

Fremtidens bygningsmaterialer

—
Klaus Gjerde

Masteroppgave i Integrert Bygningsteknologi, mai 2019

MASTEROPPGAVE

for

Klaus Gjerde

(Studentnummer: 173038)

Vår 2019

Fremtidens bygningsmaterialer

(Building materials of the future)

Bakgrunn

Bygningssektoren står i dag for en betydelig andel av klimagassutslippene i samfunnet, blant annet gjennom høyt energiforbruk til produksjon av bygningselementer og drift av bygningen gjennom dens livsløp. I dag utgjør bygningers energiforbruk omtrent 40 % av Norges totale energiforbruk, og det er et betydelig potensial for energibesparelse. Fremtidige klimaendringer globalt og i arktiske områder vil kreve riktig valg av bærekraftige og energivennlige bygningsmaterialer, og stadig strengere forskriftskrav til bygningsmaterialer vil øke behovet for nye og gode innovative løsninger. Ved å gjennomføre byggeprosjekter med overordnet fokus på å redusere energiforbruk og CO₂-utslipp, ønsker BAE-næringen å bidra til å nå FN's klimautslippsmål. Omstillingen til et mer energivennlig samfunn er godt i gang, og økte investeringer i forskning har bidratt til at nye materialer som kan benyttes i bygg har blitt produsert. Den raske utviklingen av nye bygningsmaterialer har økt BAE-næringens behov for å få belyst mulighetene som finnes både i dag og i fremtiden.

Opgavens hovedformål er å kartlegge fremtidens bygningsmaterialer som kan brukes i det fremtidige lavutslippssamfunnet i arktisk klima.

Begrensning av oppgaven

Opgaven skal i hovedsak avgrenses til isolasjons- og konstruksjonsmaterialer. Gjenbruksmaterialer begrenses til materialer som benyttes i blokkene i Beisfjordsveien i dag. Ytterligere avgrensninger eller tilføyelser gjøres i samråd med hovedveileder, og skal fremkomme tydelig i rapporten.

Arbeidet skal omfatte (men ikke nødvendigvis avgrenses til):

1. Innledende arbeid/litteraturstudium med avgrensninger og definisjoner.
2. Generelt om klima og klimaendringer i nordområdene.
3. Redegjøre for hvilke bygningsmaterialer som brukes ved nybygg i dag, både etter passivhusstandarden og TEK17.
4. Kartlegge muligheten for gjenbruk av bygningsmaterialer for blokkene i Beisfjordveien.

5. Litteraturstudie av fremtidens bygningsmaterialer.
6. Case: Utgangspunkt i at blokkene i Beisfjordveien oppgraderes.
7. Det skal utarbeides en vitenskapelig artikkel basert på besvarelsen, maks 10 sider. (Artikkelen kan sees på som er kortversjon av hele besvarelsen).

Samarbeidspartner

Oppgaven gjennomføres i samarbeid med Ofoten Midt-Troms Boligbyggelag, i forbindelse med prosjektet Smart Arctic Buildings. Prosjektets mål er å utvikle løsninger for boligbyggelag slik at energibruken reduseres med fornybare og smarte tiltak.

Generelt

Senest 14 dager etter at oppgaveteksten er utlevert skal resultatene fra det innledende arbeid være ferdigstilt og levert i form av en forstudierapport. Forstudierapporten skal godkjennes av veileder før kandidaten har anledning til å fortsette på resten av hovedoppgaven. Det innledende arbeid skal være en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i hovedoppgaven og skal inneholde:

- Generell analyse av oppgavens problemstillinger.
- Definisjon i forhold til begrensninger og omfang av oppgaven.
- Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven med definisjoner av arbeidsoppgavenes innhold og omfang.
- En tidsplan for framdriften av prosjektet.

Sluttrapporten skal være vitenskapelig oppbygget med tanke på litteraturstudie, arbeidsmetodikk, kildehenvisninger etc. Alle beregninger og valgte løsninger må dokumenteres og argumenteres for. Besvarelsen redigeres som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse etc. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logisk argumentasjonsrekker. I tillegg til norsk tittel skal det være en engelsk tittel på oppgaven. Oppgaveteksten skal være en del av besvarelsen (plasseres foran Forord).

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften. Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med UiT ved veileder.

Besvarelsen leveres digitalt i WISEflow.

Utleveringsdato:	07.01.2019
Innleveringsfrist:	16.05.2019, kl 1200
Kontaktperson bedrift:	Bedrift: Ofoten Midt-Troms Boligbyggelag Navn: Sigurd Leiros Telefon: 416 19 024 E-post: sigurd.leiros@omtbbbl.no
Ekstern veileder:	Bedrift: Sweco Navn: Mikael Af Ekenstam Epost: mikael.af.ekenstam@sweco.no
Veileder UiT - IVT:	Universitetslektor: Erling Kristiansen Telefon: 76 96 64 72 E-post: erling.kristiansen@uit.no

UiT – Norges Arktiske Universitet
Institutt for bygg, energi og materialteknologi



Erling Kristiansen
Faglig ansvarlig/veileder

Forord

Denne masteroppgaven er en avsluttende del av utdanningen, og markerer slutten på det 2-årige masterstudiet. Oppgaven er utarbeidet ved studieprogram Integriert Bygningsteknologi, ved Institutt for bygg, energi og materialteknologi, fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi ved UiT Norges arktiske universitet i Narvik våren 2019. Masteroppgaven har en studiebelastning på 30 studiepoeng.

Oppgaven er utført i samarbeid med Ofoten Midt-Troms boligbyggelag, OMT BBL, i forbindelse med prosjekt Smart Arctic Buildings. Oppdragsgivers kontaktperson har vært Sigurd Leiros.

Arbeidet med oppgaven har som helhet blant annet gitt god innsikt om valg av bygningsmaterialer som er ønskelig å benytte ved boligbygging i det fremtidige arktiske lavutslippssamfunnet. Mange nyttige og gode erfaringer i forbindelse med oppgavens arbeid blir tatt med videre. Det rettes spesielt en stor takk til mine to veiledere, Erling Mikaelson ved UiT og Mikael Af Ekenstam ved Sweco.

Narvik, 16. mai 2019

Klaus Gjerde

Sammendrag

Bakgrunnen for oppgaven har vært å undersøke fremtidige bygningsmaterialer. Her er isolasjonsmaterialer og konstruksjonsmaterialer som betong, stål og massivtre gjennomgått. Det har i tillegg vært gjennomført et caseprosjekt hvor gjenbrukspotensialet for en bygning brukt i caseprosjektet har blitt vurdert. Videre ble livsløpsvurderinger for bygningen i caseprosjektet vurdert opp mot en tilsvarende referansebygning.

Isolasjonsmaterialene ble delt inn i tradisjonelle, høyverdige og mulige fremtidige isolasjonsmaterialer. Her kom det klart frem at høyverdige isolasjonsmaterialer blir utkonkurrert på samtlige punkter foruten om varmekonduktivitet. Spesielt knyttet til robusthet, kostnader og livsløpsvurderinger kom de tradisjonelle materialene best ut. For de mulige fremtidige isolasjonsmaterialene ble det påpekt at disse må søke å gjøre egenskapene til dagens høyverdige isolasjonsmaterialer enda bedre, slik at disse kan utkonkurrere de tradisjonelle isolasjonsmaterialene.

Av de høyverdige isolasjonsmaterialene er det spesielt vakuumisolasjonspaneler og aerogel-produkter som skiller seg positivt ut. For de mulige fremtidige isolasjonsmaterialene, kan nanoisolasjonsmaterialer være det beste man får benyttet i fremtiden. Likevel peker dynamiske isolasjonsmaterialer seg ut til å være det materialet som kan ha høyest potensial i fremtiden.

I caseprosjektet ble en eldre boligblokk brukt som utgangspunkt for å vurdere gjenbrukspotensialet for materialene som brukes i bygningen. Her kom det frem at, under visse forbehold, at betongen kan ombrukes og trevirket kan inngå i energigjenvinning.

For livsløpsvurderingene i caseprosjektet, ble det vurdert at eksisterende boligblokk har langt høyere klimagassutslipp enn det referansebygget hadde. Forskjellen var som forventet størst i fasen energibruk i drift, og var om lag 3,5 ganger høyere enn for referansebygget.

Abstract

The main purpose this thesis has been to investigate the building materials of the future. Insulation materials and construction materials such as concrete, steel and cross-laminated timber have been reviewed. In addition, a case project has been carried out where the recycling potential of a building used in the case project has been assessed. Furthermore, life cycle assessments for the building in the case project were assessed against a corresponding reference building.

Insulation materials were divided into traditional, high-quality and possible future insulation materials. It became clear that high-quality insulation materials are outperformed at all points besides heat conductivity. Particularly related to robustness, costs and life cycle assessments, the traditional materials came out best. For the possible future insulation materials, it was pointed out that these must seek to make the properties of today's high-quality insulation materials even better, so that they can outperform the traditional insulation materials.

Of the high-quality insulation materials, vacuum insulation panels and aerogel products in particular stand out. For the possible future insulation materials, nano-insulating materials can be the best one gets used in the future. Nevertheless, dynamic insulation materials appear to be the material that can have the highest potential in the future.

In the case project, an older apartment building was used to assess the recycling potential of the materials used in the building. Here it became clear that, under certain conditions, the concrete can be reused and the wood can be included in energy recovery.

For the life cycle assessments in the case project, it was considered that the existing housing block has far higher greenhouse gas emissions than the reference building. The difference was, as expected, greatest in the phase of energy use in operation, and was about 3.5 times higher than for the reference building.

Innhold

1 Innledning.....	11
1.1 Bakgrunn	11
1.2 Problemstilling.....	11
1.3 Avgrensninger.....	12
1.4 Oppbygging.....	12
2 Metode	13
2.1 Litteraturstudiet	13
2.2 Caseprosjekt	15
2.3 Feilkilder	15
3 Teori.....	16
3.1 Klimaendringer	16
3.1.1 Klimaendringer i fremtidens Norge.....	16
3.1.2 Klimaendringer og bygningsmassen i Norge	17
3.2 Produktdokumentasjon og miljømerking av bygningsmaterialer	18
3.2.1 Svanemerket.....	18
3.2.2 EU Ecolabel	19
3.2.3 PEFC.....	19
3.2.4 FSC	19
3.2.5 NAAF	19
3.2.6 Miljødeklarasjon - EPD	19
3.3 Livsløpsvurderinger (LCA).....	20
3.6.1 NS 3720 – Metode for klimagassberegning for bygninger	21
3.4 Energieffektive bygninger	23
3.4.1 Miljøsertifiseringsverktøyet BREEAM.....	23
3.4.2 Passivhus og lavenergibygninger.....	23
3.4.3 Aktivhus, plusshus og nullenergibygninger	23
3.5 Gjenbruk av bygningsmaterialer	24
3.4.2 Ombruk i Norge	24
4 Bygningsmaterialer.....	26
4.1 Materialeegenskaper	27
4.1.1 Termiske egenskaper.....	27
4.1.2 Brannmotstand.....	29

4.1.3 Andre egenskaper	30
4.2 Tradisjonelle isolasjonsmaterialer.....	31
4.2.1 Mineralull	31
4.2.2 EPS.....	31
4.2.3 XPS.....	31
4.2.4 Celluloseisolasjon	32
4.2.5 Trefiberisolasjon.....	32
4.2.6 Skumglass	32
4.2.7 Andre isolasjonsmaterialer.....	32
4.3 Høyverdige isolasjonsmaterialer	33
4.3.1 Vakuumisolasjonspanel	33
4.3.2 Gassfylte paneler	35
4.3.3 Aerogel	35
4.3.4 Faseendrematerialer	38
4.4 Mulige fremtidige isolasjonsmaterialer	39
4.4.1 Vakuumisolasjonsmaterial	39
4.4.3 Gassisolasjonsmaterial	40
4.4.4 Nanoisolasjonsmaterial	40
4.4.5 Dynamiske isolasjonsmateriale	41
4.5 Strukturelle materialer	41
4.5.1 Betong	41
4.5.2 Stål.....	42
4.5.3 Massivtre	42
4.6 Teknologimodenhet	43
4.6.1 Teknologimodenhet for mulige fremtidige isolasjonsmaterialer.....	44
4.7 Livssyklusberegninger for isolasjonsmaterialer	44
4.8 Oppsummering.....	45
5 Caseprosjekt – boligblokkene i Beisfjordveien 88-90.....	49
5.1 Gjenbrukspotensialet	50
5.1.1 Byggets tilstand og materialer.....	50
5.1.2 Betong	52
5.1.3 Trevirke.....	53
5.1.4 Glass	54

5.1.5 Metall	54
5.1.6 Farlig avfall.....	55
5.2 Resultater fra simulering av klimagassutslipp.....	56
5.2.1 Dagens situasjon.....	56
5.2.2 Referansebygg i massivtre.....	60
5.2.3 Oppsummering.....	63
6 Diskusjon	64
7 Konklusjon	65
8 Forslag til videre arbeid.....	65
9 Annerkjennelser	66
Vedleggsliste.....	66
Referanseliste.....	67
Figur 1 Livsløpsfaser og systemgrenser (SINTEF, 2015a)	22
Figur 2 Oppbygging av VIP til venstre og sammenligning av VIP og tradisjonell isolasjon med samme U-verdi til høyre (Grynning et al., 2009).....	33
Figur 3 Aerogel glassplater i enebolig på Holmenkollen, Oslo (Huseierne, 2013)	37
Figur 4 Prinsippforskjell VIP og VIM	39
Figur 5 Prinsippforskjell VIP og NIM (Jelle et al., 2010).....	40
Figur 6 Beisfjordveien 88-90.....	49
Figur 7 Prosentvis fordeling av klimagassutslipp	57
Figur 8 Materialklimagasser per livssykluskategori.....	58
Figur 9 Mest medvirkende bygningselementer	58
Figur 10 Medvirkende materialer.....	58
Figur 11 Prosentvis fordeling av klimagassutslipp	61
Figur 12 Materialklimagasser per livssykluskategori.....	61
Figur 13 Mest medvirkende bygningselement.....	61
Figur 14 Mest medvirkende materialer.....	62
Tabell 1 Søkord og database for litteraturstudiet	13
Tabell 2 Brannmotstand definisjonskriterier (SINTEF, 2017)	29
Tabell 3 Euroklasser og beskrivelser (SINTEF, 2017; SINTEF, 2004)	29
Tabell 4 Ønskelige egenskaper i et fremtidig isolasjonsmateriale (Jelle, 2011).....	45

Tabell 5 Oppsummering isolasjonsmaterialer (Jelle, 2011)	47
Tabell 6 Bygningsmaterialer i Beisfjordveien 88-90	50
Tabell 7 Livsløpsvurdering for dagens situasjon	57
Tabell 8 Livsløpsvurdering for referansebygg i massivtre	60

Forkortelser og forklaringer

LCA	Life-cycle assessment, livsløpsvurdering
EPD	Environmental product declaration, miljødeklarasjon
EPS	Ekspandert polystyren
XPS	Ekstrudert polystyren
GFP	Gas-filled panels, gassfyltpanel
GFM	Gas-filled material, gassfyltmateriell
VIP	Vacuum insulation panel, vakuumisolasjonspanel
VIM	Vacuum insulation material, vakuumisolasjonsmateriell
PCM	Phase-change material, faseendremateriale
DIM	Dynamic insulation material, dynamiskisolasjonsmateriale
NIM	Nano insulation material, nanoisolasjonsmateriale
PUR	Polyuretan
PIR	Polyisocyanurat
CLT	cross-laminated timber, krysslaminerte treprodukter
TEK	Teknisk forskrift
BREEAM	Building research establishment environment assessment method, miljøsertifiseringsverktøy for bygninger
HSNS	Hollow silica nanospheres, hule silika nanosfærer
One Click LCA	Programvare for livssyklusberegninger
PEFC	Programme for the endorsement of forest certification, skogstandard for bærekraftig skogforvaltning

FSC	Forest stewardship council
NAAF	Norges astma- og allergiforbund
HMS	Helse, miljø og sikkerhet
GWP	Global warming potential, globalt oppvarmingspotensial
PCB	Polyklorerte bifenyler
RCP	Representative concentration pathways, utviklingsbane

1 Innledning

Både bygningsindustrien og dagens bygningsmasse er to energikrevende sektorer, med betydelige klimagassutslipp. Produksjon, transportering, montering og avhending er sammen med energibruk i drift store bidragsytere til klimagassutslippene. I Europa er rundt 40% av det totale energiforbruket og rundt 25% av klimagassutslippene fra bygningssektoren (Lolli og Andresen, 2016). For mange mennesker er dette uakseptabelt. For å oppnå blant annet FNs bærekraftsmål, har flere land innført skjerpede krav til blant annet både energibruk og bygningsmaterialer. Fremgang på ulike forskningsområder har bidratt til utvikling av både nye bygningsmaterialer, og økt kunnskapsdeling om hvordan eldre bygningsmaterialer kan gjenbrukes.

Energieffektivisering av bygninger er et viktig tiltak for å redusere klimagassutslipp. Dette krever blant annet høyere forbruk av materialer og spesielt mer bruk av isolasjonsmaterialer. Den økte bruken av isolasjonsmaterialer reduserer blant annet energibruk til boligoppvarming, men for å redusere den totale belastningen på klimaet fra en bygning, er det dermed viktig å velge riktige materialer (Schlanbusch et al., 2014).

1.1 Bakgrunn

Både bygningsindustrien og dagens bygningsmasse er to energikrevende sektorer, med betydelige klimagassutslipp. Produksjon, transportering, montering og avhending er sammen med energibruk i drift store bidragsytere til klimagassutslippene. I Europa er rundt 40% av det totale energiforbruket og rundt 25% av klimagassutslippene fra bygningssektoren (Lolli og Andresen, 2016). For mange mennesker er dette uakseptabelt, og heldigvis er også potensiale for å kutte utslippene i bygningssektoren gode. For å oppnå blant annet FNs bærekraftsmål, har flere land innført skjerpede krav til blant annet både energibruk og bygningsmaterialer. Fremgang på ulike forskningsområder har bidratt til utvikling av både nye bygningsmaterialer, og økt kunnskapsdeling om hvordan eldre bygningsmaterialer kan gjenbrukes.

Energieffektivisering av bygninger er et viktig tiltak for å redusere klimagassutslipp. Dette krever blant annet høyere forbruk av materialer og spesielt mer bruk av isolasjonsmaterialer. Den økte bruken av isolasjonsmaterialer reduserer blant annet energibruk til boligoppvarming, men for å redusere den totale belastningen på klimaet fra en bygning, er det dermed viktig å velge riktige materialer (Schlanbusch et al., 2014).

