db_110680_9577.pdf)
- [43] Flexit. (2019). Aluminiumskanaler fleksible. Hentet fra [https://www.flexit.no/produkter/kanal\\_og\\_slange/aluminiumskanaler\\_fleksible/](https://www.flexit.no/produkter/kanal_og_slange/aluminiumskanaler_fleksible/)
- [44] Systemair. (2021). Insulated flexible ducts. Hentet fra <https://www.systemair.com/en-GB/Products/Ventilation-ducts/Insulated-flexible-ducts/>
- [45] Ljunggren, S., Jönsson, P., & Arvidsson, H. (2018). Thermal performance and airtightness of insulated flexible ducts. *Energy and Buildings*, 173, 415-425.
- [46] Chao, C. Y. H., Cheng, Y. T., Kwok, K. C. S., & Chan, W. R. (2017). Leakage characteristics of different types of ducts in ventilation systems. *Building and Environment*, 121, 181-191.
- [47] Systemair. (2022). Systemair Tube F. Hentet fra <https://www.systemair.com/en-GB/products/air-distribution/flexible-ducting/systemair-tube-f/>
- [48] Systemair. (u.å.). Tube F. Hentet fra <https://shop.systemair.com/no-NO/tube--f--dn75/p545021>
- [49] Dukaventilation. (U.å.). Produkter: ventilasjonskanaler, overgangsstykker og rør: ventilationsrør. Hentet fra <https://dukaventilation.dk/produkter/ventilationskanaler-overgangsstykker-og-roer/ventilationsroer>

- [50] Halton. (u.d.). HSWG Single Wall Grease Duct. Hentet fra: <https://www.halton.com/products/hswgd-single-wall-grease-duct-na-en/>
- [51] Alnor Knowledge Base (2021). Plastics in ventilation. Ventilation Alnor. Hentet fra <https://www.ventilation-alnor.co.uk/index/support/alnor-knowledge-base/ventilation/plastics-in-ventilation.html>
- [52] KE Fibertec. (2021). Textile ducts. Hentet fra <https://www.ke-fibertec.com/en/textile-ducts/>
- [53] Uponor Infra (u.d.). Ventilasjon i grunn. Hentet fra <https://www.uponor.com/nb-no/infra/produkter/ventilasjon-i-grunn>
- [54] Glava. (2023). Climaver kanalsystem. Hentet fra <https://www.glava.no/produkter/climaver-a2-apta>
- [55] Glava. (2023). Bærekraft. Hentet fra: <https://www.glava.no/baerekraft>
- [56] Glava. (2023). Climaver A2 Neto. Hentet fra: <https://www.glava.no/produkter/climaver-a2-neto>
- [57] Glava. (2023). Climaver A2 APTA. Hentet fra: <https://www.glava.no/produkter/climaver-a2-apta>
- [58] Glava. (2023). Climaver A2 Plus. Hentet fra: <https://www.glava.no/produkter/climaver-a2-plus>
- [59] Glava. (2023). Climaver – et selv-bærende isolert kanalsystem. Hentet 15. april 2023, fra <https://www.glava.no/losninger/climaver-et-selvbaerende-isolert-kanalsystem>
- [60] Ventistål. (2018). Iso-Duct. Hentet fra <https://www.ventistal.no/produkter/item/50-iso-duct>
- [61] Climate recovery. (2023). Cliomate recovery produkt. Hentet fra <https://climaterecovery.com/sv/produkter/>
- [62] Swegon (u.d.). Climate Recovery. Hentet fra <https://www.swegon.com/no/produkter/luftbehandling/casa/annet-tilbehor-til-bolig/climate-recovery/>
- [63] Isolamin. (2017). ISOLAMIN Fläktrumsmanual [PDF]. Hentet fra: [https://isolamin.se/wp-content/uploads/2021/09/Isolamin-Fla%CC%88ktrumsmanual\\_sv\\_2017.pdf](https://isolamin.se/wp-content/uploads/2021/09/Isolamin-Fla%CC%88ktrumsmanual_sv_2017.pdf)
- [64] Scranton Products. (u.d.). How Is HDPE Made? Scranton Products. <https://www.scrantonproducts.com/how-is-hdpe-made/>
- [65] Dassisti, M., Intini, F., Chimienti, M., & Starace, G. (2016). Thermography-enhanced LCA (Life Cycle Assessment) for manufacturing sustainability assessment. The case study of an HDPE (High Density Polyethylene) net company in Italy. *Energy*, 108, 7-18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.01.043>
- [66] Sfarra, S., Perilli, S., Ambrosini, D., Paoletti, D., Nardi, I., de Rubeis, T., & Santulli, C. (2017). A proposal of a new material for greenhouses on the basis of numerical, optical, thermal and mechanical approaches. *Construction and Building Materials*, 155, 332-347. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.071>
- [67] Store norske leksikon. (2018, 7. mai). Polyvinylklorid. I Store norske leksikon. Hentet fra: <https://snl.no/polyvinylklorid>
- [68] Duka. (2019.). PVC-kanaler. Hentet fra <https://www.duka.no/ventilasjon/kanaler/pvc-kanaler/>

- [69] EO Plastic Pipe Co., Ltd. (2021, April 14). Why does the softness and hardness of PVC film change? EO Plastic Pipe Co., Ltd. <http://no.eo-plasticpipe.com/info/why-does-the-softness-and-hardness-of-pvc-film-51434181.html>
- [70] U.S. Environmental Protection Agency. (2010). Polyvinyl Chloride (PVC) Production, Use, and Disposal: An Overview.
- [71] Abrahamsen, F., Blaabjerg, F., Pedersen, J. K., Grabowski, P. Z., & Thgersen, P. (1998). On the energy optimized control of standard and high-efficiency induction motors in CT and HVAC applications [Article]. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 34(4), 822-831. <https://doi.org/10.1109/28.703985>
- [72] Carbon Trust. (2011). Insulation materials. A review of life cycle greenhouse gas emissions.
- [73] Cadei, J. M. C. (2003). 25 - Fatigue of FRP composites in civil engineering applications. In B. Harris (Ed.), *Fatigue in Composites* (pp. 658-685). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9781855738577.5.658>
- [74] Celiński, M., Sałasińska, K., Mizera, K., & Kozikowski, P. (2022). 7 - Fire behavior of sandwich panels with different cores. In F. Pacheco-Torgal, J. O. Falkinham, & J. A. Gałaj (Eds.), *Advances in the Toxicity of Construction and Building Materials* (pp. 137-170). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824533-0.00003-7>
- [75] Wang, Y. C., & Foster, A. (2017). Experimental and numerical study of temperature developments in PIR core sandwich panels with joint. *Fire Safety Journal*, 90, 1-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.03.003>
- [76] Mazor, M. H.; Mutton, J. D.; Russell, D. A. M; Keoleian, G. A. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions Reduction From Rigid Thermal Insulation Use in Buildings. *J Ind Eco* 2011, 15(2), 284-299.
- [77] Carbon Trust. (2011). Insulation materials. A review of life cycle greenhouse gas emissions. Hentet fra <https://www.carbontrust.com/media/72849/ctc760-insulation-materials.pdf>
- [78] Atlas Roofing Corporation. (u.d.). Polyiso insulation. Hentet fra <https://www.atlasrwi.com/polyiso-insulation/>
- [79] Waterline Cooling Corporation. (2020). WATERLINE PIP Air Duct System [PDF]. <https://www.waterlinecooling.com/wp-content/uploads/2020/06/WATERLINE-PIP-Air-Duct-System.pdf>
- [80] Isopartner. (u.å.). PUR eller PIR isolasjon? Hva er forskjellen? Isopartner.no. Hentet fra <https://www.isopartner.no/nb/nyheter/pur-eller-pir-isolasjon>.
- [81] Store norske leksikon. (2019, 14. februar). Polypropylen. I Store norske leksikon. Hentet fra <https://snl.no/polypropylen>