1.2 Problemstilling

Denne masteroppgaven har en noe to-delt problemstilling. Med denne masteroppgaven ønskes det hovedsakelig å kartlegge bygningsmaterialer som kan brukes i fremtiden. Dette er blitt gjort ved å blant annet undersøke:

- Klimaendringenes påvirkning av bygningsmassen
- Miljødeklarasjoner og livsløpsvurderinger
- Gjenbruk av bygningsmaterialer
- Tradisjonelle, høyverdige og fremtidige isolasjonsmaterialer samt stål, betong og massivtre

Det er i tillegg sett nærmere på et caseprosjekt der man går i dybde om mulighetene for gjenbruk av bygningsmaterialer av en bygning. Videre i caseprosjektet er det sett nærmere på livsløpsvurderinger for den samme bygningen.

1.3 Avgrensninger

Oppgavens begrensede tidsomfang har gjort begrensninger til en nødvendighet. Forutsetninger og avgrensningene som er satt i denne oppgaven er listet opp under.

Som det fremgår av oppgavebeskrivelsen, skal oppgaven i hovedsak avgrenses til isolasjons- og konstruksjonsmaterialer. Konstruksjonsmaterialene er videre avgrenset betong, stål og massivtre. Gjenbruksmaterialer er avgrenset til å kun vurdere materialer som inngår i bygningene som er benyttet som utgangspunkt i caseprosjektet.

Punkt 7 i oppgavebeskrivelsen, under hva arbeidet skal omfatte, og som omhandler utarbeiding av en 10 siders vitenskapelig artikkel, utgår i sin helhet. Dette gjøres etter avtale med hovedveileder ved UiT. Oppgavens oppdragsgiver, OMT BBL, ved kontaktperson har godtatt endringen.

1.4 Oppbygging

Oppgavens oppbygging tre hoveddeler. Det gis først relevant teori. Deretter er det gjennomført en litteraturstudie av bygningsmaterialer, før muligheten for gjenbruk av bygningsmaterialer og livsløpsvurderinger av boligblokken presenteres i caseprosjektet.

Kapittel 1: Innledning

Kapittel 2: Metode

Kapittel 3: Teori om blant annet klimaendringer, livsløpsvurderinger, produktdokumentasjon og gjenbruk.

Kapittel 4: Litteraturstudie om bygningsmaterialer: isolasjonsmaterialer, betong, stål og massivtre.

Kapittel 5: Systematisk gjennomgang av bygningsmaterialene i bygningen som er brukt i caseprosjektet, og en vurdering av gjenbrukspotensialet av disse. Deretter følger en livsløpsvurdering for en tilsvarende bygning.

Kapittel 6: Diskusjon

Kapittel 7: Konklusjon

2 Metode

Dette kapitlet skal ta for seg vitenskapelige metoder og fremgangsmåter som er brukt i arbeidet med oppgaven.

2.1 Litteraturstudiet

Målet med litteraturstudiet presentert i kapittel 4, var å finne artikler som omhandler utvalgte bygningsmaterialer. Videre var målet å avdekke informasjon om eksperimentelle eller teoretiske forsøk der bygningsmaterialene er nærmere undersøkt, for å avdekke informasjon om bygningsmaterialene. De relevante artiklene ble plukket ut, og referanselistene ble gjennomgått på utkikk etter flere artikler for videre søk. Disse ble hovedsakelig funnet ved bruk av Oria. Oria er UiTs universitetsbibliotek katalog og sammensatt av flere databaser. Søkene ble gjennomført i perioden januar 2019 til april 2019. Artikler ble utvalgt på bakgrunn av tittel og nøkkelord. Videre ble abstrakt gjennomgått i disse, og de mest relevante ble gjennomgått i dybde og presentert i oppgaven.

En ti-trinns prosedyre for litteratursøk av O'Brien og McGuckin (2016) ble gjennomført, som kort oppsummert består av:

- 1) Definerer av søkeord
- 2) Bestemmelse av synonymer for søkeordene
- 3) Kontrollere for ortografi og bruk av passende forkortninger
- 4) Identifisere relevante databaser
- 5) Utføre testsøk
- 6) Bestemme om det skal utføres et vidt eller smalt søk for utvalgte nøkkel ord
- 7) Påse at alle ord er stavet riktige
- 8) Kombinere og kategorisere søkeordene på en logisk måte
- 9) Utføre testsøk igjen
- 10) Tilpasse syntaksen til søket etter de spesifikke databasene

Prosedyren resulterte i mange treff som ble gjennomgått for å finne de mest aktuelle og relevante vitenskapelige artiklene.

Tabellen under inneholder en oversikt over kombinasjoner av søkeord brukt i de ulike databasene.

Tabell 1 Søkeord og database for litteraturstudiet

Søkeord	Database
Building materials of the future	Oria
Building materials for building application	Oria
Construction materials building application review	Oria
State of the art building materials review	Oria
Insulation materials for building application	Oria

Thermal insulation materials building application review	Oria
Traditional insulation materials building application	Oria
Vacuum insulation panels	Oria
Vacuum insulation panels building application	Oria
Gas-filled panels building application	Oria
Aerogel building application	Oria
Aerogel insulation building application review	Oria
Phase-change material thermal storage	Oria
Phase-change material building application	Oria
Vacuum insulation material	Oria
Gas-filled material	Oria
Nano insulation material	Oria
Nano insulation material building application	Oria
Nano insulation material hollow silica nanospheres	Oria
Hollow silica nanospheres	Oria
Dynamic insulation material building application	Oria
Cross-laminated timber building	Oria
CLT building application experimental	Oria
Concrete material for building application	Oria
Concrete production environmental	Oria
Steel construction material	Oria
Steel experimental building application	Oria
Construction material future building application	Oria

2.2 Caseprosjekt

I caseprosjektet ble en rekke dokumenter brukt som veiledning, for å kunne bedømme gjenbrukspotensialet til et bygningsmateriale i blokken. Informasjon om bygningsmaterialene for bygningen i caseprosjektet er hentet fra oppdragsgivers tilstandsanalyse, samt egen befaringsav bygning. Dette er nærmere beskrevet i kapittelet.

Programvaren One Click LCA ble benyttet for å gjennomføre livsløpsvurderinger i caseprosjektet. Programvaren ble valgt etter anbefalinger fra veileder.

2.3 Feilkilder

I litteraturstudiet kan feilkilder ha sammenheng med søket og søkeord. Det hovedsakelig benyttet en søkemotor, men denne henter data fra flere databaser. Det finnes ingen garanti for at de beste søkeordene er brukt og at de beste kildene er funnet, og blant annet tidspres kombinert med store mengder litteratur har kunne bidratt til at gode kilder ikke har blitt fullt utnyttet.

I caseprosjektet er bruken av programvaren gjort etter innføring av veileder, i tillegg har videoer fra hjemmesiden til programvaren blitt benyttet for å gi en mer utfyllende innføring i programvaren. Opplæringen i programvaren kan ha vært mangelfull, og dette kan ha bidratt til feilaktig fremstilling av løsninger, funksjoner, beskrivelser og fremgangsmåter. For bygningsmaterialene og gjenbrukspotensialet kan ufullstendige veiledningsdokumenter og misforståelser ha bidratt til feil vurdering.

3 Teori

I kapittelet inngår informasjon om klimaendringer i fremtiden og hvordan dette påvirker dagens bygningsmasse, og hvilke utfordringer dette gir for bygningsmaterialer man benytter fremtiden. Teori om produktdokumentasjon, livsløpsvurderinger og gjenbruk av bygningsmaterialer gjennomgås.

3.1 Klimaendringer

For å forstå begrepet klimaendringer, er det først nødvendig å skille begrepene klima og vær fra hverandre. Vær er det som oppleves blant annet fra time til time og fra dag til dag, mens en med ordet klima mener gjennomsnittsværet over en lengre periode (Sjøgren-Erichsen, 2015). Været kan forutsees noen dager i forkant. Å forutsi klimaet er mer komplisert, og klimastudier har fått stadig større oppmerksomhet. Kjøppens klimaklassifisering fra 1900-tallet delte verden inn i fem ulike klimasoner: tropisk, tørt, temperert, kontinentalt og polart klima. Hver klimasone forklares med ulike beskrivelser og kjennetegn for de forskjellige klimasonene. Klimaendringer kan derfor best forklares med at klimaforholdene i de ulike klimasonene forandrer seg, for eksempel ved at temperaturen øker eller faller.

Gjennom drivhuseffekten, som er et naturlig fenomen som gjør at termisk varme fra jorda blir absorbert av atmosfæren blir jorden varmet opp ved at varmeenergien blir hindret fra å slippe ut av jordens atmosfære. Atmosfæren består av ulike gasser, som blant annet oksygen (O₂), nitrogen (N₂), vanndamp (H₂O), karbondioksid (CO₂) og metan (CH₄). Den menneskelige påvirkningen gjennom økt utslipp av gasser, har av klimaforskere blitt påpekt å ha en påvirkning og bidratt til å forsterke drivhuseffekten (Sjøgren-Erichsen, 2015).

3.1.1 Klimaendringer i fremtidens Norge

På oppdrag fra Miljødirektoratet er det utarbeidet en rapport med tittelen Klima i Norge 2100. Rapporten beskriver beregnet klimautvikling gjennom det 21ste århundre under ulike og forskjellige antagelser om fremtidig utslipp av klimagasser. Spesifikt er utslippsscenarioene fra RCP2.6 til RCP8.5 benyttet, der RCP er forkortelsen for «representative concentration pathways», eller utviklingsbaner. Her representerer RCP2.6 stabile klimagassutslipp de første årene, og en kraftig reduksjon fra 2020. RCP4.5 representerer stabile og svakt økende utslipp til 2040, og deretter reduserte utslipp. RCP8.5 representerer en kontinuerlig vekst i klimagassutslippene.

I rapporten fremkommer det blant annet (Miljødirektoratet, 2015):

- Årstemperaturen vil økes med +2,7 °C og +4,5 °C for hhv. RCP4.5 og RCP8.5.
 - o De største endringene vil være i de nordlige deler av Norge, hovedsakelig Varanger og Finnmarksvidda
- Fyringsgraddager, definert som summen av gjennomsnittlig temperaturdifferanse mellom inne- og uteluft for hver enkelt dag i fyringssesongen, reduseres med rundt 900-1200 graddager i Nordland, 1200-1500 graddager i Troms og vest-Finnmark og 1500-1800 graddager på Finnmarksvidda ved RCP4.5.
- Årsnedbør økes med ca. 18%, og perioder med styrtregn vil være kraftigere og forekomme hyppigere. Regnflommene blir større og vil komme oftere.
- Havnivået økes med mellom 15 og 55 cm avhengig av lokalitet.
- Permafrostgrensen forventes å stige med mellom 200-300 høydemeter de neste 100 årene.

Spesielt for å beskrive hvordan klimaendringene vil påvirke Svalbard, blir rapporten Klima på Svalbard 2100, for å beskrive klimaet på Svalbard i perioden frem til 2100.

Hovedfunnene fra rapporten omfatter blant annet (Miljødirektoratet, 2019):

- En økning av årstemperaturen på mellom 7 °C og 10 °C ved hhv. RCP4.5 og RCP8.5.
- Årsnedbør vil øke med ca. 45% og 65% ved hhv. RCP4.5 og RCP8.5.
- Vannføring i elvene på Svalbard vil øke
- Erosjon og sedimenttransport vil øke
- Permafrosten varmes opp, og i kyst- og lavereliggende områder vil de øverste meterne av permafrosten tine.

3.1.2 Klimaendringer og bygningsmassen i Norge

Endringer i klimaet vil også kunne påvirke bygningsmassen. Informasjon om råteskader, årsmiddeltemperatur, graddagstall, sesongnedbør, snølast, slagregn, frostskader og -mengder, flom og havnivåstigning vil kunne si noe om konsekvensen klimaendringene vil ha for bygningsmassen. I rapporten Klima- og sårbarhetsanalyse for bygninger i Norge er disse parameterne undersøkt nærmere for et gitt utslippsscenario for periode 2071-2100.

Noen av funnene listes opp under (SINTEF, 2010):

Råterisiko: I dag ligger omtrent 615 000 bygninger i Norge i råterisikoklasse høy, og i år 2100 kan 2,4 millioner av dagens bygninger ligge i denne råterisikoklassen.

Årsmiddeltemperatur: Økende årsmiddeltemperatur betyr en reduksjon i graddagstall for de fleste bygninger. Dette vil medføre lavere energibehov til romoppvarming.

Snølast: Mengden våt vinternedbør vil øke, og vil gi økt risiko for bygninger som ligger i områder for det er snø om vinteren. Omtrent 600 000 bygninger er i risikozonen.

Nedbør: Nedbørmengden vil kunne øke for alle fire årstider, og fuktsikker byggeprosess og tildekking i byggefasen vil kunne bli enda viktigere i fremtiden. I noen landsdeler og områder vil det kunne bli større slagregnbetlastning på bygninger.

Frost: Omtrent 30 000 bygninger i Finnmark vil kunne bli mer utsatt for frostskader i fremtiden, men i resten av landet vil det bli lavere risiko for frostskader. Omtrent 900 000 bygninger over hele landet vil kunne få spesielt stor nedgang i frostmengde, dette vil kunne redusere behov for frostisolering av fundamenter og gi lavere varmetap. Permafrosten kan forsvinne, og omtrent 6700 bygninger er i denne risikozonen. På Svalbard vil permafrosten også svekkes, og det antas at rundt 1000 bygninger ligger i risikozonen.

Havnivåstigning: Alle bygninger som ligger under 1 meter fra dagens havnivå vil være i risikozonen for fremtidige klimaendringer. Her kan konsekvensene være store.

3.2 Produktdokumentasjon og miljømerking av bygningsmaterialer

Byggteknisk forskrift, TEK17, krever at de produkttegenskapene som er av betydning for de grunnleggende kravene til byggverk skal være dokumentert før produktet omsettes og brukes. I tillegg krever TEK at produkter som bygges inn i byggverk har dokumentasjon på de egenskapene som er nødvendig for at det ferdige byggverket tilfredsstillere kravene i TEK.

Forskrift om dokumentasjon av byggevarer, DOK, stiller krav til hvilke egenskaper som skal deklarerer for at et produkt skal kunne omsettes. DOK stiller krav og gir regler for produkter som kan CE-merkes og krav til dokumentasjon for øvrige produkter. Denne dokumentasjon er oftest ikke tilstrekkelig for å kunne vurdere om produktet kan brukes i et byggverk (SINTEF, 2014).

Teknisk godkjenning fra SINTEF Byggforsk dokumenterer egnethet for bruk i byggverk i henhold til TEK. I SINTEF Teknisk godkjenning inngår det også en vurdering av miljøegenskapene. Det vil si at en SINTEF Teknisk godkjenning vurderer både den byggtekniske delen, men også en grundig vurdering av helse- og miljøegenskaper for produktet som skal godkjennes. Det betyr at produkter som inneholder miljøgifter som skal utfases ikke vil få en teknisk godkjenning fra SINTEF. I tillegg settes krav til at produkter som eksponeres mot inneluft skal være lavemitterende, og produkter må ikke avgi helse- og miljøskadelige stoffer til vann og jord (SINTEF, 2014; SINTEF, 2016).

Miljøfokus og miljøbevissthet i bygge- og anleggsnæringen har gitt større etterspørsel etter dokumentasjon av produkters miljøegenskaper. Spesielt informasjon om klimagassutslipp fra fremstillingen av materialer har fått økt interesse. Men bevisste forbrukere ønsker også å velge det miljømessig beste produktet på markedet, med tanke på både inneklima og bærekraftig ressursbruk.

Noen av de ordningene som er av interesse, er presentert under.

3.2.1 Svanemerket

Det offisielle miljømerket i Norden, er svanemerket. Formålet med merket er å fremme bærekraftig bruk av ressurser, gjenvinning og ombruk og en reduksjon av avfallsmengder i alle deler av svanemerkede produkter og tjenesters livssyklus. De fastsatte kravene vurderer hele livssyklusen til produktene, det vil si fra råvarer til produksjon, bruk avhending og resirkulering. Svanemerket skal bidra til å oppnå mål nummer 12 i FNs bærekraftsmål, nemlig sikre bærekraftige forbruks- og produksjonsmønstre (Svanemerket, 2019).

For småhus, leilighetsbygg og bygninger for barnehage og skoler kan man få svanemerket bygningen. Merkede bygninger kjennetegnes ved at det blir tatt hensyn til miljøet under hele byggeprosessen, fra råvare til ferdig hus. Videre kjennetegnes bygningene blant annet ved at de er godt isolerte, har lavt energibehov og miljødokumenterte materialer for bedre inneklima (Svanemerket, 2017).

Bygningsplate definert som produktgruppen som omfatter platematerialer til innvendig bekledding av innertak, vegger og undergulv og til utvendig vindtetting av vegg og undertak, er det i Svanemerkede bygningsplater stilt krav til bruk av sertifisert treåvare eller gjenvunnet materialer, samt redusert bruk av miljø- og helseskadelige stoffer, god holdbarhet og gjenvinnbarhet. Per mars 2019 er 27 707 produkter svanemerket, hvorav 3850 produkter inngår i kategorien Bygg og bolig og 126 produkter inngår under bygningsmaterialer (Svanemerket, 2019).

3.2.2 EU Ecolabel

EU Ecolabel, også kalt for blomsten, er EUs miljømerke og ble opprettet av EU-kommisjonen i 1992. For Norge, så inngår merkeordningen som en del av EØS-avtalen, og EU Ecolabel fungerer hovedsakelig på samme måte som Svanemerket, det vil si at produsentene må dokumentere at produktet tilfredsstillende en rekke strenge helse- og miljøkrav (Ecolabel, 2019).

Per september 2018 er 72 227 produkter merket (Ecolabel, 2018).

3.2.3 PEFC

PEFC, programme for the endorsement of forest certification, er en internasjonal non-profit paraplyorganisasjon. Medlemmene er både nasjonale land og internasjonale aktører. Organisasjonen har en visjon om å bidra til en bærekraftig verden gjennom sertifisering av skog, ved å fremme en internasjonal standard som er tilpasset lokale og nasjonale forhold for en bærekraftig forvaltning av skog. PEFC Norge er ansvarlige for å administrere sertifiseringsordningen og påse at de oppfyller godkjennelseskravene til PEFC Internasjonalt. De utvikler og går i gjennom utformingen av sertifiseringsordningen for å forbedre denne, følger opp og informerer sertifiserte bedrifter for å sikre felles forståelse og praktisering av kravene. De fremmer Norsk PEFC Skogstandard som nasjonal standard for bærekraftig skogforvaltning i Norge (PEFC, 2019).

PEFC oppgir på sine hjemmesider at det globalt er et sertifisert skogareal på 3 130 millioner da. I tillegg er det over 750 000 sertifiserte skogeier, og rundt 20 000 sertifiserte bedrifter (PEFC, 2019).

3.2.4 FSC

FSC, forest stewardship council, er en global organisasjon som setter standarder for hva som er en ansvarlig forvaltet skog, både miljømessig og sosialt. FSC-merket er dermed et råvaremerke og omfatter både biologisk mangfold, bærekraft og sosiale aspekter. Når tømmer forlater en FSC-sertifisert skog, så skal selskapene i forsyningskjeden oppfylle organisasjonens standarder for beste praksis. På denne måten skal man sikre at skogen er bærekraftig (FSC, 2019).

3.2.5 NAAF

NAAF, Norges astma- og allergiforbunds er en interesseorganisasjon som jobber for å bremse utviklingen av astma, allergi og overfølsomhetssykdommer samt sikre at de som har sykdommene skal kunne leve best mulig med dem. NAAF-merkeordning merker produkter som gir minimal risiko for helsemessige plager. Kriteriene er spesielt tilpasset for å unngå helseplager for personer med astma, allergier og andre overfølsomhetsreaksjoner. NAAF-merket er i en overgangsfase for å etablere en felles merkeordning for de nordiske landene, der Norge, Sverige og Danmark skal slå sammen sine ordninger i en felles ordning kalt Asthma allergy Nordic. Det er kun rundt 150 produkter som har klart å få NAAFs anbefaling (NAAF, 2018; Forbrukerrådet, 2019).

3.2.6 Miljødeklarasjon - EPD

Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner, EPD-Norge, ivaretar Norges EPD-ordning og er programoperatør for miljødeklarasjoner i Norge. EPD er en forkortelse for environmental product declaration, eller på norsk miljødeklarasjon. I stiftelsen deltar myndigheter, forskningsmiljøer og

offentlige og private virksomheter. EPD-Norge er medlem av ECO Platform, som har til formål å harmonisere utviklingen av bruken av NS-EN 15804 i EPDer for byggevarer (SINTEF, 2014a).

Ved utarbeiding av en miljødeklarasjon er det krav til uavhengig verifisering. Hensikten med verifiseringen er å bekrefte at miljødeklarasjonen er utarbeidet i henhold til produktkategorireglene for produktet og standardene. Miljødeklarasjonen kan utarbeides enten internt eller eksternt. Ved intern utarbeiding av miljødeklarasjonen gjøres det normalt hos produsenten selv, men miljødeklarasjonen må bli verifisert eksternt. Ved ekstern utarbeiding av miljødeklarasjonen kan aktører som SINTEF Byggforsk påta seg oppgaven med å utarbeide og verifisere miljødeklarasjonen, før den blir videresendt til EPD-Norge for endelig godkjenning (SINTEF, 2014a).

Miljødeklarasjoner skal dokumentere miljøegenskapene til et produkt, som gjør det mulig å sammenligne to produkter i samme produktkategori og som er utarbeidet etter samme produktkategoriregler. Hensikten med produktkategorireglene er å sikre at miljødeklarasjoner bearbeides likt, uavhengig av organisasjon som påtar seg oppgaven, og for å gjøre det mulig å sammenligne miljødeklarasjoner innenfor en produktkategori. Miljødeklarasjoner utarbeides etter internasjonale standarder for livsløpsvurdering, og den europeiske standarden NS-EN 15804 angir de viktigste metodiske reglene for miljødeklarasjon av byggevarer. For en byggevare må miljødeklarasjonen i utgangspunktet vise produktsystemets ressurs- og miljøbelastning gjennom hele livsløpet (SINTEF, 2014a).

3.3 Livsløpsvurderinger (LCA)

Livsløpsvurdering bedømmer potensielle miljøpåvirkninger gjennom et produkt eller en bygnings livsløp, fra utvinning av råvarer via produksjon til avhending. Metoden har fire faser (SINTEF, 2014b):

- Fastsetting av hensikt og omfang
- Livsløpsregnskapsfasen: sette opp et regnskap for ressurser som benyttes til framstilling og tilhørende utslipp for et produkts livsløp
- Livsløpseffektvurderingsfasen: evaluere de potensielle miljøpåvirkningene, for eksempel bidrag til global oppvarming, som følge av ressursbruk og utslipp
- Tolkningsfasen: tolke regnskapet og de potensielle miljøpåvirkningene, samt rapportere resultatene

Det finnes to hovedtyper av LCA: Regnskaps-LCA og konsekvens-LCA. Regnskaps-LCA vil si modellering av den aktuelle eller forventede spesifikke eller gjennomsnittlige verdikjede for et produkt eller system og dens scenarioer for brukstid og endt levetid som er forankret i en statisk teknosfære. Konsekvens-LCA vil si modellering av den generiske verdikjeden for et produkt eller system og konsekvenser av dets interaksjon med markedet og endringer i etterspørsel som oppstår i en dynamisk teknosfære.

Den norske standarden for klimagassberegninger, NS 3720, benytter regnskaps-LCA.

3.6.1 NS 3720 – Metode for klimagassberegning for bygninger

Klimagassutslippene for en bygning har opprinnelse fra ulike aktiviteter i bygnings levetid. Helhetlig beregning av enkeltbygningers klimagassutslipp gjennom bygningens livsløp gir mulighet til å identifisere tiltak for å redusere klimagassutslippene i både et kort og langt tidsperspektiv.

NS 3720 (Norsk Standard, 2018) angir en beregningsmetode for klimagassutslipp som kan benyttes til en bygning gjennom dens livsløp, det vil si produkter, varer og tjenester relatert til bygging samt drift, bruk og avhending av bygningen. Standarden bygger på NS-EN 15978 Bærekraftige byggverk – Vurderinger av bygningers miljøpresentasjon – Beregningsmetode, men er begrenset til beregning av utslipp av klimagasser.

Standarden definerer krav til metode for beregning av klimagassutslipp fra hele bygningens livsløp, fra vugge til grav, og kan benyttes til beregning av klimagassutslipp knyttet til livsløpet til en hel bygning eller deler av en bygning samt til deler av livsløpet til en bygning eller bygningsdel.

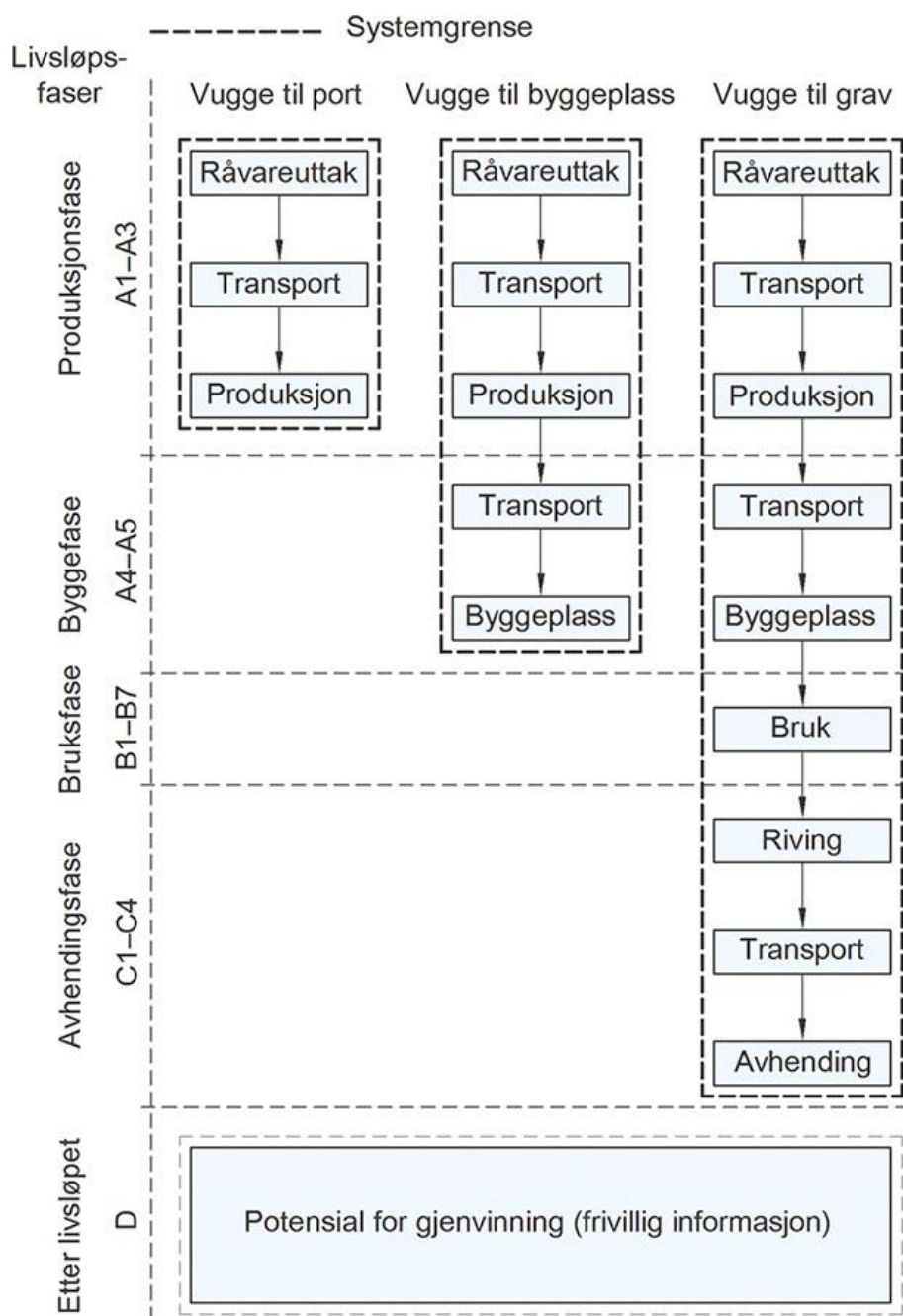
Standarden deler byggeprosessen inn i flere faser:

- Innledende fase: ide-, konsept- og skissefase
- -Detaljeringsfasen: forprosjekt- og detaljprosjekteringsfasen
- Byggefasen
- Driftsfasen
- Livsløpets sluttstadium, avhendingsfasen

Beregningsmetoder er angitt under punktene:

- Bearbeiding av tomt: deler av informasjonsmodul A5 og B1
- Byggeplass: deler av informasjonsmodul A4-A5 og modul D
- Materialer: deler av informasjonsmodul A1-B5 og C1-C4 og modul D
- Energibruk i driftsfase: informasjonsmodul B6 samt modul D
- Transport i driftsfase: informasjonsmodul B8
- Riving og avhending av bygning: informasjonsmodul C1-C4 samt modul D
- Helhetlig klimagassberegning: informasjonsmodul A1-C4 samt modul D

Systemgrensene fordeler seg som vist i Figur 1 under.



Figur 1 Livsløpsfaser og systemgrenser (SINTEF, 2015a)

I standarden skilles det mellom to nivåer av datakvalitet, nivå 1 og nivå 2.

Nivå 1 menes det spesifikke data som er beregnet eller målt for et konkret produkt eller en konkret tjeneste, og datagrunnlaget reflekterer det reelle produktet eller den reelle tjenesten innenfor et gitt tidsrom, og for å oppfylle datakvalitet på nivå 1 i EPD skal datasettet være en gyldig tredjeparts verifisert miljødeklarasjon.

Nivå 2 menes det alle LCA-data som ikke tilfredsstillt kravet til datakvalitet på nivå 1. Det vil si at nivå 2 omfatter generisk data, gjennomsnittsdata og representativ data som for eksempel er beregnet med utgangspunkt i typisk data for en produksjonsprosess i et gitt tidsrom og geografisk område. Bransje-EPD som representerer alle eller en gruppe av produsenter av en produkttype, regnes som datakvalitet

på nivå 2. Datakvalitet på nivå 2 kan anvendes i de innledende faser, detaljeringsfasen i tillegg til de andre fasene der det ikke finnes datakvalitet på nivå 1. I de resterende fasen skal det anvendes datakvalitet på nivå 1 for alle produkter der det er tilgjengelig.

3.4 Energieffektive bygninger

3.4.1 Miljøsertifiseringsverktøyet BREEAM

BREEAM (Building Research Establishment Environment Assessment Method) er verdens eldste og Europas ledende miljøsertifiseringsverktøy for bygninger. Den norske tilpasningen av BREEAM går under benevnelsen BREEAM-NOR, og er utviklet av Grønn Byggalliansen i samarbeid med bygg- og eiendomsnæringen i Norge. Formålet er å motivere til bærekraftig design og bygging gjennom hele byggeprosjektet, fra tidlig fase til overlevert bygg (Byggalliansen, 2019).

Bygningens miljøpresentasjon bedømmes ut fra et antall ulike miljøområder. Det finnes minstekrav for å oppnå poeng innenfor blant annet prosjektledelse, energibehov, inneklima, beliggenhet i forhold til offentlig kommunikasjon, valg av materialer og avfallshåndtering. For hvert område regnes det så ut hvor stor del av de totale poengene prosjektet har nådd, og totalsummen danner grunnlag for oppnådd klassifiseringsnivå. Miljøsertifikatene utstedes i fem nivåer, fra dårligste til beste: pass, good, very good, excellent og outstanding (SINTEF, 2015b).

3.4.2 Passivhus og lavenergibygninger

Kriterier for passivhus og lavenergibygninger er fastsatt i standarden NS 3700 for boligbygninger, og NS 3701 for yrkesbygninger. Passivhus er en bygning som bruker lite energi til oppvarming sammenliknet med bygninger bygd etter dagens eller tidligere standard. Varmetapet er senket til et minimum gjennom en godt isolert og vindtett bygningskropp, vinduer med god varmesoleringsevne og bruk av balansert ventilasjon med effektiv varmegjenvinning (SINTEF, 2015b).

3.4.3 Aktivhus, plusshus og nullenergibygninger

Det finnes ingen standarder for aktivhus, plusshus eller nullenergibygninger. Generelt kan man si at et aktivhus er en bygning som er bygd av miljøvennlige materialer som utnytter naturlig belysning og ventilasjon. Det finnes ingen spesifikk definisjon. Plusshus er en bygning som gjennom driftsfasen produserer mer fornybar energi enn det som ble brukt til produksjon av byggematerialer, oppføring, drift og avhending av bygningen. Nullenergibygninger omfatter både netto nullenergibygninger og nesten nullenergibygninger, og begrepet brukes om bygninger som genererer nok fornybar energi til å utlikne eller overskride bygningens årlige netto energibehov. Med andre ord er summen av levert energi og eksportert energi over året lik null (SINTEF, 2015b).

3.5 Gjenbruk av bygningsmaterialer

Begrepet gjenbruk betegner ressursutnyttelse ved både materialgjenvinning og ombruk. Med materialgjenvinning menes det tilbakeføring av materialer i en industriell prosess (Sørnes, 2014).

For å unngå misforståelser med begrepene, brukes begrepsdefinisjoner fra Avfall Norge (Avfall Norge, 2001). Ombruk beskrives som en ny utnyttelse av et produkt i dets opprinnelige form. For ombruk, kan det videre skilles mellom lokal og ombruk annetsteds, hvor førstnevnte omfatter bygningsmaterialer oppstått ved oppgradering av samme bygning som elementene er hentet fra, hovedsakelig ikke-bærende konstruksjoner, inventar og tekniske systemer. Ombruk annetsteds er ombruk av bygningskomponenter som vinduer, dører og bærende konstruksjoner som kommer fra andre bygninger. For materialgjenvinning, skilles det mellom direkte og indirekte materialgjenvinning. Direkte materialgjenvinning brukes avfallet som råstoff for lignende produkter. Indirekte materialgjenvinning omdannes avfallet til råstoff for andre typer produkter. Med energiutnyttelse, menes det utnyttelse av energien i avfall gjennom forbrenning, pyrolyse eller lignende.

Avfallshierarkiet kategoriserer de ulike nivåene for håndtering av avfall. Denne består av:

- Avfallsreduksjon
- Ombruk
- material gjenvinning
- energi utnyttelse
- deponering

Det vil si at det er mest ønskelig med avfallsforebygging, fulgt av ombruk, materialgjenvinning, energigjenvinning og til slutt deponering.

Nasjonal handlingsplan for bygg- og anleggsavfall 2017-2020, NHP4, fastsetter byggenæringens og avfallsbransjens mål og ambisjoner for håndtering og minimering av byggavfall, og skal identifisere nødvendige tiltak for å oppnå disse (NHP4, 2017). Hovedmålene i NHP4 er å bidra til forsvarlig håndtering av alt farlig bygg- og anleggsavfall, og hindre resirkulering av miljøgifter. Oppfylle EUs mål om 70% materialgjenvinning av BA-avfall i 2020. Minimere mengden bygg- og anleggsavfall ved riving, rehabilitering og nybygging. Mange av de foreslåtte tiltakene omhandler å øke kunnskapsdelingen mellom de ulike interesserte. Dette gjøres ved å arrangere informasjonsmøter for diskusjon, erfarings- og meningsutveksling i byggenæringen og avfallsbransjen. Det utarbeides i tillegg informasjonsplakater og håndbøker.

3.4.2 Ombruk i Norge

Som eksempel på ombruk av eksisterende betong, kan Grunerløkka studenthus, populært kalt Studentsiloen, i Oslo nevnes. Her ble betongen til en tidligere silo ombrukt i sin helhet inn i et studentboligprosjekt i 2002. Bygningen som skulle rehabiliteres for å skape studentboliger, var en kornsilo oppført i 1953 i plaststøpt betong. Bygningen bestod av 14 siloceller, en servicedel i ti etasjer samt en kjeller. Det ble dokumentert gjennom miljøkartlegging av ingen miljøfarlige komponenter hadde direkte tilknytning til veggene i silocellene eller ved utskjæring av betongblokkene. Dermed var det en gunstig konstruksjon for ombygging av studentboliger (Sørnes, 2014).