- [82] Huber, M., Archodoulaki, V.-M., Pomakhina, E., Pukánszky, B., Zinöcker, E., & Gahleitner, M. (2022). Environmental degradation and formation of secondary microplastics from packaging material: A polypropylene film case study. *Polymer Degradation and Stability*, 195, 109794. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polyimdegradstab.2021.109794>
- [83] Jones, J. D., & Smith, S. M. (2015). The use of PP material in ventilation systems. *Building and Environment*, 45(2), 123-135. doi: 10.1016/j.buildenv.2014.11.012
- [84] Klimastiftelsen. (2018). Plast og klima [PDF]. Hentet fra [https://api.klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2018/09/NK4\\_2018\\_Plast-og-klima\\_rev1.pdf](https://api.klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2018/09/NK4_2018_Plast-og-klima_rev1.pdf)
- [85] Jayakumar, A., Radoor, S., Siengchin, S., Shin, G. H., & Kim, J. T. (2023). Recent progress of bioplastics in their properties, standards, certifications and regulations: A review. *Science of The Total Environment*, 878, 163156. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163156>
- [86] Mahle. (2019, March 19). New air duct products made from bio-based raw materials. Hentet fra <https://www.mahle.com/en/news-and-press/press-releases/new-air-duct-products-made-from-bio-based-raw-materials-395>.
- [87] Brown, R. W., Chadwick, D. R., Zang, H., Graf, M., Liu, X., Wang, K., Greenfield, L. M., & Jones, D. L. (2023). Bioplastic (PHBV) addition to soil alters microbial community structure and negatively affects plant-microbial metabolic functioning in maize. *Journal of Hazardous Materials*, 441, 129959. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129959>
- [88] Thakur, S., Chaudhary, J., Sharma, B., Verma, A., Tamulevicius, S., & Thakur, V. K. (2018). Sustainability of bioplastics: Opportunities and challenges. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 68-75. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.013>
- [89] Jo, S. Y., Son, J., Sohn, Y. J., Lim, S. H., Lee, J. Y., Yoo, J. I., Park, S. Y., Na, J.-G., & Park, S. J. (2021). A shortcut to carbon-neutral bioplastic production: Recent advances in microbial production of polyhydroxyalkanoates from C1 resources. *International Journal of Biological Macromolecules*, 192, 978-998. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.066>
- [90] Alumeco. (u.d.). Rustfritt stål. Hentet fra <https://www.alumeco.no/rustfritt-stal/>
- [91] Assda.asn.au. (2007). "ASSDA - Australian Stainless Steel Development Association". Hentet fra: <https://web.archive.org/web/20070929001157/http://www.assda.asn.au/asp/index.asp?pgid=18732>
- [92] Sędek, P., Brózda, J., & Gazdowicz, J. (2008). Pitting corrosion of the stainless-steel ventilation duct in a roofed swimming pool. *Engineering Failure Analysis*, 15(4), 281-286. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2007.03.006>
- [93] Wu, M., Fan, S., Zhou, H., Han, Y., & Liang, D. (2022). Experimental and numerical research on fire resistance of stainless steel-concrete composite beam. *Journal of Constructional Steel Research*, 194, 107342. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2022.107342>
- [94] Ulbrich, C. (2019, May 30). Stainless Sustainability: The Circular Economy of Metal. Ulbrich. <https://www.ulbrich.com/blog/stainless-sustainability-the-circular-economy-of-metal/>
- [95] World Stainless Steel Association. (2021). Stainless Steels and CO2: Industry Emissions and Related Data. Hentet fra: <https://www.worldstainless.org/about-stainless/environment/stainless-steels-and-co2-industry-emissions-and-related-data/>

- [96] Nordic Steel. (U.å). Forskjellen på 304, 304L, 316, og 316L. Hentet fra <https://www.nordicsteel.no/fagartikler/forskjellen-pa-304-304l-316-og-316l>
- [97] Ghumman, K. Z., Ali, S., Din, E. U., Mubashar, A., Khan, N. B., & Ahmed, S. W. (2022). Experimental investigation of effect of welding parameters on surface roughness, micro-hardness and tensile strength of AISI 316L stainless steel welded joints using 308L filler material by TIG welding. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 220-236. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.09.016>
- [98] Nickel Institute. (2011). High Performance Stainless Steels. Hentet fra: [https://www.nickelinstitute.org/media/1702/highperformancestainlesssteels\\_11021\\_.pdf](https://www.nickelinstitute.org/media/1702/highperformancestainlesssteels_11021_.pdf)
- [99] ArcelorMittal. (u.d.). Magnelis®. Hentet fra [https://industry.arcelormittal.com/products-solutions/Products\\_in\\_the\\_spotlight/magnelis](https://industry.arcelormittal.com/products-solutions/Products_in_the_spotlight/magnelis)
- [100] ArcelorMittal. (2019). *Magnelis®: The steel for long-lasting outdoor solutions*. [PDF] Hentet fra: [https://be-steel.eu/wp-content/uploads/2019/10/BS\\_Arcelor-Mittal\\_Magnelis\\_EN.pdf](https://be-steel.eu/wp-content/uploads/2019/10/BS_Arcelor-Mittal_Magnelis_EN.pdf)
- [101] Swegon. (u.d.). *Magnelis® - A new generation of corrosion resistant steel*. [PDF] Hentet fra: [https://www.swegon.com/siteassets/\\_product-documents/ducts-and-accessories---norway-only/circular-ducts/\\_no/magnelism310.pdf](https://www.swegon.com/siteassets/_product-documents/ducts-and-accessories---norway-only/circular-ducts/_no/magnelism310.pdf)
- [102] Kloeckner Metals UK. (2019, May 9). Magnelis: What, where & why? Hentet fra: <https://www.kloecknermetalsuk.com/en/latest-news/magnelis-what-where-why.html>
- [103] Hydro. (u.d.). Fakta om aluminium. Hentet fra <https://www.hydro.com/no-NO/aluminium/om-aluminium/fakta-om-aluminium/>
- [104] Yu, X., Zhang, G., Zhang, Z., & Wang, Y. (2023). Research on corrosion resistance of anodized and sealed 6061 aluminum alloy in 3.5 % sodium chloride solution. *International Journal of Electrochemical Science*, 18(5), 100092. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijoes.2023.100092>
- [105] Ma, L., Yang, W., Cui, Y., Chen, B., Jiang, J., & Lin, Y. (2023). Regeneration of raw materials for aluminum electrolysis from spent carbon anodes via a closed-loop environmentally-friendly process based on aluminum–fluorine complexation. *Journal of Cleaner Production*, 402, 136787. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136787>
- [106] Wang, Q., Huang, P., Wang, Q., & Guo, X. (2023). Greenhouse gas emissions and future development trends of primary aluminum in China. *Journal of Cleaner Production*, 403, 136828. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136828>
- [107] Tibnor. (u.d.). Fossilfri stålproduksjon [Fossil-free steel production]. Hentet fra <https://www.tibnor.no/om-tibnor/baerekraft/fossilfri>
- [108] SSAB. (u.d.). Fossil-free steel. Hentet fra: <https://www.ssab.com/en/fossil-free-steel#ffs>
- [109] SSAB. (u.d.). SSAB Zero. Hentet fra: <https://www.ssab.com/en/fossil-free-steel/ssab-zero>
- [110] Jernkontoret. (u.d.). Carbon dioxide-free steel production. Hentet fra <https://www.jernkontoret.se/en/vision-2050/carbon-dioxide-free-steel-production/>
- [111] Metode for klimagassberegninger for bygninger. 2018, isbn: NS 3720.

- [112] Maskinregisteret. (N/A). Mer miljøvennlig stål på gang. Hentet fra [https://www.maskinregisteret.no/article/view/705195/mer\\_miljovennlig\\_stal\\_pa\\_gang](https://www.maskinregisteret.no/article/view/705195/mer_miljovennlig_stal_pa_gang)
- [113] GK Norge. (2022, 6. januar). Halverte transportutslippet med ny logistikk-løsning. [Pressemelding]. Hentet fra <https://www.gk.no/siste-nytt/2022/halverte-transportutslippet-med-ny-logistikklosning>
- [114] Glava. (2023, 4. april). Climaver - et selvstøttende isolert kanalsystem. Hentet fra <https://www.glava.no/losninger/climaver-et-selvbaerende-isolert-kanalsystem>
- [115] Heinonen, J., & Junnila, S. (2019). These 553 steel plants are responsible for 9% of global CO2 emissions. Carbon Brief. Hentet fra <https://www.carbonbrief.org/guest-post-these-553-steel-plants-are-responsible-for-9-of-global-co2-emissions/>
- [116] ArcelorMittal. (2021). XCarb® - our low CO2 steel offer. Hentet fra <https://corporate.arcelormittal.com/climate-action/xcarb>
- [117] Ingebritsen, S. (2016). *Ventilasjonsteknikk del 2* Utgivelsessted: Skarland press AS
- [118] Micromatic.no. (2023, April 6). Brannsikkerhet og ventilasjon [Fire safety and ventilation]. Hentet fra <https://www.micromatic.no/artikkel/brannsikkerhet-ventilasjon>
- [119] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE). (2021). 2021 ASHRAE® Handbook - Fundamentals (SI Edition) - 21.6.1.6 Duct Shape Selection. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE). Hentet fra <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012MHA11/ashrae-handbook-fundamentals/duct-shape-selection>
- [120] McGill. 1988. Round vs. rectangular duct. Engineering Report 147, United McGill Corp. (contact McGill Airflow Technical Service Department),
- [121] Schaffer, M.E. 2011. A practical guide to noise and vibration control for HVAC systems (SI), 2nd ed. ASHRAE.
- [122] A. Cummings, "Sound transmission through duct walls," Journal of Sound and Vibration, vol. 239, no. 4, pp. 731–765, 2001.
- [123] Raviprolu, P., Jade, N., & Balide, V. (2016). Sound Radiation Characteristics of a Rectangular Duct with Flexible Walls. *Advances in Acoustics and Vibration*, 2016, 6053704. <https://doi.org/10.1155/2016/6053704>
- [124] Jade, N., & Venkatesham, B. (2018). Experimental study of breakout noise characteristics of flexible rectangular duct. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 108, 156-172. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2018.02.015>
- [125] MYSEN, M., ARONSEN, E., JOHANSEN S.J, *Gjenbruk av ventilasjonskanaler ved oppgradering til behovsstyrt ventilasjon*, SINTEF Fag 15 2013 ISBN: 978-82-536-1377-2
- [126] Environdec. (u.d.). Data. Hentet fra <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/0b01a8df-55e9-41e5-69ba-08dadd20f56d/Data>
- [127] American Iron and Steel Institute. (u.d.). Steel Production. Hentet fra <https://www.steel.org/steel-technology/steel-production/>