Gjenbrukshuset i Trondheim kan nevnes for ombruk av trevirke. Her er ca. 85% av reisverk og kledning av brukt trevirke. Alle innerdører, halvparten av kjøkkeninnredningen, all takstein og teglmur, 16 av 24 vinduer samt toaletter og vasker har blitt ombrukt (Sørnes, 2014).

4 Bygningsmaterialer

Formålet med dette kapittelet er å undersøke og kartlegge både tradisjonelle, høyverdige og fremtidige isolasjonsmaterialer samt andre bygningsmaterialer som stål, massivtre og betong. Materialene vurderes med tanke på egenskaper, krav og mulighetene som finnes, og deres svakheter, styrker, fordeler og ulemper identifiseres.

Skjerpede myndighetskrav og bevisste forbrukere knyttet til blant annet energivennlighet, bærekraftighet og miljøvennlighet har bidratt til nye forskrifter, standarder og normer for hvilke bygningsmaterialer som benyttes ved boligbygging. Interessen rundt passivhus og nullutslippshus har også bidratt til endringer. De skjerpede kravene til U-verdi for bygningsdeler etter både TEK17 og passivhusstandarden, krever blant annet at man har rundt 40 cm og i noen tilfeller 50 cm isolasjonstykkelse om man benytter mineralull med varmekonduktivitet på 0,037 W/mK. I områder og bygg hvor arealbesparelse er ønskelig, byr dette på utfordringer.

Materialer blir vanligvis gruppert inn basert på den kjemiske sammensetningen og atomstrukturen i tre basiskategorier: metaller, keramikk og polymerer (Callister og Rethwisch, 2011).

Metaller: Materialer i denne gruppen består av ett eller flere metallelementer som jern, aluminium, kopper, titan, gull og nikkel.

Keramikk: Materialer i denne gruppen består av forbindelser mellom metaller og ikke-metallelementer, oftest oksider, nitrider og karbider. For eksempel vil vanlige keramiske materialer være sammensatt av aluminiumoksid, silikondiosid, silikonkarbid, silikonnitrid, eller tradisjonelle keramikk av leire, eller glass og sement.

Polymerer: Materialer i denne gruppen inkluderer plastikk- og gummimaterialer. Flere av disse har organiske sammensetninger som er kjemisk basert på karbon, hydrogen og andre ikke-metalliske elementer som oksygen, nitrogen og silisium.

Kompositter er materialer som er sammensatt av to eller flere individuelle materialer, som kommer fra de omtalte gruppene metaller, keramikk eller polymer. Formålet med komposittmateriale er å oppnå en kombinasjon av egenskaper som ikke finnes i fritt, enestående materialer, og å spleise den beste kombinasjonen av egenskaper for disse.

For materialer som er spesielt knyttet opp mot bygninger, og blir normalt ansett som bygningsmaterialer dreier det seg hovedsakelig om trematerialer, betong og isolasjonsmaterialer, men også kan lettklinkerblokker, teglstein, sponplater, gipsplater, trefiberplater, keramiske fliser, stål, gulvbelegg, glass, plastfolier fugematerialer, papp, maling, lakk og lim kan også nevnes (Solvik, 2019).

I dette kapittelet, som det fremgår i kapittel 2 under oppgavens avgrensninger, er det spesielt undersøkt isolasjonsmaterialer, stål, betong og massivtre.

4.1 Materialegenskaper

Alle egenskaper til et material, kan grupperes inn i seks ulike hovedkategorier med tilhørende eksempler (Callister og Rethwisch, 2011):

- Mekanisk egenskaper
 - o Deformasjoner
 - o Elastisitetsmodul
 - o Bruddfasthet
 - o Forlengelse
 - o Hardhet
- Elektrisk egenskaper
 - o Konduktans
 - o Elektrisk resistans
 - o Elektrisk potensial
- Termisk egenskaper
 - o Spesifikk varmekapasitet
 - o Varmekonduktivitet
- Magnetisk egenskaper
 - o Magnetiske felt
- Optisk egenskaper
 - o Elektromagnetisme
 - o Lysstråling
 - o Reflektivitet
- Forringende egenskaper

Materialer som er en del av en bygning, kan ha mange ulike egenskaper, men alltid en egenskap som blir ansett som hovedegenskapen for å oppfylle bygningsdelens hovedformål. For eksempel er det for isolasjonsmaterialer de termiske egenskapene som er av størst interesse, for glass er det de optiske egenskapene og for stålbjelker er det de mekaniske egenskapene. Selv om man kan identifisere hovedegenskapen ved de ulike bygningsmaterialene, finnes det likevel andre egenskaper i bygningsmaterialene som er minst like viktige. Enten det gjelder for eksempel et materials lyd egenskaper, fukttekniske egenskaper eller brannmotstand så er disse egenskapene også av stor interesse for en bygning som helhet.

Materialegenskaper er et svært stort fagområde, og de viktigste egenskapene som har relevans for oppgaven nevnes i delkapitlene som følger.

4.1.1 Termiske egenskaper

For isolasjonsmaterialer, så er den mest interessante egenskapen den termiske konduktiviteten, varmekonduktiviteten, hvor det er ønskelig med en så lav verdi som overhodet mulig. En lav varmekonduktivitet, λ , (W/(mK)), muliggjør en forholdsvis liten materialtykkelse, med en høy termisk motstand ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) og en lav U-verdi eller varmegjennomgangskoeffisient (W/(m^2K)) (SINTEF, 2018). Den totale varmekonduktiviteten til et material, λ_{tot} , er sammensatt av flere bidrag og gjengitt i formel under (Jelle, 2011):

$$\lambda_{tot} = \lambda_{solid} + \lambda_{gas} + \lambda_{conv} + \lambda_{coupling} + \lambda_{leak} \left(\frac{W}{mK} \right) \quad (1)$$

hvor:

λ_{tot} = total overall termisk konduktivitet

λ_{solid} = solid state termisk konduktivitet

λ_{gas} = gas termisk konduktivitet

λ_{rad} = stråling termisk konduktivitet

λ_{conv} = konveksjon termisk konduktivitet

$\lambda_{coupling}$ = termisk konduktivitet for andre ordens effekter

λ_{leak} = lekkasje termisk konduktivitet

Varmemotstand, R, for et materialsjukt angir hvor godt materialsjiktet isolerer mot varmegjennomgang. Varmemotstanden for et homogent materialsjukt er gitt av formelen (SINTEF, 2018):

$$R = \frac{d}{\lambda_d} \left(\frac{m^2 K}{W} \right) \quad (2)$$

hvor:

d = materialsjiktets tykkelse (m)

λ_d = materialets dimensjonerende varmekonduktivitet $\left(\frac{W}{mK} \right)$

U-verdien for en bygningsdel angir hvor mye varme som strømmer gjennom et areal på 1 m² per tidsenhet og per grad temperaturforskjell mellom omgivelsene på hver side av bygningsdelen. Varmestrøm per tidsenhet måles i watt (W) og temperaturforskjellen måles i kelvin. U-verdi beregnes etter formel (SINTEF, 2018):

$$U = \frac{1}{R_{tot}} + \Delta U \left(\frac{W}{m^2 K} \right) \quad (3)$$

hvor:

R_{tot} = total varmemotstand

$$\Delta U = \text{korreksjonstillegg}$$

4.1.2 Brannmotstand

Bygningsdelers brannmotstandsevne klassifiseres etter EU-klasser. Brannmotstandsevnen til en bygningsdel sier noe om hvor lenge den kan stå imot før brannen sprer seg til neste branncelle, eller at bygningsdelenes bæreevne svekkes (SINTEF, 2017). Med andre ord, en bygningsdels brannmotstand gir uttrykk for hvor lang tid en bygningsdel kan opprettholde sine viktigste funksjoner ved brann.

Ved branntest av et material, er det fire betingelser som er av interesse og brannmotstanden defineres ut ifra disse fire kriteriene gjengitt i tabell under:

Tabell 2 Brannmotstand definisjonskriterier (SINTEF, 2017)

Benevnelse	Beskrivelse
R	Lastbærende evne, det vil si at prøvestykket skal klare å bære en definert last gjennom hele branntesten.
E	Integritet, prøvestykket skal ikke få åpninger eller gjennomtrengninger av varme gasser som kan medføre antenning av prøvestykkets ueksponerte side eller omkringliggende materialer.
I	Isolasjon, evnen til å motstå brannpåkjenning på bare en side uten at brannen overføres til den ueksponerte siden som følge av betydelig overføring av varme.
M	Mekanisk motstandsevne, sier noe om en bygningsdels evne til å motstå støt fra sammenstyrtning av en annen bygningsdel som følge av konstruksjonssvikt ved brann.

Euroklasse er klassifiseringsbetegnelse for produkters egenskaper ved brannpåkjenning i det harmoniserte systemet under EUs byggeveredirektiv, gjengitt i tabell under:

Tabell 3 Euroklasser og beskrivelser (SINTEF, 2017; SINTEF, 2004)

EU-kode	Beskrivelse
A1	Ubrennbar, ingen overtenning. Eksempel: Betong, steinull, glassull.
A2	Begrenset brennbar, ingen overtenning. Eksempel: Gipsplate.

B	Ingen overtenning. Eksempel: Brannhemmet sponplate.
C	Noe bidrag til brann, overtenning etter 10 minutter. Eksempel: Brannimpregnert trevirke.
D	Middels bidrag til brann, overtenning mellom 2 og 10 minutter. Eksempel: Ubehandlet trevirke.
E	Stort bidrag til brann, overtenning før 2 minutter. Eksempel: Porøse trefiberplater.
F	Egenskaper ikke bestemt.

Røykintensitet prøver på materialer i Euroklasse A2, B, C og D og klassifiseres i de tre intensitetsnivåene s1, s2 og s3 (SINTEF, 2004). Brennende dråper prøves på materialer i Euroklasse A2, B, C, D og E og klassifiseres i tre klasser: d0, d1 og d2 (SINTEF, 2004).

4.1.3 Andre egenskaper

De fukttekniske egenskapene til et material har stor innvirkning på blant annet inneklimateproblemer og bygningsskader. For eksempel vanddampmotstand har særlig interesse når en skal vurdere fuktinnholdet og uttørkingshastigheten til et materiale eller konstruksjon. Materialenes vanddampmotstandsfaktor, μ , er forholdet mellom materialets vanddampmotstand og vanddampmotstanden i et stillestående luftlag med samme tykkelse (SINTEF, 2004).

Lyd egenskaper som for eksempel lydabsorpsjonsfaktor, α , til et materiale er av stor interesse, der blant annet både materialets flate, tykkelse og densiteten er av betydning. Faktoren er en ubenevnt frekvensavhengig størrelse med tallverdi mellom 0 og 1, og faktoren beskriver forholdet mellom absorbert lyd og innfallende lyd for en bestemt flate. Harde og plane flater har lav lydabsorpsjonsfaktor og reflektere mye lyd. Myke og porøse overflater har høy lydabsorpsjonsfaktor og reflektere lite lyd (SINTEF, 2014c).

4.2 Tradisjonelle isolasjonsmaterialer

I følgende delkapittel, blir de tradisjonelle og mest vanlige isolasjonsmaterialene presentert.

De tradisjonelle isolasjonsmaterialene har til felles at de begge blir benyttet både i TEK17 og etter passivhusstandarden. Passivhusstandarden har noe strengere U-verdikrav enn TEK17, og medfølgende økning av isolasjonssjiktets tykkelse. Den store etterspørselen etter de tradisjonelle isolasjonsmaterialene har sørget for at materialene blir masseprodusert, noe som gjør de konkurransedyktige på pris. I tillegg har den økte etterspørselen bidratt til en optimalisering av alle ledd av materialets livssyklus. Etterspørselen etter tradisjonelle materialer stammer naturligvis fra at bygningsbransjen har gode erfaringer med materialet, og at de dekker nødvendige behov i tillegg til at materialene oppfyller en rekke krav i forhold til forskrifter, normer og standarder. Derfor har man også rikelig med data og erfaringer tilgjengelig om materialene.

4.2.1 Mineralull

Mineralull er samlebetegnelse for isolasjonsmaterialer bestående av mineraler som sand, stein eller glass. Glassull blir produsert av borosilikatglass ved en temperatur rundt 1400 grader, der oppvarmet masse blir dradd gjennom roterende dyser og dermed lager fibrene. Steinull blir produsert ved smeltet stein ved 1500 grader, der den oppvarmede massen går igjennom et spinnende hjul og lager fibrene. I både glassull og steinull blir en støvsamlende olje tilsett fibrene for å binde disse sammen og for å redusere svevestøv fra materialet. Mineralull benyttes i dag som isolasjonsmateriell i bygningers vegger, tak og gulv. Den typiske varmekonduktiviteten for mineralull er mellom 0,030 – 0,040 W/mK. Varmekonduktiviteten vil variere med temperaturer, fuktinnhold og massetettheten. Materialet er klassifisert som ubrennbart, og har gode lydisolerende egenskaper. Materialet kan bli perforert og oppkuttet for tilpassing på byggeplass uten å svekke den termiske egenskapen (Jelle, 2011; Schiavoni et al., 2016; Hagen et al., 2017).

4.2.2 EPS

Ekspandert polystyren, EPS, kalles ofte for isopor og er en styrenplast som blir lagd av små sfærer av polystyren fra råolje. Materialet inneholder et utvidelsesstoff, som for eksempel pentan, som har den egenskapen at det utvider seg ved oppvarming med vanndamp. De ekspanderte sfærene er knyttet sammen ved tilknytningspunktene. Isolasjonsmaterialet blir hovedsakelig produsert og levert i store plater, og blir spesielt benyttet som markisolasjon, isolasjon i kompakte tak og isolasjon av grunnmur. EPS har en delvis åpen porestruktur, og den typiske varmekonduktiviteten for EPS ligger på rundt 0,030 – 0,040 W/mK. Den termiske varmekonduktiviteten til EPS varierer med temperatur, fuktinnhold og massetetthet. Materialet kan bli perforert og oppkuttet for tilpasning på byggeplass uten å svekke de termiske egenskapene (Jelle, 2011; Schiavoni et al., 2016; Hagen et al., 2017).

4.2.3 XPS

Ekstrudert polystyren, XPS, blir produsert fra smeltet polystyren (fra crude oil) ved å tilsette en ekspansjonsgass, vanligvis karbondioksid, der massen av polystyren blir ekstrudert gjennom en dyse med trykk som får massene til å ekspandere. XPS blir produsert i kontinuerlige lengder, for så å bli oppkuttet etter kjøling. XPS har en lukket porestruktur, og kan stå i vann uten å miste isolasjonsevnen. I tillegg er materialet mer trykkfast enn EPS og mindre sprø. Den typiske varmekonduktiviteten ligger

på mellom 0,030 – 0,040 W/mK. XPS kan bli perforert, og oppkuttet og tilpasset på bygningsplassen uten tap av termiske egenskaper (Jelle, 2011; Schiavoni et al., 2016; Hagen et al., 2017).

4.2.4 Celluloseisolasjon

Cellulose omfatter termisk isolasjonsmateriale lagd fra resirkulert papir eller trefiber. Produksjonsprosessen gir materiale en konsistens lik ull. Borsyre og boraks blir tilsatt for å forbedre produkttegenskapene, som å gjøre materialet mindre brannfarlig og forhindre mugg. Cellulosefiber blir ofte brukt som fyllisolasjon som blåses inn i konstruksjonen, men plater og matter av cellulose blir også produsert. Den termiske konduktiviteten ligger på rundt 0,040 – 0,050 W/mK. De termiske egenskapene til cellulosefiber varierer med temperatur, fuktinnhold og massetetthet. Cellulose isolasjon kan bli perforert, og også oppkuttet og tilpasset på byggeplassen uten tap av varmekonduktivitet (Jelle, 2011; Schiavoni et al., 2016; Hagen et al., 2017).

4.2.5 Trefiberisolasjon

Trefiberisolasjon er laget av 80-85% trefiber, med 3-10% kunstfiber 5-8% av et brannhemmende stoff, typisk ammonium fosfat. I trefiberisolasjon fungerer kunstfibrene som bindemiddel og består av polyolefin, samlebetegnelsen for ulike plasttyper som polyetylen og polypropylen. Varmekonduktiviteten for trefiberisolasjon ligger typisk i området 0,038 – 0,050 W/mK. (Jelle, 2011; Schiavoni et al., 2016; Hagen et al., 2017).

4.2.6 Skumglass

Skumglass, også kjent som celleglass isolasjon, består av nytt eller resirkulert glass som smeltes og skummes til en homogen porestruktur. Materialet produseres i blokker eller kuler, og sammensetningen er rundt 80% luft og resten glass. Produkter i kuleform benyttes hovedsakelig til isolasjon i byggegroper, under veier, i vann- og avløpsgrøfter og til lignende formål. I blokkform benyttes skumglass normalt som trykkfast isolasjon, for eksempel i kompakte tak. Varmekonduktiviteten ligger på rundt 0,097 – 0,11 W/mK (Jelle, 2011; Schiavoni et al., 2016; Hagen et al., 2017).

4.2.7 Andre isolasjonsmaterialer

Av de tradisjonelle isolasjonsmaterialene som er nevnt i ovennevnte kapittel, omtales ikke enkelte produkter som er mindre egnet enn de allerede nevnte men som likevel kan klassifiseres som et fullverdig tradisjonelt eller alternativt isolasjonsmateriale. Med utgangspunkt i Schiavoni et al. 2016, så nevnes disse i dette delkapittelet, men beskrives ikke i detalj.

For de tradisjonelle eller konvensjonelle isolasjonsmaterialene kan det nevnes: fenolskum, polyuretan (PUR), polyisocyanurat (PIR), lettklinker, utvidet vermikulitt og utvidet perlite.

For de alternative isolasjonsmaterialene nevnes hampfiber, kenaf, saueull, kokosnøttfiber, resirkulert gummi og jutefiber.

4.3 Høyverdige isolasjonsmaterialer

I delkapittelet blir det gitt en beskrivelse av høyverdige isolasjonsmaterialer. Disse materialene representerer det som blir kalt for «state of the art», det vil si det beste av funksjon man kan få til med dagens moderne teknologi. Materialene produseres ofte i små volum, eller er fremdeles på et forskningsstadium. Felles for materialene er at de som regel kompletterer andre mer tradisjonelle isolasjonsmaterialer i et prosjekt og i konstruksjoner der det er spesielle behov for høyverdige isolasjonsevne. Grunnet forholdsvis lave omsetningsvolum er det til en viss utstrekning en mangel på erfaringer og data knyttet til disse materialene.