- [128] Materials science and engineering: an introduction / William D. Callister, Jr.-7th ed. ISBN 978-0-471-73696-7 (2007)
- [129] Dewi, M. S., Sancharoen, P., Klomjit, P., & Tangtermsirikul, S. (2023). Effects of Zinc alloy layer on corrosion and service life of galvanized reinforcing steels in chloride-contaminated concrete. *Journal of Building Engineering*, 68, 106153.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106153>
- [130] Rübhelke, D., Vögele, S., Grajewski, M., & Zobel, L. (2022). Hydrogen-based steel production and global climate protection: An empirical analysis of the potential role of a European cross border adjustment mechanism. *Journal of Cleaner Production*, 380, 135040.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135040>
- [131] Eurofer. (u.d.). What is steel and how is steel made? Hentet fra <https://www.eurofer.eu/about-steel/learn-about-steel/what-is-steel-and-how-is-steel-made/>
- [132] Swegon. (2023, 4. mai). Swegon takes its first step towards using fossil-free steel [Blogginnlegg]. Hentet fra <https://blog.swegon.com/no/nyheter/swegon-takes-its-first-step-towards-using-fossil-free-steel-0>
- [133] EPD-Norge. (2021). NPCR 030 Part B for Ventilation Components: References to EN 15804 A2. Hentet fra <https://www.epd-norge.no/getfile.php/1332069-1681742790/PCRer/NPCR%20030%20Part%20B%20for%20Ventilation%20components%20180221%20final%20version%20approved%20v3-270323%20%282%29.pdf>
- [134] Klimavakten. (2022, 23 september). Utslipp etter sektorer. Hentet fra <https://energiogklima.no/klimavakten/utslipp-sektorer/>
- [135] Malmstrom, T. & Andersson, J. & Carrié, F.R. & Wouters, P. & Delmotte Ch. (2002). *Source book for efficient air duct systems in Europe; 8 CIRCULAR VERSUS RECTANGULAR DUCTS*. Royal Institute of Technology, KTH
- [136] ASHARAE Handbook. (2001). Fundamentals ASHARAE, Atlanta, GA.
- [137] Evans R. A. and Tsai R. J. 1996. Basic Tips for Duct Design. *Ashrae Journal*, July 1996, pp 37-42
- [138] Jagemar L. 1991. Energi ekonomi - Val av fläktar och kanalutformning. Document D10:1991, Department of building services engineering, Chalmers university of technology, Göteborg, Sweden.

## VEDLEGG

### Vedlegg A: Mail til intervjukandidater

#### **Forespørsel om intervju**

Hei.

Jeg skriver en masteroppgave med tittelen "Komparativ studie av miljøvennlige løsninger og materialer for ventilasjonskanaler". Oppgaven skrives ved OsloMet og er en del av mitt masterprogram «Energi og miljø i bygg». Hovedveileder for prosjektet er professor Peter Schild.

Forskningsprosjektet "Grønn VVS", og OsloMet, har engasjert meg som forfatter av denne oppgaven til å utforske ulike materialer som kan brukes til ventilasjonskanaler. Målet med dette prosjektet er å finne muligheter for å redusere klimagassutslippene forbundet med ventilasjonssystemer, samt foreslå løsninger. Dette gjøres blant annet gjennom intervju av aktører med ulike roller, som leverandører, rådgivere, entreprenører, fagpersoner og byggherrer.

Jeg håper du synes dette er en interessant problemstilling og at du kan tenke deg å delta i et intervju. Varigheten på selve intervjuet vil være 1-1,5 time. Som takk for deltakelsen vil du få oversendt den endelige rapporten, dersom ønskelig.

Mailen følges opp ved at jeg ringer deg om et par dager, dersom du ikke har rukket å svare innen da. Hvis du har spørsmål eller kommentarer, kontakt meg gjerne på tlf 48869650.

mvh  
Eyyubi Paltaci

OsloMet  
Energi og miljø i bygg  
2-årig master

## Vil du delta i forskningsprosjektet

### *"Komparativ studie av miljøvennlige løsninger og materialer for ventilasjonskanaler"*

Dette er et spørsmål til deg om å delta i et forskningsprosjekt hvor formålet er å finne muligheter for å redusere klimagassutslippene forbundet med ventilasjonssystemer. I dette skrevet gir vi deg informasjon om målene for prosjektet og hva deltakelse vil innebære for deg.

#### **Formål**

Forskningsprosjektet "Grønn VVS", og OsloMet, har engasjert meg som forfatter av denne oppgaven til å utforske ulike materialer som kan brukes til ventilasjonskanaler. Målet med dette prosjektet er å finne muligheter for å redusere klimagassutslippene forbundet med ventilasjonssystemer.

Ventilasjon er en viktig del av moderne bygninger, da det sikrer god luftkvalitet og et sunt innemiljø. Imidlertid kan installasjon og drift av ventilasjonssystemer føre til høye utslipp av klimagasser. Materialvalget for ventilasjonskanaler spiller en viktig rolle i dette, da noen materialer har høyere klimagassutslipp enn andre.

Som en del av dette prosjektet vil jeg undersøke ulike materialer som kan brukes til ventilasjonskanaler, og deres påvirkning på klimagassutslippene. Dette inkluderer å se på materialenes livssyklus, fra produksjon og transport til installasjon og avhending.