4.3.1 Vakuumisolasjonspanel

Konseptet vakuumisolasjonspaneler, VIP, stammer fra et patent i Tyskland i 1930. VIP som finnes på markedet i dag ble først introdusert tidlig på 90-tallet, som en mulig erstatte av isolasjonsmaterialer som inneholdt KFK, klorfluorkarbon, et ozon-nedbrytende stoff som ble bannlyst og gradvis utfaset som følge av Montreal-protokollen tidlig på 90-tallet. De siste 30 årene har interessen, bruken og medfølgende publiserte vitenskapelige artikler for VIP økt betraktelig.

VIP består av et åpent porøst kjernemateriell som er omsluttet av en luft- og damptett folie som er forseglet mens det er tilnærmet vakuum i kjernematerialet (Grynning et al., 2009). «Pressed fumed silica» er det mest benyttede kjernematerialet som er benyttet i VIP for bygningssektoren. Silika, den kjemiske forbindelsen silisiumdioksid, med kjemisk formel SiO_2 , er ikke helsefarlig, ubrennbar, gjenvinnbar og slipper ikke ut miljøskadelige stoffer og egner seg derfor godt til bruk i bygningssektoren (Kalnæs et al., 2012). Den omhyllende folien rundt vakuumisolasjonspanelet har stor betydning for panelets samlede varmemotstand og levetid, og folien må derfor ha lav permeabilitet for å hindre diffusjon av gass og vanndamp inn i kjerne, og lav varmeledningsevne for å minimere kuldebroer langs kanten av panelet (Grynning et al., 2009).



Figur 2 Oppbygging av VIP til venstre og sammenligning av VIP og tradisjonell isolasjon med samme U-verdi til høyre (Grynning et al., 2009)

VIP er i dag det isolasjonsmaterialet som er tilgjengelig for bygningssektoren som har lavest varmekonduktivitet, med en verdi på ca. 0,003 – 0,004 W/mK, dvs. rundt ti ganger lavere enn varmekonduktiviteten for mineralull. Den samlede termiske ytelsen avhenger i hovedsak av egenskapene til kjernematerialet, i tillegg til den omhyllende folien, panelets geometri, utettheter i skjøtene mellom elementene, tilstøtende konstruksjoner og panelets alder (Jelle, 2012).

Panelene er svært sårbare for punktering både under produksjon og transport, men også ved montering og bruk. En av utfordringene med VIP, er at panelene er lite tilpasningsdyktige, og kan derfor ikke kuttes og tilpasses på byggeplass. Å utvikle praktiske, robuste og kostnadseffektive vakuumisolasjonspanel kan bidra til å øke interessen for isolasjonsmaterialet (Jelle, 2012).

Kostnytteverdien av å benytte VIP vil typisk være mest gunstig for bygninger på lokasjoner med høye arealkostnader, siden man kan oppnå samme isolasjonsevne med mindre areal og volum brukt for isolasjon. Panelene kan også være aktuell for anvendelse ved etterisolering av bygg med lite plass til rådighet i eksisterende konstruksjoner (Jelle, 2012). Et annet mulig bruksområde er for isolering av enkelte utsatte konstruksjoner i nybygg med spesielt høye krav til energieffektivitet og lave kuldebroverdier, for eksempel dekkeforkanter.

Kalnæs og Jelle (2013) har i en studie undersøkt VIP som er tilgjengelige i dag. Rapporten hadde to formål: 1) å presentere en oversikt over ulike vakuumisolasjonspaneler som finnes tilgjengelig i dag, og å evaluere deres virkemåter og robusthet. 2) undersøke mulige fremtidige forskningsområder for vakuumisolasjonspaneler.

Rapporten har belyst utfordringer og foreslått løsninger som produktet står ovenfor i bygningssektoren. Det blir anbefalt nye standarder for hvordan VIP skal behandles og monteres, tilsvarende eksisterende europeiske standarder for isolasjonsmaterialer. Videre blir det anbefalt at de ulike produsentene av VIP samarbeider om å utvikle en bransjenorm for hvordan panelene kan bli brukt i bygninger. En utfordring i dag knyttet til produsentene, er en manglende kvalitetssikring av panelene som blir utlevert til kunder, og det er en bekymring blant kundene for mikroskopiske skader på panelene som har oppstått i enten produksjon-, transport- eller oppbevaringsfasen. Videre blir det nevnt at det er et behov for å øke informasjonsutveksling om erfaringer med bruk av VIP, og å øke promoteringen av produktet for å akselerere implementeringen av panelene i bygningssektoren.

Pär Johansson (2014) har i en doktoravhandling undersøkt muligheter, begrensninger og risikoer ved å benytte VIP i etterisolering av bygninger. I feltundersøkelsen som lå til grunn for avhandlingen ble en tre-etasjers bygning fra 1930 i Göteborg i Sverige brukt som utgangspunkt og etterisolert med VIP og mineralull. I avhandlingen påpekes det flere utfordringer med vakuumisolasjonspanel. Panelene er svært sårbare for punktering, og alle overflater som kan komme i kontakt med panelene må bli nøye undersøkt for om de har skarpe kanter som kan punktere panelene. Skulle ett panel bli punktert, så økes varmekonduktiviteten med en faktor på fem. Når et panel blir fullstendig fylt med luft, så endres formen på panelene seg så mye at man kan ved en enkel visuelle observasjoner skille mellom hvilke paneler som er defekte og ikke. Blir et panel kun delvis fylt med luft, så er det vanskelig å se forskjell ved visuell observasjon. Gjennom den tekniske levetiden til et panel, vil et panel bli gradvis fylt med luft, og medfølgende økende varmekonduktivitet, og de fleste paneler har i dag en teknisk levetid på i overkant av 25 år.

Ved bruk av termografering i den nevnte feltundersøkelsen, ble det forsøkt å avdekke kuldebroer mellom vakuumisolasjonspanelene og for å detektere defekte paneler. Ved undersøkelsene ble det konkludert at termografering ikke egnet seg som metode for å oppdage defekte paneler, eller for å undersøke kuldebroer mellom panelene i det aktuelle bygget. Dette skyldes at det var en ventilert

yttervegg, med mineralull lagt rundt panelene. Dette bidro til å jevne ut de potensielle temperaturforskjellene, og det var derfor ikke mulig å oppdage temperaturforskjeller i ytterveggen ved termografering.

VIP er ikke permeable og blir ansett som dampsperrer. I feltundersøkelsen til Pär Johansson ble det gjennom temperatur og fuktmålinger i vegger, som var henholdsvis etterisolert og ikke etterisolert, bevist at etterisolering med VIP ikke bidro til å øke fuktinnholdet i ytterveggen i testbygget. Målingene viste heller på betraktelig mye lavere fuktinnhold i vegger som var etterisolert med VIP og mineralull.

Karami et al., (2015) har i en sammenligningsstudie undersøkt livssyklusberegninger for miljøpåvirkningen til tre ulike hypotetiske bygninger. Bygning 1 er normalt isolert med tradisjonelt isolasjonsmateriale, bygning 2 er godt isolert med tradisjonell isolasjon og bygning 3 som er isolert med VIP. I studien inngår miljøpåvirkningen ved produksjon av bygningsmaterialene og energibruk ved drift av bygningen. Dette er henholdsvis livsløpsfaser A1-A3 og B6, som nærmere omtalt i kapittel 3.6. Resultatene viser at bygning 2 har samlede klimagassutslipp som er 21% lavere enn det bygning 1 har. Bygning 3 har klimagassutslipp som er 6% lavere enn det bygning 1 har. Det vil si at bygning 2, hvor det er godt isolert med tradisjonelle isolasjonsmaterialer kommer bedre ut i livssyklusberegningene enn det en bygning som er isolert med VIP gjør. Dette skyldes hovedsakelig en lite miljøvennlig produksjonsprosess av kjernematerialet for VIP, som står for mellom 90-99% av utslippene knyttet til produksjon av panelene. En økt kommersialisering av VIP kan antas å føre til en mer optimalisert produksjon, noe som kan bidra til å redusere energiforbruket i produksjonsfasen. Økt fokus på miljøpåvirkning fra byggematerialer kan også føre til at det benyttes alternative energikilder i produksjonsfasen. På denne måten kan det være et signifikant forbedringspotensial for å redusere utslippene knyttet til produksjon av VIP, og VIP kan i fremtiden komme bedre ut i en tilsvarende sammenligningsstudie.

4.3.2 Gassfylte paneler

Gassfylte paneler, GFP, er fylt med en gass som har lavere varmekonduktivitet enn luft, som for eksempel argon (Ar), krypton (Kr) eller xenon (Xe), dette istedenfor vakuum som i vakuumisolasjonspaneler. Akkurat som med VIP, er det også for GFP kritisk at panelene ikke blir punkterte og at det ikke oppstår lekkasjer, eller luft- eller fuktinntrengninger (Jelle et al., 2014). Fordelen med GFP fremfor VIP er at GFP ikke trenger å tåle et indre vakuum, men deler stort sett ellers de samme ulempene som VIP har. Varmekonduktiviteten for prototyper av GFP ligger på mellom 0,040 og 0,046 W/mK (Baetens et al., 2010), noe som fremstår som høyt, og langt dårligere enn vakuumisolasjonspaneler. Teoretiske verdier for GFP med argon og krypton har henholdsvis blitt beregnet til 0,021 og 0,010 W/mK (Baetens et al., 2010). I og med at GFP deler mange av ulempene og fordelene som VIP, og at VIP har lavere varmekonduktivitet enn GFP, såes det derfor tvil om GFP har en levedyktig fremtid som isolasjonsmateriale i bygninger (Jelle et al., 2014).

4.3.3 Aerogel

Aerogel er sammen med VIP det mest brukte høyverdige isolasjonsmaterialet på markedet i dag. Det globale aerogel-markedet hadde en markedsverdi på ca 85 millioner USD i 2006, og markedet er av Goldstein Research antatt å vokse til 2,3 milliarder USD innen 2025 (Goldstein Research, 2018).

Aerogel er uttørkede geléer med veldig høy porøsitet, høyt overflateareal og lav tetthet. Silikabasert aerogel er det mest vanlige, og slike aerogel-produkter består typisk av 96% luft og 4% silikondioksid (SiO_2). Porevolumet til aerogel kan variere fra 85% og opp til 99,8%. Det betyr at materialet kan ha en massetetthet på så lite som 3 kg/m^3 , og det er dermed det materialet i verden med lavest massetetthet. For bygningsmaterialer der aerogel er brukt er tettheten typisk i intervallet 70-150 kg/m^3 (Baetens et al., 2011). Materialet kan ha en så lav varmekonduktivitet som $0,004 \text{ W/mK}$ ved et trykk på 50 mbar (Jelle, 2011), men kommersielt tilgjengelig materieller med aerogel har en typisk varmekonduktivitet på rundt $0,015 \text{ W/mK}$ (Aspen Aerogel, 2019).

Brytningsindekset for lys i aerogel er lavt og de optiske egenskapene for materialet er derfor meget interessante, da det gjør det mulig å produsere aerogel-produkter enten som ugjennomsiktige, gjennomskinnelige eller gjennomsiktige (Baetens et al., 2011). Dette muliggjør at materialet kan benyttes i bygningskomponenter der dagslys og solstråling blir sluppet igjennom, som for eksempel i glassplater, og som kombinerer materialets evner til lysgjennomslipp og isolasjon. Alternativt kan man optimere materialets isolasjonsevne i komponenter som ikke slipper igjennom lys eller solstråling, som for eksempel i isolasjonsmatt.

Aerogel har en lavere lydshastighet enn luft, og har generelt gode lydisolerende egenskaper, men en kombinasjon av ulike lag aerogel med ulike granulære størrelser har vist seg å ha spesielt gode lydisolerende egenskaper. Aerogel er normalt ubrennbar, og aerogel-isolasjon blir enkelte steder brukt som flammebeskyttende material (Baetens et al., 2011). Aerogel har en relativt høy kompresjonsstyrke, men er samtidig veldig skjørt på grunn av sin lave strekkfasthet. Denne fastheten økes ved å tilsette en blanding av karbonfiber (Jelle, 2011).

Isolasjonsmaterialer der aerogel ikke er innkapslet har i enkelte produkter en støvproduksjon på rundt 5 mg/m^3 , men den internasjonale kreftforskningsorganisasjonen, IARC, klassifiserer ikke stoffene i aerogel som kreftfremkallende. En studie som undersøkte virkningen av langtids eksponering av syntetisk silika viste at arbeid med stoffet ikke gir silikose, også kalt steinstøvlunge (Merget et al., 2002). Gao et al., (2015) påpeker likevel at man vet for lite om helse- og miljøskadeligheten til aerogel, spesielt langtidseksponering og at man ikke kan konkludere entydig hvorvidt aerogel er skadelig, og at man har behov for klare retningslinjer og reguleringer for hvordan aerogel skal håndteres.

Gao et al. (2013) omtaler en eksperimentell studie der aerogel er innblandet i en sementblanding, og inngår som en del av lettvektsbetong. Lettvektsbetong kan bli produsert ved å delvis eller fullstendig erstatte sand og stein med pimpstein, kiselgur, sinder eller perlitt. Lettvektsbetong har sammenlignet med normal betong en lavere varmekonduktivitet, høyere spesifikk styrke og bedre lydisolerende egenskaper. Disse egenskapene er alle svært relevante når en skal bygge energieffektive bygninger. I dag finnes det kommersielt tilgjengelig EPS-betong, som har en typisk tetthet på 750 kg/m^3 , trykkfasthet mellom 5,8 MPa og en varmekonduktivitet på $0,26 \text{ W/mK}$. I studien ble slik EPS-betong sammenlignet med lettvektsbetong med innhold av aerogel. Som en del av studien ble det produsert et prøvestykke av betong med 60 volumprosent aerogel. Prøvestykket hadde en tetthet på 1000 kg/m^3 , varmekonduktivitet på $0,26 \text{ W/mK}$ og en trykkfasthet på 8,3 MPa. Ved å øke volumprosenten av aerogel, ville prøvestykkets tetthet, varmekonduktivitet og trykkfasthet blitt lavere. EPS-betong har dårlig brannmotstand, men aerogel-betong har god brannmotstand. Dog har EPS-betong en langt

lavere produksjonskostnad enn aerogel-betong. I studien konkluderes det med at innblanding av aerogel i sement er gjennomførbart og at hydratiseringsprosessen foregår stabilt. Det påpekes likevel at det finnes et forskningsbehov for å bedre forstå den kjemiske prosessen som oppstår når aerogel-partikler kommer i kontakt med sement.

Lolli og Andresen (2016) har analysert klimagassutslippene for to-lags vinduer med aerogel og tre-lags vinduer med argon. En boligblokk med passivhusstandard i Myhrrenga borettslag, like utenfor Oslo, er benyttet som utgangspunkt. I studien påpekes det at klimagassutslippene knyttet til produksjon av aerogel har en stor variasjon, noen ganger opp til 23 ganger størrelsesforskjell, og at dette skyldes ulike produksjonsprosesser og effektiviteten på utstyr som benyttes.



Figur 3 Aerogel glassplater i enebolig på Holmenkollen, Oslo (Huseierne, 2013)

I studien er livssyklusberegningene gjort for fasene A1-A4, B2, B4 og B6 i henhold til NS EN 15804. Trippel-glass med argon hadde en U-verdi på 0,79 W/mK. Dobbelt-glass med granular aerogel hadde en U-verdi på 0,44, og dobbelt-glass med monolithic aerogel hadde en U-verdi på 0,79 W/mK. Energisimuleringer viste at ved å benytte aerogel-vinduer så var oppvarmingsbehovet rundt 45% lavere enn for trippel-glass vinduer med argon. Livssyklusberegningene viste at forskjellene mellom vinduene var opp til 4% og 5%, avhengig av vedlikeholdsintervallene for vinduene. Det påpekes i konklusjonen at det ble synliggjort at aerogel-vinduer har en positiv effekt for livssyklusberegninger, men at dersom det blir brukt en annen energimiks i B6 som er mer miljøvennlig, så kan miljøfordelene med aerogel-vinduer bli redusert.

Baetens et al. (2011) og Aspen Aerogel (2019) omtaler Aspen aerogels Spaceloft isolasjonsmateriale. Det er et ugjennomsiktig isolasjonsmatte av aerogel som har en tekstil-lik følelse, og produktet er

kommersielt tilgjengelig i 5 og 10 mm tykkelse. Her er en silika basert aerogel kombinert med forsterkende fiber, og mattene kan dermed bli oppkuttet og tilpasset på byggeplass uten tap av materialegenskaper. Spaceloft har en varmekonduktivitet på 0,013 W/mK.

De største utfordringene med aerogel-isolasjon knytter seg til høye produksjonskostnader og klimagassutslipp i forbindelse med produksjon. Disse utfordringene viser seg å være gjengående for høyverdige isolasjonsmaterialer, og det kan antas at en økt etterspørsel vil kunne bidra til å redusere både pris og klimagassutslipp per produksjonsenhet, gjennom at det muliggjør utvikling av produksjonsprosessen.

4.3.4 Faseendrematerialer

Faseendrematerialer eller phase-change material, PCM, er etter all definisjon ikke et isolasjonsmaterieell, men har likevel interessante egenskaper som er tett knyttet til isolasjon. Materielle, eller stoffene i materialet, endrer faser fra fast til væske når de blir oppvarmet og absorberer energien i en endotermisk prosess. Når overflatetemperaturen faller igjen vil materialet endre fase til fast form og materialet frigjør den lagrede varmen i en eksoterm prosess. En slik faseendrende syklus kan bidra til å stabilisere temperaturen innendørs, gjennom at den utjevner varmebelastningen fra ulike internlaste som varierer over døgnet, slik som for eksempel solinnstråling og varmeavgivelse fra teknisk utstyr i et bygg. På den måten kan materialet hvis brukt riktig bidra til å redusere energibehovet for både oppvarming og kjøling. Ulike parafiner blir typisk brukt, men en lav termisk varmekonduktivitet og et høyt volumforandring ved faseformasjonen begrenser anvendelsesområder for PCM (Jelle, 2011).

Zhou et al. (2011) har i en artikkel oppsummert tidligere eksperimentelle forsøk og simuleringer om latent termisk energilagring for bygninger, der PCM er et av flere mulige alternativer. Her deles PCM inn i tre klassifiseringer: fast-fast PCM, fast-væske PCM og væske-gass PCM. Fast-væske PCM blir nevnt som mest egnet for energilagring i bygninger. Stoffene som skal brukes, må ha riktige egenskaper. Egenskapene som er av interesse er de termiske, kinetiske og de kjemiske egenskapene. I tillegg er de økonomiske aspektene av interesse, der det er ønskelig at stoffene ikke er kostbare, og at det er tilgjengelig i store kvanta.

For bygninger er det ulike bruksområder for PCM som er spesielt interessante. Hovedsakelig dreier det seg om veggpaneler, gulv, tak og vindusskoder. PCM for bygningssektoren kan ha en viktig rolle i å møte de termiske komfort kriteriene for innemiljø, det betyr at stoffene må ha en faseendringstemperatur i intervallet 18 – 30 °C. I tillegg må de være kjemisk stabile, brannsikre og kompatible med resterende bygningsmaterialer. PCM har blitt brukt i vegger, tak og gulv og har vist en signifikant innvirkning på temperatursvingninger. Den termiske tregheten til stoffene, er av stor interesse for å estimere innvirkningen PCM har på innetemperaturen. I konklusjonen til Zhou et al. (2011) nevnes det både eksperimentelle studier og simuleringer som entydig viser at PCM i bygninger signifikant reduserer temperatursvingningen innendørs. Det er fremdeles et stort behov for å få belyst de langsiktige konsekvensene med PCM, dette gjelder spesielt for hvordan den kjemiske stabiliteten endres med tiden, og hvordan dette påvirker sikkerhet, pålitelighet og det praktiske med PCM.

I Cao et al. (2010) presenteres det midlertidige resultat av et eksperiment hvor de har forsøkt å sammenligne innetemperatur og overflatetemperatur på en vegg i et rom med PCM og et uten PCM. Eksperimentet ble gjennomført i en storskala varmeboks med to kamre. I det varme kammeret ble det holdt det en konstant lufttemperatur på rundt 20 °C, og i det kalde en konstant temperatur på -20 °C. Eksperimentet ble gjennomført to ganger, en gang med vegger med PCM og en gang uten. Materialet i PCM-produktene besto til 60% av molekylær innkapslet parafinvoks, med en smeltetemperatur på 21,7 °C, en latent varmelagringskapasitet på over 70 kJ/kg, en total varmelagringskapasitet i temperaturintervallet 14 °C til 30 °C på 170 kJ/kg og en varmekonduktivitet på 0,18 W/mK. Resultatene viser at med PCM ble maksimum lufttemperatur og overflatetemperatur redusert med omtrent 2 °C. Videre ble det påvist at den termiske tregheten hadde en åpenbar innvirkning på temperatursvingningene.

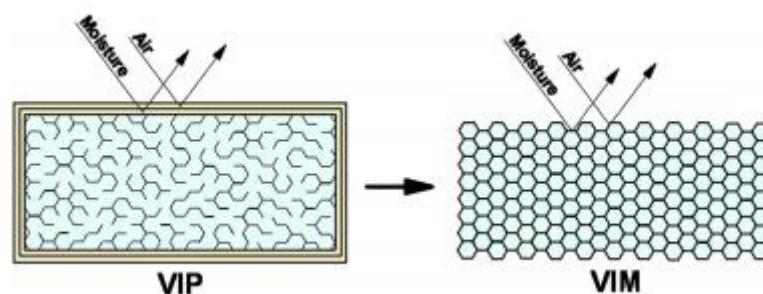
4.4 Mulige fremtidige isolasjonsmaterialer

Det forskes aktivt på nye innovative bygningsmaterialer. Noe av forskningen er begrenset til eksisterende «state of the art» løsninger, og søker å gjøre disse løsningene bedre. Andre forskningsområder dreier seg om å begynne fra bunnen av. Dette gjøres for eksempel ved å ta utgangspunkt i materialer som er benyttet i andre fagfelt, og duplisere disse løsningene og søke etter å trekke ut spesifikke egenskaper og anvende disse mot mulige fremtidige isolasjonsmaterialer.

Felles for alle mulige, fremtidige isolasjonsmaterialer er at de per i dag befinner seg enten på konseptnivå eller tidlig forskningsnivå. Datagrunnlaget er svært begrenset, og praktisk erfaring rundt materialene er ikke til stede. Det må også påpekes at selv om et materiale fremstår som lovende i et laboratorium og fra et teoretisk perspektiv, så kan de praktiske erfaringene bidra til at en løsning ikke er levedyktig eller konkurransedyktig nok.

4.4.1 Vakuumisolasjonsmaterial

Et vakuumisolasjonsmaterial, VIM, er et homogent materiell med en lukket porestruktur som er fylt av vakuum, og har en varmekonduktivitet på rundt 0,004 W/mK uberørt. Hovedforskjellen mellom VIM, vakuumisolasjonsmateriell, og VIP, vakuumisolasjonspanel, er at VIM ikke er omsluttet av en folie. Materialet er derfor mer robust enn VIP og kan bli oppkuttet og tilpasset på byggeplass. Videre vil materialet ved perforering kun resultere i en lokal kuldebro, og intet tap av termisk varmekonduktivitet (Jelle, 2011).



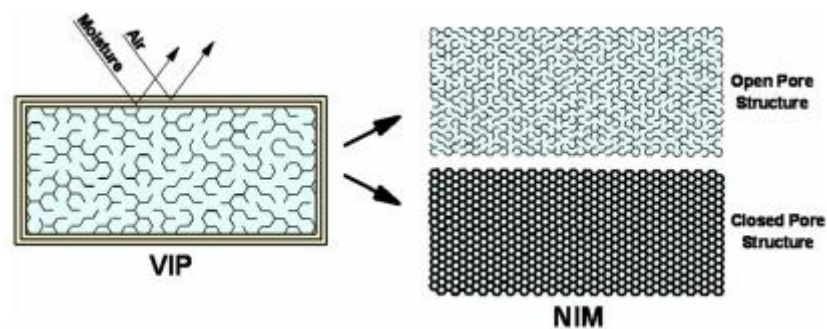
Figur 4 Prinsippforskjell VIP og VIM

4.4.3 Gassisolasjonsmaterial

Gassisolasjonsmaterial, GIM, deler mange av likhetstrekkene med vakuumisolasjonsmaterial, VIM, på samme måte som gassfyltpanel, GIP, har likhetstrekk med vakuumisolasjonspanel, VIP. I stedet for et homogent materiell med lukket porestruktur med tilnærmet vakuuum, så benyttes i GIM typisk gassene argon (Ar), krypton (Kr) eller xenon (Xe) (Jelle, 2011).

4.4.4 Nanoisolasjonsmaterial

Et nanoisolasjonsmateriale, NIM, er i grunn et homogent material med en lukket eller åpen nanoporestruktur, med en gjennomsnittlig varmekonduktivitet på mindre enn 0,004 W/mK (Jelle et al., 2010). Utviklingen fra vakuumisolasjonspaneler til nanoisolasjonsmaterialer er vist i Figur 5.



Figur 5 Prinsippforskjell VIP og NIM (Jelle et al., 2010)

I nanoisolasjonsmaterialet er porestørrelsen i materialet lavt, rundt 40 nm eller mindre, for å oppnå en lav varmekonduktivitet. Porestrukturen i NIM trenger ikke å motstå fukt- eller luftinntrengninger (Jelle et al., 2010). Knudsen-diffusjon forklarer hvordan NIM oppnår en lav varmekonduktivitet uten vakuuum i porene på materialet (Jelle og Baetens, 2010). Kort fortalt, dreier det seg om at dersom molekylene befinner seg i en pore, og den poren har mindre diameter enn den midlere frie veilengde, er sannsynligheten for at de skal treffe poreveggen større enn at de skal treffe et nabomolekyl. På en slik måte vil en redusert porestørrelse i et material til nanostørrelser bidra til å redusere varmekonduktiviteten (Gangåssæter et al., 2017).

Grandcolas et al. (2013) har i en studie undersøkt hollow silica nanospheres, hule silika nanosfærer eller HSNS for nanoisolasjonsmaterialer. Her ble det produsert HSNS med porestørrelser i området 40 til 150 nanometer, som hadde en varmekonduktivitet fra 0,040 til 0,090 W/mK før de ble bearbeidet for å gi de en hydrofobisk overflate. De innledende resultatene viste at å kontrollere nanosfærenes dimensjoner og pakningstetthet har store betydning for om HSNS kan bli brukt som isolasjonsmateriale. I konklusjonen nevnes det at HSNS fremstår som en lovende kandidat for fremtidig bygningsisolasjon, men flere eksperimenter er nødvendige for å forbedre produksjonen og sikre at det blir produsert HSNS med så lav varmekonduktivitet som mulig.

Gao et al. (2014) har i en studie undersøkt livssyklusberegningene for HSNS. HSNS nanoisolasjonsmaterialer har en varmekonduktivitet ned til 0,020 W/mK. Kostnaden, energiforbruk og råmaterialforbruket knyttet til syntesen av HSNS NIM inngår i livssyklusberegningen. Det ble funnet at prosessen har et svært høyt klimagassutslipp, og resultatene viser ellers at en mer effektiv bruk av råmaterialer i en oppskalert produksjon og bruk av miljøvennlige materialer kan bidra til å redusere

utslippene betydelig. Nye syntetiske anvendelser kan derfor bli brukt for å optimalisere prosessen, og bidra til å redusere utslippene.

4.4.5 Dynamiske isolasjonsmateriale

Et dynamisk isolasjonsmateriale, DIM, er et materiell der den termiske varmekonduktiviteten kan bli kontrollert innenfor et ønsket intervall (Jelle, 2011). Den regulerbare termiske varmekonduktiviteten kan bli kontrollert ved å endre på:

- Det indre gassporeinnholdet eller konsentrasjonen av frie gasmolekyler og gass-overflate interaksjonen
- Emissiviteten til de indre overflatene på porene
- Den faste tilstandens varmekonduktivitet i gitterstrukturen (Jelle og Baetens, 2010)

En kan spørre seg om det vil være mulig å dynamisk regulere den termiske konduktiviteten, fra lav til høy, og høy til lav ved å lage et dynamisk isolasjonsmateriale. Forskningen er på et veldig konseptuelt stadium, og det må stilles spørsmål ved om andre forskningsfelt kan inspirere til et slikt materiell, som for eksempel elektrokromatiske materialer, kvantemekanikk og elektrisk superkonduktivitet (Jelle et al., 2010). Dynamisk isolasjonsmateriale har et stort potensial, men det må først bli demonstrert at praktiske og robuste DIM kan bli produsert.

4.5 Strukturelle materialer

4.5.1 Betong

Betong er en blanding av sement, vann, tilslag og tilsetningsstoffer. Tilslag er normalt sand, stein og pukk i ulike andeler. Tilsetningsstoffer benyttes for å endre egenskapene til betongblandingen, for eksempel i forhold til herdetid og flyteeve. Egenskapene endres også ved å tilpasse blandeforholdet mellom bestanddelene, for å oppnå ulike styrkeklasser og bestandighet. Betong er et allsidig materiale, og brukes blant annet i fundamentering, bæresystem, vekk- og dekkekonstruksjoner. Betong som benyttes til bygningsmessige formål, vil normalt alltid være armert for å øke konstruksjonens styrke, spesielt i forhold til strekkrefter. Normalt benyttes armeringsjern, som utgjør en betydelig andel av betongkonstruksjonens samlede klimagassutslipp. Sementproduksjonen utgjør størstedelen av klimagassutslippet fra betong. Dette utslippet kan reduseres ved å benytte lavkarbonbetong, der en andel av sementen i blandingen byttes ut med flyveaske, som er et avfallsprodukt fra kraftproduksjon. Normal flyveaskeandel er fra 15 til 30%, og reduserer CO₂-utslippet fra produksjonen av betong med inntil en tredjedel. Betong er i prinsippet vedlikeholdsfritt, og kan stå i mange år, men vil likevel være utsatt for nedbrytninger over tid. Nedbrytningen kan forårsakes av kjemiske og mekaniske prosesser, av frost, og ved at armeringen eksponeres for vann og luft og ruster (Hagen et al., 2017).

I et forsøk på å gjøre betong mer miljøvennlig, er det flere områder rundt betong som blir undersøkt. Forskere ved Sintef og NTNU (Forskning.no, 2019) prøver blant annet å erstatte armeringsjern i betong med aluminium. Forskningsprosjektet ble oppstartet i 2017, og er per april 2019 halvveis ferdig, med lovende midlertidige resultater. Normalt vil aluminium forvitne på grunn av den høye pH-en i betong. Men dersom betongen er mindre basisk, det vil si at den har en lavere surhetsgrad så kan aluminium benyttes som armering. Fordelene ved å armere med aluminium er mange, som blant annet en slankere betongkonstruksjon, da vanlig betong armert med stål har en ekstra tykkelse for å hindre at karbondioksid eller salter trenger inn til armeringen. Klinkererstatningen som benyttes i aluminiums-

armert betong brennes også på en lavere temperatur enn klinkeren som brukes i vanlig sement, og dette bidrar til lavere CO₂-utslipp.

Forskere ved UiT Norges arktiske universitet i Narvik (UiT.no, 2019) leder et næringsrettet forskningsprosjekt om bærekraftig gjenvinning av betongmasser, med et mål om å oppnå 75% gjenvinning av betongen.

SINTEF har gjennom et pilotforsøk støpt 100 m³ betongdekke av ferdigblandet betong med 100% resirkulert tilslag (Sintef.no, 2019). De foreløpige forskningsresultatene fra pilotforsøket viser at det er mulig å produsere betong med 100% resirkulert tilslag, som tilfredsstillende de samme fysiske kravene som tradisjonelle betongblandinger med naturlig tilslag. Samtidig tilfredsstillende det resirkulerte tilslaget i stor grad normverdiene for forurenset grunn angitt i forurensningsforskriften.

4.5.2 Stål

Stål er en legering av jern og karbon, hvor karbon utgjør opptil 2,1 vektprosent. Dette øker styrken på jernet, på bekostning av duktiliteten. Den høye strekkstyrken og moderate kostnader gjør stål til et attraktivt bygningsmateriale for både komplette bæresystemer og sekundære elementer i forbindelse med andre materialer. Stål inngår blant annet som armeringsstål i betong, som ulike typer profiler i søyler og bjelker samt som stålstendere i bindingsverksvegger (Hagen et al., 2017).

Det finnes to produksjonsprosesser for stål. Enten en elektrisk bueovn med skrap som basismateriale eller basisk surstoffovn, med flytende malmbasert råjern som basismateriale (Eurofer, 1995). Hovedsakelig påvirkes klimagassutslipp knyttet til stål av stålets resirkuleringsgrad, og energikilde som benyttes under produksjon. Stål tåler en høy resirkulert andel uten å miste styrke, og det er i dag mulig å kreve 40% resirkulert innhold i sveisede plateprofiler, og 70% i valsede profiler. Armeringsjern kan leveres med 100% resirkulert innhold. Veletablerte returordninger for skrapstål, bidrar til at stål ved endt levetid kan resirkuleres (Hagen et al., 2017). Men per i dag, er tilgangen på skrapstål ikke stort nok til å møte etterspørselen på konstruksjonsstål i markedet, og det må derfor kompletteres med en stor del jomfruelig stål.

4.5.3 Massivtre

Massivtre er fellesbenevnelsen på planker, lameller, som ved hjelp av lim, spiker, skruer eller lignende er lagvis festet sammen til ett element. Lagene blir ofte lagt vinkelrett på hverandre, fordi treverk er sterkest i fiberretningen og går ofte under benevnelsen cross-laminated timber, CLT, eller krysslagede elementer. Elementer som er satt sammen av stående lameller, går under benevnelsen kantstilte elementer. Bygging med elementer av massivtre har blant annet fordeler med at de gir stor fleksibilitet ved formgivning, planløsning og konstruksjon (Aarstad et al., 2011). Massivtre kan også benyttes som ferdige overflater, og dermed unngår man behov for bygningsplater og andre sjikt og massivtrelementer kan derfor slå positivt ut i klimagassregnskap (Hagen et al., 2017). I tillegg har de gode miljøegenskaper og en god råstoffutnyttelse ved produksjon (Aarstad et al., 2011).

4.6 Teknologimodenhet

I kapittel 4.4 Mulige fremtidige bygningsmaterialer presenteres noen av isolasjonsmaterialene som kan være fremtidens isolasjonsmateriale. Disse materialene er per dags dato ikke kommersielt tilgjengelig, men kan likevel bli aktuelle i fremtiden. Stortsett befinner disse materialene seg på konseptnivå. For å forstå en produktutviklingsprosess, fra ide og konsept til prototype og kommersialisering, introduseres begrepet technology readiness level, eller direkte oversatt teknologimodenhetsskalaen.

Dette gjøres for å kartlegge og forstå hvilket utviklingstrinn bygningsmaterialene befinner seg på. Det amerikanske energidepartementets, DOE, retningslinjer for technology readiness levels, heretter forkortet til TRL, benyttes og omtales i dette kapittelet (Environmental Management, 2008). Formålet med TRL er å gi retningslinjer for å definere hvilket utviklingsstadium et konsept befinner seg på, fra idé til kommersiell produksjon av bygningsmaterialene. TRL blir hovedsakelig benyttet i produksjonsprosesser for komponenter og systemløsninger til bruk i anlegg og industri. Mangel på tilsvarende retningslinjer spesifikt for bygningsmaterialer gjør at disse retningslinjene likevel blir presentert, da det kan antas at TRL fra DOE gjenspeiler tilsvarende utviklingsprosesser for bygningsmaterialer.

En kort introduksjon til TRL, og formålet til de ulike stadiene presenteres under (Environmental Management, 2008).

TRL 1-3: I de første nivåene inngår oppfinnelse, konsept definisjon, tidlig utviklingsstadium og prosjektering. Herunder:

- Vitenskapelige undersøkelser blir videreført til utvikling
- Teknologiens konsept og bruksmåte blir definert og undersøkt
- Aktive undersøkelser, prosjektering og lab undersøkelser for å analysere forventede resultater

Formålet med dette stadiet er å evaluere gjennomføringsbarheten av bygningsmaterialene, og om det har et kommersielt potensial.

TRL 4: Bevis av konsept.

- Grunnleggende teknologiske komponenter i småskala (1:10) blir testet i et laboratorium.

Formålet med dette stadiet er å bevise at konseptet fungerer og at det kan bli en kommersiell produksjon utfra konseptet.

TRL 5-6: System integrasjon og laboratoriedemonstrasjon.

- Grunnleggende teknologiske komponenter blir utviklet i fullskala og montert i et delsystem
- Storskala modell (1:1-1,5) av bygningsmaterialet blir testet i et reelt miljø.