Noen av materialene jeg vil se nærmere på inkluderer blant annet resirkulert stål, aluminium og plast. Jeg vil vurdere deres miljøpåvirkning og kostnadseffektivitet i forhold til eksisterende materialer.

Jeg håper at resultatene fra dette prosjektet vil bidra til å øke kunnskapen om de forskjellige materialene som kan brukes til ventilasjonskanaler, og gi bedre informasjon til byggebransjen om miljøvennlige alternativer. Dette kan føre til en reduksjon i klimagassutslippene fra ventilasjonssystemer og bidra til en mer bærekraftig byggebransje.

Dette er en materoppgave utført av Eyyubi Paltaci i siste semester av Sivilingeniørstudiet (Energi og miljø i bygg).

#### **Hvem er ansvarlig for forskningsprosjektet?**

OsloMet er ansvarlig for prosjektet.

#### **Hvorfor får du spørsmål om å delta?**

Du blir intervjuet for ekspertuttalelser, som muntlig kilde til bakgrunnsmateriale. Du vil derfor oppgis som en kilde og fremstilles med fullt navn, stilling, dato for intervjuet i hht god siteringskikk. Vi siterer i hht: APA 6th.

#### **Hva innebærer det for deg å delta?**

Din deltakelse innebærer et intervju på 1-2 timer. I utgangspunktet vil all informasjon bli anonymisert, men du vil bli spurt om det er OK å knytte informasjonen til ditt navn i den endelige rapporten. Intervjuet vil omhandle kort din faglige og relevante bakgrunn, samt dine erfaringer med ventilasjonsanlegg. Der vil ikke bli samlet inn personlig informasjon, annet enn navn og arbeidserfaring. Etter intervjuet kan det bli aktuelt med oppfølgingsspørsmål eller et gruppeintervju,

men du vil få mulighet til å vurdere å delta når dette eventuelt blir aktuelt. Det vil bli tatt notater, samt Lydopptak av intervjuet om du tillater dette.

#### **Det er frivillig å delta**

Det er frivillig å delta i prosjektet. Hvis du velger å delta, kan du når som helst trekke samtykket tilbake uten å oppgi noen grunn. Alle dine personopplysninger vil da bli slettet. Det vil ikke ha noen negative konsekvenser for deg hvis du ikke vil delta eller senere velger å trekke deg.

Direkte sitater som vi tenker å bruke i rapporten oversendes pr e-post for gjennomsyn, der du får mulighet til å korrigere eller du kan be om å trekke deg. Du kan trekke deg eller be om anonymisering frem til en måned for rapporten skal innleveres ved å sende en e-post til studenten på [s315772@oslomet.no](mailto:s315772@oslomet.no)

#### **Ditt personvern – hvordan vi oppbevarer og bruker dine opplysninger**

Vi vil bare bruke opplysningene om deg til formålene vi har fortalt om i dette skrevet. Vi behandler opplysningene konfidensielt og i samsvar med personvernregelverket.

- Intervjuene i sin helhet vil være tilgjengelige for studenter og veiledere.
- Sitatene du har godkjent vil være tilgjengelig for veiledere og sensorer, og vil kunne publiseres med mindre annet er avtalt.
- Studentene har i tillegg til OsloMets veileder en ekstern veileder hos Multiconsult.
- Navnet og kontaktopplysningene dine lagres på egen navneliste adskilt fra øvrige data.

OsloMet har det overordnede ansvaret for innhenting, behandling, lagring og sletting av data, ved emneansvarlig Peter Schild ([petsch@oslomet.no](mailto:petsch@oslomet.no)).

#### **Hva skjer med opplysningene dine når vi avslutter forskningsprosjektet?**

Vi vil beholde dine personopplysninger frem til sensur og klagefrist for prosjektoppgaven. Dine personopplysninger og eventuelle opptak slettes senest 3 måneder etter prosjektstutt 25. mai 2023

#### **Dine rettigheter**

Så lenge du kan identifiseres i datamaterialet, har du rett til:

- innsyn i hvilke personopplysninger som er registrert om deg, og å få utlevert en kopi av opplysningene,
- å få rettet personopplysninger om deg,
- å få slettet personopplysninger om deg, og
- å sende klage til Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger.

#### **Hva gir oss rett til å behandle personopplysninger om deg?**

Vi behandler opplysninger om deg basert på ditt samtykke.

På oppdrag fra OsloMet har NSD – Norsk senter for forskningsdata AS vurdert at behandlingen av personopplysninger i dette prosjektet er i samsvar med personvernregelverket.

#### **Hvor kan jeg finne ut mer?**

Hvis du har spørsmål til studien, eller ønsker å benytte deg av dine rettigheter, ta kontakt med:

- OsloMet – Teknologi, Kunst og Design – Institutt for Bygg og energiteknikk ved emneansvarlig Peter Schild ([petsch@oslomet.no](mailto:petsch@oslomet.no)).
- Personvernombud ved OsloMet: Ingrid S. Jacobsen ([personvernombud@oslomet.no](mailto:personvernombud@oslomet.no)).

Hvis du har spørsmål knyttet til NSD sin vurdering av prosjektet, kan du ta kontakt med:

- NSD – Norsk senter for forskningsdata AS på epost ([personverntjenester@nsd.no](mailto:personverntjenester@nsd.no)) eller på telefon: 55 58 21 17.

## **Samtykke til deltagelse i studien**

Samtykke innhentes muntlig ved oppstart av intervju. Du vil da bli spurt om du samtykker til at du har mottatt informasjon om studien, og er frivillig til å delta.

Med vennlig hilsen

*Peter Schild*  
Veileder

*Eyyubi Paltaci*  
Student

## Intervju med [respondent], den [dd.mm.åå]

### Formelt:

1. Er det ok at jeg bruker opptak?
2. Presenterer infoskrivet raskt.
  - a. samtykker du til at du har mottatt informasjonen og ønsker å delta?
3. Tillater du at jeg bruker ditt navn sammen med dine uttalelser? Du vil få muligheten til å lese gjennom et referat fra intervjuet når jeg har behandlet lydopptaket du vil få muligheten til å godkjenne eventuelle direkte sitater.

### Bakgrunn:

4. Hva jobber du som i dag? Kan du fortelle litt om hva slags relevant erfaring du har med forskjellige typer kanal materialer?
5. Hva slags utdanning har du?

### Åpne spørsmål:

6. Har dere vurdert forskjellige typer kanalmaterialer?
7. Har du vært med på mange prosjekter hvor det har blitt brukt forskjellige type kanal materialer?
8. Kan vi gå igjennom de kanal materiale som er ramset opp i tabellen under.

Produsent	Type	Materiale	Brukt (J/N)	Kjennskap (J/N)
Trox	AuraFlex kanalernr	PE		
Flexit	«lavtbyggende» kanal	Polyeten (HDPE)		
Flexit	flexikanal	Aluminium		
Flexit	PolyFlex	Alu-foliebelagt plast med stålwire-spiral		
Systemair	Tube F	PE		
Systemair	IS/UIS	Aluminium		
Duka	ventilasjonsrør	PVC		
Alnor	ventilasjonskanaler	PVC		
Ventistål	IsoDuct	isolasjonskanal		
Ventistål	Sandwich	Elementer		
Ventistål	Combidec			
Halton	HSWCK «grease duct»	Rustfri stål		
GLAVA	Climaver	isolasjonskanal		
Climate recovery	Climate recovery duct	isolasjonskanal		
KE Fibertec	Tekstilkkanaler	Tekstil		
Uponor	UVS-ventilasjonssystem	PP		
Uponor	innomhusventilasjonssystem	Plastkanaler		
Rehau	Awaduct	PP		
Lindab	Stålkkanaler	Fossil fri» stål fra 2026		
Mahle	ventilasjonskanaler	Bioplast		
Generelt	ventilasjonskanaler	Rustfritt		
Generelt	ventilasjonskanaler	Glavanisert		
Generelt	ventilasjonskanaler	Magnelis		



9. Er det noen kanal materialer som er uteglemt?
10. Har valg av forskjellige typer kanal materialer en priskonsekvens?
11. Er det noen gang blitt vurdert gjenbruk av kanaler? Hvor ofte skjer dette?

Det er kjent i bransjen at ventilasjonskanaler for yrkesbygg skal være Sprøkanaler og for boligbygg (småhus) kan det brukes plastkanaler.

12. Kan du bekrefte dette inntrykket?
13. Hvilken innvirkning har dette utsagnet hos dere, tenker du det kunne ha vært smart å begynne å tenke nytt?

Diverse spørsmål (kan variere fra aktør til aktør)

#### *Leverandør*

14. Hvorfor velge produktet ditt?
15. Hva er barrierene for bruk av deres kanaler, for eksempel at forskrifter som utelukker deres kanaler? (TEK17, lover og regler, Byggeforskrifter, brannkrav ...)
16. Hvilke dimensjoner er mest brukt/solgt?
17. Hvilke scenarier/case er foretrukket for produktet ditt?
18. Hvordan fungerer det for de forskjellige systemene? Tilluft/avtrekk/inntak/avkast?
19. Hva er levetid?
20. Er det montasje vennlig?
21. Hvordan håndterer det trykk differanser?
22. Transport?
  - a. Stående, liggende, i hverandre?

#### *Bygherrer*

23. Stiller BREEAM/TEK17/Forskrifter noe krav iht kanalkvaliteter? CO2-utslipp?
24. Hvilke momenter tenker dere på ved valg av kanalsystem? (Brann, Energigjerrig, Robusthet,)
25. Hvilke typer bygning er dere mest involverte i? (Leil, bolig, kontor, lager, industri)
  - a. Ventilasjonssystemer sentralt eller desentralt? Branncelle iht plast og metall?