Formålet med dette stadiet er å undersøke og demonstrere at konseptet fungerer i et reelt miljø. Med reelt miljø menes det et sted der temperatur, fukt og andre miljøbetingede tilstander kan bli simulert.

TRL 7-8: Testing og demonstrasjon av drift i reelt miljø.

- Fullskala (1:1) prototype blir utviklet
- Testing av fullskala prototype under alle operasjonsbetingelser.

Formålet med dette stadiet er å teste en fullskala prototype av bygningsmaterialet på i et klima og område der det i utgangspunktet skal kunne bli benyttet. Prototypen skal testes over en lengre periode.

TRL 9: Kommersiell produksjon.

Konseptet har vist seg å være suksessfullt, og kan bli kommersielt produsert.

4.6.1 Teknologimodenhet for mulige fremtidige isolasjonsmaterialer

Med utgangspunkt i teknologimodenhetsskalaen kan de presenterte materialene i kapittel 4.4 kategoriseres etter hvor de befinner seg på teknologimodenhetsskalaen.

Basert på egen forståelse av vakuumisolasjonsmaterialer, gassisolasjonsmaterialer, nanoisolasjonsmaterialer og dynamiskisolasjonsmaterialer og tilgjengelige forskningsartikler om disse, vil samtlige være på TRL 1-3. Nanoisolasjonsmaterialer av hule silika nanosfærer vil være det materialet som er lengst i utviklingen, og det kunne vært argumentert for at dette materialet kunne inngått i TRL 4.

Dette setter utviklingen av fremtidige isolasjonsmaterialer i perspektiv, og det er ennå uvisst når man vil kunne benytte disse materialene i fremtidens arktiske bolig.

4.7 Livssyklusberegninger for isolasjonsmaterialer

Schlanbush et al. (2014) har i en studie oppsummert livssyklusberegninger for isolasjonsmaterialer. I studien inngikk åtte ulike isolasjonsmaterialer som mineralull, EPS, XPS og vakuumisolasjonspaneler. Det ble utredet forutsetninger for at isolasjonsmaterialer kan sammenliknes. Den funksjonelle enheten i analysen er 1 m² isolasjonsmateriale med en tykkelse som gir en deklarerert termisk motstand lik $R = 1 \text{ m}^2\text{K/W}$. Isolasjonsmaterialene ble sammenliknet med tanke på energibruk, klimagassutslipp og innhold og utslipp av helse- og miljøfarlige stoffer. I analysen inngår vugge-til-byggeplass, dvs. A1-A4.

Livssyklusberegningene viste at klimagassutslippene varierte fra under 1 kg til nesten 10 kg CO₂, og energibruk varierte fra ca. 14 MJ til ca. 160 MJ. Videre ble det vist at isolasjonsmaterialene basert på mineralull har mindre energibruk og klimagassutslipp enn XPS, EPS og VIP. EPS har noe lavere miljøpåvirkning enn XPS, og XPS har en lavere miljøpåvirkning enn VIP.

I studien kommer det ellers frem at vakuumisolasjonspaneler skiller seg fra de andre isolasjonsmaterialene ved å ha en betydelig forhøyet miljøpåvirkning sammenliknet med de andre isolasjonsmaterialene.

Det nevnes at hovedårsakene til de store forskjellene i resulterende miljøpåvirkning fra de ulike materialene er både den direkte påvirkningen fra energimiksen som ligger til grunn i produksjonsprosessen for de ulike materialene og den indirekte miljøpåvirkningen fra råmaterialene som inngår i hvert materiale. Den viktigste grunnen til at VIP kommer dårlig ut i sammenligningen, er at kjernematerialet som består av silikamateriale er relativt energiintensivt å produsere.

4.8 Oppsummering

Jelle (2011) nevner blant annet hva som bør kreves av egenskaper i fremtidige isolasjonsmaterialer. En så lav varmekonduktivitet som mulig fremstår som åpenbart, men varmekonduktiviteten skal ikke svekkes etter hvert som materialet aldres. Det betyr at teknologier som er basert på vakuum kan få problemer med å opprettholde en lav varmekonduktivitet over lengre perioder. Et hovedkrav når det kommer til robusthet, er at materialet må kunne bli tilpasset på bygningsplass uten at det svekker varmekonduktiviteten til materialet. Derfor vil panelbaserte isolasjonsmaterialer, som VIP og GFP, ikke være spesielt ønskelig som et fremtidig isolasjonsmateriale.

For å oppsummere, så vil egenskaper for isolasjonsmaterialer som kan være med å rangere hvorvidt et material har en levedyktig fremtid trekkes frem i tabell under.

Tabell 4 Ønskelige egenskaper i et fremtidig isolasjonsmateriale (Jelle, 2011)

Egenskaper	Krav
Varmekonduktivitet (uberørt)	< 0,004 W/mK
Varmekonduktivitet etter 100 år	< 0,005 W/mK
Varmekonduktivitet ved perforering	< 0,004 W/mK
Perforeringssårbarhet	Skal ikke påvirkes merkbart
Mulighet for tilpassing på byggeplass	Ja
Mekaniske egenskaper	Varierende, etter behov
Brannmotstand	Ja
Farlige avgasser ved brann	Ingen farlige avgasser
Klimatilpassing	Motstandsdyktig
Fryse- og tinesykluser	Motstandsdyktig
Fukt-, vannmotstand	Motstandsdyktig
Dynamisk isolasjonsmateriale	Det ideelle målet
Kostnader vs. tilsvarende isolasjonsmaterialer	Konkurransedyktig
Klimagassutslipp, livssyklusberegninger	Lavt negative klimaavtrykk

Ved å sammenligne tradisjonelle, høyverdige og mulige fremtidige isolasjonsmaterialer utfra beskrivelsene som er gitt i kapitlene 4.2, 4.3 og 4.4, er det mulig å identifisere ulike styrker og svakheter (Jelle, 2011).

Spesielt de tradisjonelle isolasjonsmaterialene, må sies å være mest robust, spesielt med tanke på å kutte opp og tilpasse isolasjonsmaterialene. Ellers så skiller de seg ut med at man har gode erfaringer og et stort datagrunnlag fra materialene som er med på å øke forståelsen for hvordan materialene reagerer ved for eksempel aldring, fukt, brann også videre. Men det som gjør de tradisjonelle isolasjonsmaterialene veldig konkurransedyktige, er den store etterspørselen etter disse materialene. Økt etterspørsel betyr at masseproduksjonen av materialene har gitt produktene konkurransefortrinn spesielt knyttet til økonomi, og optimalisering av produksjonsprosess som gjør at disse kommer gunstig ut ved for eksempel klimagassberegninger.

Den største ulempen for de tradisjonelle isolasjonsmaterialene er den høye varmekonduktiviteten. Sammenlignet med VIP vil mineralull med en varmekonduktivitet på 0,037 W/mK ha omtrent en ti ganger høyere varmekonduktivitet. Spesielt på dette punktet vil de høyverdige og de mulige fremtidige isolasjonsmaterialene ha et stort konkurransefortrinn fremfor de tradisjonelle isolasjonsmaterialene.

Vakuumisolasjonspaneler og aerogel skiller seg spesielt ut som et godt alternativ til tradisjonelle isolasjonsmaterialer. Det lave erfaringsgrunnlaget, de høye kostnadene og klimagassutslippene for VIP og aerogel må bli sett på som punkter der de har store forbedringspotensialer. Største ankepunktet for VIP blir likevel at panelene ikke er robuste, og er svært sårbare for punktering både ved produksjon, transport, montering og bruk. I tillegg har VIP en noe lav teknisk levetid, hvor panelets varmekonduktivitet svekkes ved aldring. For aerogel må det fremdeles bli demonstrert, spesielt glassplatene, at disse kan være konkurransedyktige på pris.

Gassfyltpaneler blir ikke ansett som et material som har en levedyktig fremtid, da de deler mange av fordelene og svakhetene med VIP, og siden VIP har en lavere varmekonduktivitet enn GFP så er naturlig å anta at VIP vil utkonkurrere gassfyltpaneler.

Spesielt for de mulige fremtidige isolasjonsmaterialene, så befinner jo disse seg på et konseptuelt nivå. De viser seg å bli designet med baktanke om at de må ha en lav varmekonduktivitet, samtidig som de er både robuste både i forhold til aldring og tilpassing av materialene, i tillegg til at de har andre interessante egenskaper. Nanoisolasjonsmaterialer skiller seg spesielt ut som et lovende konsept. Dynamiskisolasjonsmaterialer kan likevel bli sett på som det materialet som har størst potensial, da en regulerbar varmekonduktivitet åpner opp for å tenke helt nytt om oppvarming og avkjøling av boliger. Om det er disse materialene man benytter i fremtiden, gjenstår å bli sett. For alt vi vet i dag, er det ikke sikkert at løsninger man benytter i fremtiden har blitt tenkt ut i dag.

Tabell 5 Oppsummering isolasjonsmaterialer (Jelle, 2011)

Material	Lav varmekonduktivitet	Robust	Muligheter for tilpassing på byggeplass	Lastbærende muligheter	Et fremtidig isolasjonsmateriale?
Tradisjonelle isolasjonsmaterialer					
Mineralull	Nei	Ja	Ja	Nei	Nei
EPS	Nei	Ja	Ja	Nei	Nei
XPS	Nei	Ja	Ja	Nei	Nei
Cellulose	Nei	Ja	Ja	Nei	Nei
Trefiber	Nei	Ja	Ja	Nei	Nei
Høyverdige isolasjonsmaterialer					
VIP	Ja, kanskje	Nei	Nei	Nei	Best i dag, og nær fremtid
GFP	Kanskje	Nei	Nei	Nei	Muligens ikke
Aerogel	Kanskje	Ja	Ja	Nei	Kanskje
PCM	-	-	-	-	Varmelagring og frigjøring
Mulige fremtidige isolasjonsmaterialer					
VIM	Ja	Ja	Ja	Nei, kanskje	Ja
GIM	Ja	Ja		Nei, kanskje	Kanskje
NIM	Ja	Ja		Nei, kanskje	Ja
DIM	Kanskje	Ukjent	Ukjent	Nei, kanskje	Ja

Betongproduksjon har høye klimagassutslipp. Ved å blant annet øke gjenbruksandelen i betong, benytte sementerstatninger som flyveaske for eksempel kan klimaavtrykket fra betong bli redusert. Det er derfor naturlig å anta at man vil se en overgang fra normalbetong til en mer bærekraftig betong i dag og i fremtiden. Dette gjør at materialet kan opprettholde dagens popularitet også i fremtiden.

Stålproduksjon har også høye klimagassutslipp. Den økte andelen av resirkulert stål og en overgang fra å benytte fossile til fornybare energikilder vil bidra til at stålet kan få lavere klimagassavtrykk, og stålet man benytter i fremtiden vil derfor være mer miljøvennlig. Fossilfritt stål kan derfor utkonkurrere dagens stål på fremtidens marked.

5 Caseprosjekt – boligblokkene i Beisfjordveien 88-90

I første del av dette kapittelet, vil gjenbrukspotensialet for bygningsmaterialene som finnes i blokkene ved Beisfjordveien bli kartlagt. I andre del av kapittelet, er det gjennomført livsløpsvurderinger av henholdsvis eksisterende bygning og nybygg.

Opplysninger om eiendommene i Beisfjordveien 88-90 er hentet fra tilstandsrapport utarbeidet av OMT BBL, SIMIEN-filer for blokkene samt egen befaringsnotat for å tilføye eller bekrefte opplysninger i nevnte dokumenter.

Eiendommene i Beisfjordveien 88-90 tilhører Narvik Boligstiftelse, og er i denne rapporten brukt som utgangspunkt i case-prosjektet. Eiendommene har gatenummer 41, bustadsnummer 170 og 171, med besøksadresse Beisfjordveien 88-90, like utenfor Narvik sentrum.



Figur 6 Beisfjordveien 88-90

Eiendommene består av to lavblokker. Blokkene ble bygd i 1961, og har til sammen 20 boenheter fordelt på to tilnærmet identiske bygg. Boligblokkene har tre etasjer, to over terreng og en underetasje med til sammen fire trappeoppganger.

Bygningshistorikken for eiendommene kan kort oppsummeres med byggeår i 1961, utskifting av dører og vinduer i tidsperioden 1985-90, og ellers sporadisk vedlikehold som maling av vegger og dører. Høsten 2018 brant en av leilighetene ned, og er totalt skadd.

Da blokkene er nok så identiske, brukes kun en av blokkene, Beisfjordveien 88, som utgangspunkt i oppgaven. Blokken har en grunnflate på ca. 315 m². Bruksarealet er rundt 945 m². Fasaden som vender mot nord og sør er ca. 90 m², totalt ca. 180 m². Fasaden mot øst og vest er ca. 225 m², totalt ca. 450 m².

I kapittelet benyttes del begrep, som materialgjenvinning, ombruk og gjenbruk. Disse er nærmere forklart i kapittel 3.4.

5.1 Gjenbrukspotensialet

Det skal kartlegges hvilke materialer som er tilgjengelig for gjenbruk ved en eventuell rehabilitering eller nybygg av blokkene. I fremtidige prosjekter og arbeider med blokkene i Beisfjordveien, vil det være flere ulike forhold og faktorer som kan si noe om hvilke bygningsmaterialer en kan gjenbruke. Selv om et bygningsmateriell er påpekt i denne rapporten å være tilgjengelig for mulig gjenbruk, er det ikke dermed bestemt at materialet skal bli gjenbrukt og informasjon som fremkommer i etterfulgte kapitler må bli sett på som veiledende.

Det ville i alle tilfeller vært ønskelig med en miljøsaneringsrapport for å blant annet avdekke potensielle miljøgifter i bygningsmassen. I tillegg ville armeringstegninger, fullstendige plantegninger, og annen dokumentasjon om bygningsmaterialene før gjenbrukspotensialet kan kartlegges vært av stor interesse.

5.1.1 Byggets tilstand og materialer

Som nevnt innledningsvis er blokkenes fellesarealer befart av undertegnede, men de enkelte boenheterne har ikke vært tilgjengelig for befaring. I tillegg har tilstandsvurdering utført av OMT BBL vært tilgjengelig, sammen med SIMIEN-filer. Tilstandsvurderingen er gjort iht. Husbankens trinn 1 norm, som er utarbeidet på grunnlag av NS 3424. Ufullstendige plantegninger har også vært tilgjengelig.

Det skal kartlegges hvilke materialer som er tilgjengelig for gjenbruk ved en eventuell rehabilitering eller nybygg av blokkene. I fremtidige prosjekter og arbeider med blokkene i Beisfjordveien, vil det være flere ulike forhold og faktorer som kan si noe om hvilke bygningsmaterialer en kan gjenbruke. Selv om et bygningsmateriell er påpekt i denne rapporten å være tilgjengelig for mulig gjenbruk, er det ikke dermed bestemt at materialet skal bli gjenbrukt og informasjon som fremkommer i etterfulgte kapitler må bli sett på som veiledende.

I tabellen under, er det en presentasjon av bygningsmaterialene i de ulike bygningsdelene, gjort systematisk iht. NS 3451 Bygningsdelstabellen.

Tabell 6 Bygningsmaterialer i Beisfjordveien 88-90

20 Bygning	Beskrivelse
21 Grunn og fundamenter	Direkte fundamentert. Plasstøpt betonggulv i kjelleretasje, ikke isolert.
22 Bæresystemer	Blokkene har bæresystem og etasjeskiller av trematerialer.
23 Yttervegger	Bindingsverk av tre, ikke isolert. Kjelleretasjens yttervegger består av betong. Resterende yttervegger har kledning av stålplater, med unntak av en yttervegg som er kledd med eternittplater. En av blokkene har to-lags glass med treramme, og den andre blokken har to-lags glass med PVC-ramme. Dører til hovedinngang er av aluminium.

24 Innervegger	Bindingsverk av tre med porøse trefiberplater, og malte glassfiberstirer, ikke isolert. Kjelleretasjens innervegger består av lakkert furu, og malte betongvegger.
25 Dekker	Kjelleretasjen har gulv i ubehandlet betong. Himling består hovedsakelig av lakkert furu, på tørkerom er det asbestplater. I første og andre etasje er det bjelkelag av tre med heltregulv. Himling av porøse trefiberplater. Ingen isolasjon.
26 Yttertak	Taktekning er av asbestplater, lagt direkte på takstoler av tre.
28 Trapper, balkonger m.m.	En balkong per felles trappeoppgang, bygd på bjelker av tre med blikkdekke loddet med bly. Rekkverk av smijern.

Generelt om gjenbruk er omtalt i kapittel 3.4. For å bestemme gjenbrukspotensialet til et bygningsmateriale, må en rekke faktorer undersøkes. Informasjon om disse faktorene er hentet fra Moldekleiv og Mynors (2017), og SINTEF (2014), som omtalt under, og gjenbrukspotensialet for bygningsmaterialene blir bestemt etter en helhetlig vurdering.

Dokumentasjon, handler om å finne frem all tilgjengelig og relevant dokumentasjon om byggematerialet. Dess mer informasjon som er tilgjengelig, jo enklere vil det være å avgjøre gjenbrukspotensialet til materialet. Armerings-, dimensjonerings-, bygge- og plantegninger inneholder mye relevant informasjon, spesielt om størrelser, brukbarhet og mengder. FDV-dokumentasjon, prosjekteringsgrunnlag, SINTEF teknisk godkjenning, produktsertifikat eller lignende gir og mye relevant informasjon om materialet.

Helse- og miljøskadelige stoffer, skulle et material utgjøre en risiko, så skal man ikke gjenbruke materialer som tilsier at de inneholder forbudte stoffer og kommer i kategorien for farlig avfall. Derfor er det alltid ønskelig å få gjennomført en miljøkartlegging før riving av en bygning dersom en ønsker å gjenbruke bygningsmaterialer. Er et material overflatebehandlet må det alltid vurderes opp mot grenseverdier for helse- og miljøfarlige stoffer.

Synlige skader, skadde materialer kan ha svekkede materialegenskaper, være uegnet grunnet tekniske årsaker eller være til sjenanse med tanke på estetikk. Ekstra kostnaden ved bearbeiding av skadde materialer, kan gjøre det lite lønnsomt å gjenbruke et skadd bygningsmateriell.

Dimensjoner og mengder, vil ofte være avgjørende for om et material ønskes gjenbrukt. Skulle dimensjonen eller mengden ikke være forenelig med det som er ønskelig, har man normalt fire valg. Endre designet til nybygget, bearbeide gjenbruksdelen, forkaste materialet og benytte alternativer eller man kan benytte deler av materialet til et nytt produkt.