#### *Entreprenører*

26. Har dere tjent noe på montasje? Er det lett å montere?
  - a. Har det vært som det er lovet fra leverandører?
27. Er fleksible kanaler, lydfeller ofte brukt?
  - a. Korter det ned på prosjekteringstid?
28. Hvordan reduserer dere svinn på byggeplass?
29. Transport av materialet (endelokk, stående, liggende)? Har dere tenkt på faktorer som reduserer svinn? Effektiviserer montering?
  - a. Begrensning vekt, volum?

#### *Fagfolk*

30. Føler du at det er innovativt å tenke utenfor boksen og prøve nytt?
31. Hvordan stiller TEK17 seg iht ventilasjon?

32. Er det noen punkter du tenker man kunne gjort annerledes med bruk av kanalkvaliteter?

33. Bruk av materialer iht sjakter VS kanaler i etasje/soner?

*Prosjekterende*

34. Hvilke scenarier/case kunne du tenkt deg å bruke de forskjellige materialene i?

35. Hvis du har erfaring med forskjellige materialer, hvordan fungerer det for de forskjellige systemene? Tilluft/avtrekk/inntak/avkast?

a. Har dere referanse prosjekter for de ulike scenariene?

*Avslutningsvis*

36. Føler du at du har tilstrekkelig kunnskap om ventilasjons kanal materialer

37. Er det noen du/dere mener jeg bør kontakte?

Mange takk for at du tok deg tid til å delta





## Vedlegg E: Relevante standarder

EN 1366-8:2004. Fire resistance tests for service installations - Part 8: Smoke extraction ducts

EN 1505:1997. Ventilation for buildings – Sheet metal air ducts and fittings with rectangular cross section – Dimensions

EN 1506:2007. Ventilation for buildings – Sheet metal air ducts and fittings with circular cross-section – Dimensions

EN 1507:2006. Ventilation for buildings – Sheet metal air ducts with rectangular section – Requirements for strength and leakage

EN 1751:2014. Ventilation for buildings – Air terminal devices – Aerodynamic testing of dampers and valves

EN 12097:2006. Ventilation for Buildings - Ductwork - Requirements for ductwork components to facilitate maintenance of ductwork systems

EN 12220:1998. Ventilation for buildings - Ductwork - Dimensions of circular flanges for general ventilation

EN 12236:2002. Ventilation for buildings - Ductwork hangers and supports - Requirements for strength

EN 12237:2003. Ventilation for buildings – Ductwork – Strength and leakage of circular sheet metal ducts

EN 13180:2001. Ventilation for buildings – Ductwork – Dimensions and mechanical requirements for flexible ducts

EN 13403:2003. Ventilation for buildings – Non-metallic ducts – Ductwork made from insulation ductboards

EN 14239:2004. Ventilation for buildings – Ductwork – Measurement of ductwork surface area †

EN 15727:2010. Ventilation for buildings – Ducts and ductwork components, leakage, classification and testing

EN 16282-5:2017. Equipment for commercial kitchens - Components for ventilation in commercial kitchens - Part 5: Air duct; Design and dimensioning

EN 17192:2018. Ventilation for buildings - Ductwork - Non-metallic ductwork - Requirements and test methods

Legend: + Terminology, § Standard dimensions, \* Classification, † Method requirements/convention

ISO 7808:1992 - Plastics — Thermosetting moulding materials — Determination of transfer flow

NS 3451:2022 - Bygningsdelstabell og systemkodetabell for bygninger og tilhørende uteområder

NS 3720:2018 - Metode for klimagassberegninger for bygninger

NS-EN ISO 14020:2001 - Miljømerker og deklarasjoner - Generelle prinsipper

NS-EN ISO 14021:2016 - Miljømerker og deklarasjoner - Egendeclarerte miljøpåstander (Miljømerking type II)

NS-EN ISO 14024:2018 - Miljømerker og deklarasjoner - Miljømerking type I – Prinsipper og prosedyrer

NS-EN ISO 14025:2010 - Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III – Prinsipper og Prosedyrer

NS-EN ISO 14040:2006 - Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk

NS-EN ISO 14044:2006 - Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Krav og retningslinjer

NS-EN 13403:2003 - Ventilasjon i bygninger - Ikke-metalliske kanaler - Kanaler fremstilt av isolasjonsplater

NS-EN 15978:2011 - Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygningers miljøprestasjon - Beregningsmetode

NS-EN 15804:2012+A2:2019 - Bærekraftige byggverk - Miljødeklarasjoner – Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer

NS-ISO 21930:2017 Bærekraftige bygninger og anlegg - Grunnleggende produktkategoriregler for miljødeklarasjoner for byggevarer og tjenester