Tid og kostnader, er viktige faktorer for involverte aktører. Ofte ser man at tidsbruken er av større betydning enn verdien av gjenbrukte bygningsmaterialer.

Miljøgevinst, sier noe om hvor betydelig CO₂-utslipp man kan spare ved å gjenbruke fremfor å produsere nytt.

Vurderingspunkt om dimensjoner og mengder utgår i oppgaven, da det ikke er bestemt hva materialer som kan bli gjenbrukt skal benyttes til. I tillegg har de ufullstendige plantegningene, og den generelle mangelen på dokumentasjon knyttet til materialer i blokkene gjort det vanskelig å anslå riktige mengder uten å gjøre grove antakelser. Vurderingen av gjenbrukspotensialet for et bygningsmateriell må derfor ansees å være generelle.

I delkapitlene som følger, er informasjon om bygningsmaterialene i blokkene hentet fra egne befaringer samt tilstandsanalysen som er utarbeidet av OMT BBL. Ellers er vurderingene gjort med følgende dokumenter som veiledning:

- Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer (Sørnes, 2014)
- Gjenbruk av bygningskomponenter og -materialer (Moldekleiv og Mynors, 2017)
- Byggevarer – egnethet for materialgjenvinning (SINTEF, 2012)
- Eldre byggevarer - Varmeisolasjonsprodukter, metallvarer og glass (SINTEF, 2016a)
- Eldre byggevarer – Trelast, trevarer, kledningsplater, rulleprodukter og belegg (SINTEF, 2016b)
- Eldre byggevarer – Sement, betong, betongprodukter, mørtel, naturstein og keramiske produkter (SINTEF, 2016c)
- Miljøkartlegging og miljøsanering ved riving og ombygging (SINTEF, 2018)

Da det ikke er gjennomført en miljørapport av bygningsmassen, er blant annet erfaringsdata benyttet som grunnlag for å vurdere om en bygningsdel kan inneholde helse- eller miljøskadelige stoffer. Ellers er vurderingene gjort med utgangspunkt i tilgjengelig informasjon fra veiledningsdokumenter, tilstandsanalyser og dokumenter som ellers er omtalt i kapitlet.

5.1.2 Betong

Dokumentasjon

Plantegninger har vært tilgjengelig. Ingen informasjon om betongen som er benyttet i blokkene har vært mulig å oppdrive, og man vet derfor ingenting om styrke og sammensetning. Som dokumentasjon benyttes det derfor erfaringsdata fra veiledende dokumenter.

Helse- og miljøskadelige stoffer

Betong blir normalt ikke ansett som et farlig materiale, men kan likevel være forurenset av ulike stoffer. Spesielt ytre sjikt kan inneholde helse- og miljøskadelige stoffer. Erfaringer med betong i perioden 1960 – 1980 viser det kan være tilsetningsstoffer som inneholder PCB. Malte og overflatebehandlet betong fra denne perioden kan inneholde tungmetaller og kan være malt med PCB-holdig maling. Betongen kan også ha en konsentrasjon av krom og seksverdig krom over anbefalte grenseverdier. Boligblokken har ikke hatt oljefyr eller vært benyttet til industriformål, og det forventes derfor at betongen ikke er forurenset av olje.

Synlige skader

Det har ikke blitt observert merkverdig riss, fukt/saltutslag eller korrosjon av armeringsjern i betongen. Den påførte belastningene under bruk antas å være normale. I tilstandsrapporten informeres det om at det tidligere har vært meldt om setningsskader i en av kjellerleilighetene, men at dette ble utbedret. Betongen bærer ellers preg av normale slitasjeskader som følge av nesten 60-års bruk.

Tid og kostnader

I blokkene er plastøpt betong benyttet i kjelleretasjen, og blokkene er ikke prosjektert med tanke på gjenbruk. Det betyr demontering av betong kan være svært vanskelig uten å gjøre stor skade på betongen. I praksis vet man at riving og knusing av betong går raskt. Kostnader ved å levere betong til miljøstasjon avhenger forurensningsgrad.

Miljøgevinst

Betong utgjør, sammen med tegl, den største avfallsfraksjonen i bygge- og anleggssektoren. Produksjon av sement har også store CO₂-utslipp, og desto mer betong som gjenbrukes jo høyere blir miljøgevinsten. Gjenbruk av betong har derfor en betydelig miljøgevinst.

Gjenbrukspotensial

Betongen kan inneholde helse- og miljøskadelige stoffer, og en miljøkartlegging av betongen vil være av betydning for å videre bedømme om den egner seg til gjenbruk. Med forutsetning om at betongen ikke inneholder helse- og miljøskadelige stoffer som overskrider grenseverdier, kan betongen i blokkene blant annet:

- lokalt ombrukes i rehabiliteringsprosjekter av blokkene
- indirekte materialgjenvinnes til lavere kvalitet som erstatning for fyllmasse som bærelag i vei eller tilslagsmateriale i ny betong.

5.1.3 Trevirke

Dokumentasjon

Det har ikke vært mulig å få tak i dokumentasjon om ubehandlet eller behandlet trevirke i blokkene eller trefiberproduktene.

Helse- og miljøskadelige stoffer

Impregnert trevirke kan inneholde helse- og miljøskadelige stoffer. Impregneringsmidler kan inneholde blant annet arsen, kobber, krom, bor, sink, pentaklorfenol og tinnorganiske stoffer.

Synlige skader

Av konstruksjon som har vært tilgjengelig for befaring, har det ikke vært registrert tegn til fukt- eller råteskadet trevirke. Den strukturelle kvaliteten er ikke forringet av overbelastning eller annen ødeleggelse. Noe av den estetiske kvaliteten er forringet av hakk, hull, maling og bruksslitasje.

Tid og kostnader

Normalt er det nærmest alltid mer kostnadseffektivt å kjøpe nytt trevirke, i tillegg er det stor etterspørsel etter returvirke til energigjenvinning.

Miljøgevinst

Tre er en fornybar ressurs som har høy verdi både som byggemateriale og som biomasse til energiutnyttelse.

Gjenbrukspotensial

Med enkle forutsetninger og forbehold, kan trevirket bli sendt til energigjenvinning. Trevirket er fra byggeåret, og snart 60 år gammelt og det kan derfor være mer kostnadseffektivt å kjøpe nytt enn å benytte det i lokal ombruk.

5.1.4 Glass

Dokumentasjon

Vinduer i blokkene er fra 1985-90, og det har ikke vært mulig å oppdrive informasjon om disse fra produsenten.

Helse- og miljøskadelige stoffer

Vinduer fra perioden 1975 – 1990 kan inneholde klorparafiner. De aller fleste vindusrammer i tre er innsatt med tinnorganiske treimpregneringsmidler.

Synlige skader

Noen vindusrammer av tre har tegn til råtedannelse. Noen av vinduene er punkterte, og samtlige bærer preg av å være nær den tekniske levetiden.

Miljøgevinst

Produksjon av glass er energikrevende, og har derfor et høyt innhold av bundet energi og CO₂. Det vil derfor alltid være en høy miljøgevinst ved å ombruke fremfor å produsere nytt.

Gjenbrukspotensialet

Glassene oppfyller ikke gjeldende krav til energiltak, og kan derfor ikke lokalt ombrukes i bygningsdeler hvor det er U-verdikrav. Noen av glassene kan likevel ombrukes i for eksempel innervegger. Da må det dokumenteres med analyser av vinduene ikke inneholder klorparafiner eller andre miljøskadelige stoffer.

Vinduene kan leveres til mottak for farlig avfall.

5.1.5 Metall

Dokumentasjon

Det finnes ingen dokumentasjon av bygningsmaterialer av metall i blokkene.

Helse- og miljøskadelige stoffer

Metallkomponenter kan være behandlet med maling og overflatebehandling som inneholder blant annet PCB, tungmetaller og andre helse- og miljøskadelige stoffer.

Synlige skader

Stålplatene i fasaden fremstår som hele og uten større skader.

Tid og kostnader

Stålplatene kan la seg demonteres i hele plater. Kostnadsbesparelsene kan være store ved å ombruke store metallkomponenter.

Miljøgevinst

Metaller er energikrevende å produsere, og miljøgevinsten kan ved ombruk være store. Det finnes ellers gode returordninger for blant annet stål.

Gjenbrukspotensialet

Stål som ikke inneholder helse- og miljøskadelige stoffer kan ombrukes lokalt, eller leveres til materialgjenvinning.

5.1.6 Farlig avfall

Spesielt følgende materialer i blokkene som ikke er omtalt ellers, kategoriseres som farlig avfall:

- Asbestplater benyttet i himling på tørkerom i kjelleren
- Asbestplater i yttertaket
- Eternittplater i fasaden

Disse bygningsmaterialene skal i fremtidige bygningsprosjekter i blokkene asbestsaneres av en virksomhet med tillatelse til asbestarbeid av arbeidstilsynet.

5.2 Resultater fra simulering av klimagassutslipp

I denne delen av oppgaven, er det gjennomført livsløpsvurderinger og det presenteres resultater fra simuleringer gjort i programvaren One Click LCA. One Click LCA er en programvare for livsløpsvurderinger, utviklet av det finske firmaet Bionova. Vurderingene gjennomføres i henhold til NS 3720 Metoder for klimagassberegninger for bygninger, og dekker livssyklusfaser fra vugge til grav. Generelt om klimagassberegninger er nærmere omtalt i kapittel 3.6. Programvaren er blant annet tilgjengelig på norsk, og har oppdaterte EPD-databaser fra blant annet EPD Norge. Statsbygg har blant annet valgt One Click LCA for å kunne oppnå en reduksjon av karbonutslipp nasjonalt, og programvaren er ellers blant annet anerkjent av konsulentfirmaer som Multiconsult, Norconsult, Sweco, Rambøll og COWI.

Simuleringene er gjort med utgangspunkt i to ulike tilfeller. Dette er ikke gjort for å danne et sammenligningsgrunnlag, men heller for å synliggjøre forskjellene i de ulike tilfellene. Det første tilfellet, dagens situasjon, tar for seg en tilnærmet livsløpsvurdering av bygningsmaterialene som benyttes for blokkene i dag. Da det ikke har vært mulig å oppdrive nøyaktig de samme bygningsmaterialene som finnes ved blokkene i dag, i programvaren One Click LCA, har det istedenfor blitt benyttet tilnærmet like materialer som er tilgjengelige i programvaren.

I kapittel 5.2.1 omtales klimagassresultatene for dagens situasjon av blokkene. Det vil si materialene i bygget og energibruken i drift. I kapittel 5.2.2 omtales klimagassresultatene for materialene i bygget og energibruken i drift for et tilsvarende referansebygg i massivtre. I kapittel 5.2.3 oppsummeres hovedfunnene fra simuleringene, og resultatene kommenteres.

5.2.1 Dagens situasjon

Med utgangspunkt i tilgjengelig informasjon om blokkene, er det gjennomført en livsløpsvurdering i programvaren One Click LCA for en av blokkene.

De opprinnelige bygningsmaterialene som ble brukt i blokkene, er ikke tilgjengelige i programvaren. Dette skyldes at materialene er fra byggeåret 1961, og programvaren har kun tilgjengelig moderne materialer hvor det finnes EPDer. Det er derfor besluttet å benytte mest mulig lignende materialer i simuleringen, i forhold til det som finnes i bygningene. Med andre ord betyr det at livsløpsvurderingen som presenteres i delkapittelet ikke er en nøyaktig representasjon, og må bli sett på som veiledende.

Virkemåten til One Click LCA er beskrevet i delkapittelet over, og de fleste forutsetninger er bestemt av programvaren og simuleringen er gjort med forenklinger og antagelser. De viktigste brukerbestemte parameterne som er lagt til grunn:

- Materialer, arealer og mengder som beskrevet i kapittel 5.1
- Energiforbruk 216 kWh/m²/år

Energiforbruket er et gjennomsnitt utfra målerdata fra strømmålerne til boligene i blokkene, og gjenspeiler den faktiske situasjonen.

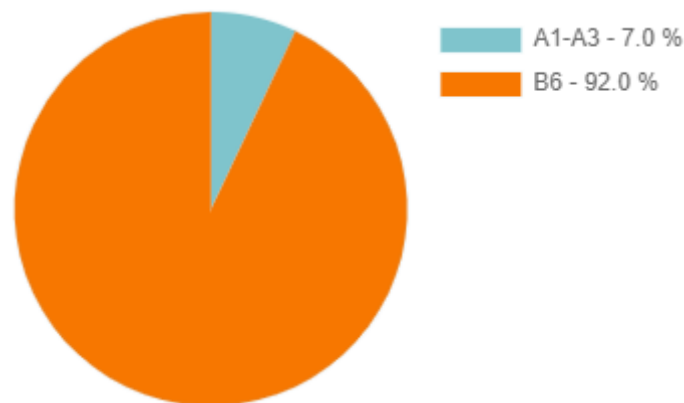
Det henvises ellers til Vedlegg B for One Click LCA resultatrapport. Alle figurer presentert i delkapittelet, er hentet direkte fra programvaren.

Livsløpsvurderingen er gjennomført for vugge til grav, og hovedresultatene er presentert med avrundede tall i Tabell 4.

Tabell 7 Livsløpsvurdering for dagens situasjon

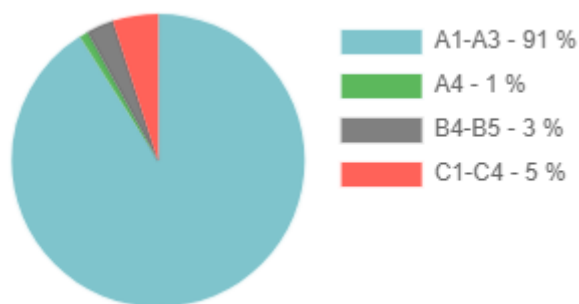
	Sektor	Klimagassutslipp [tonn CO ₂ -ekvivalenter]
A1-A3	Byggematerialer	187,8
A4	Transport til byggeplass	2,3
A5	Byggeplass	10,9
B4-B5	Utskiftning og renovering	8,0
B6	Energibruk i drift	2398,4
C1-C4	Livsløpets slutt	10,8
Totalt		2618,0

Klimagassutslippene for en av blokkene ble beregnet til 2 618 tonn CO₂-ekvivalenter. Av dette utgjør energibruk i drift, som forventet, en signifikant hovedandel på 92% av klimagassutslippene. Produksjon av bygningsmaterialene som ble brukt ved oppføring av bygningen utgjør 7% av de livsløpsbaserte klimagassutslippene, se Figur 7 under.



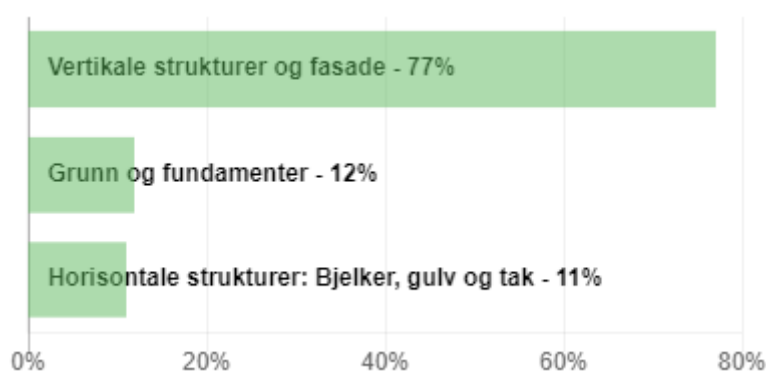
Figur 7 Prosentvis fordeling av klimagassutslipp

Ved prosentvisfordeling av materialklimagassutslipp per livssykluskategori, ser man at produksjon av bygningsmaterialer utgjør 91%, transport til byggeplass 1%, utskiftning og renovering 3% og utslipp i forbindelse med livsløpets slutt 5%, som vist i Figur 8 under.



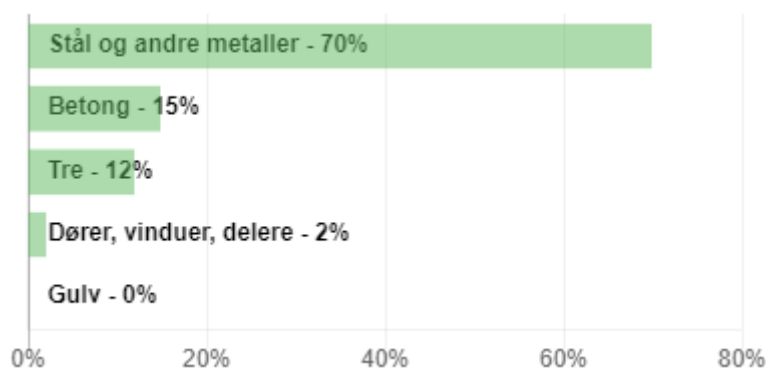
Figur 8 Materialklimagasser per livssykluskategori

Av de mest medvirkende bygningselementene som står for de største utslippene, utgjør vertikale strukturer og fasade 77% av klimagassutslippene for bygningsmaterialer. De horisontale strukturene utgjør tilsammen 11% og grunn og fundamenter utgjør 12%, som vist i Figur 9.



Figur 9 Mest medvirkende bygningselementer

Figuren under, Figur 9, viser klimagassutslippene fordelt på materialer. Stålandelen er 70% av klimagassutslippene for bygningsmaterialer. Betong og tre utgjør henholdsvis 15% og 12%.



Figur 10 Medvirkende materialer

Resultatene viser at klimagassutslippene for bygningsmaterialer er betraktelig lavere enn utslipp knyttet til energibruk i drift av bygningen. Det er to hovedfaktorer som påvirker dette. Det første er mengden bygningsmaterialer som er benyttet i blokkene. Det er brukt et forholdsvis lite antall ulike bygningsmaterialer, noe som skyldes byggemåten og valg som er gjort i byggeåret. Den andre faktoren er knyttet opp mot bruken eller mangel på bygningsisolasjon. Da blokkene er uisolerte, forventes det

en betydelig andel energibruk til romoppvarming, noe som også bekreftes av målt energibruk. Den valgte energimiksen ved klimagassberegningene er et forventet gjennomsnitt de neste 60 årene for EU28 + Norge, med tilhørende klimagassutslipp fra disse energikildene.

Ser man spesifikt på bygningsmaterialene, er det til dels store forskjeller i utslippene fra materialene i bygningen. Stål er ansvarlig for en betydelig hovedandel av utslippene, hvor fasadeplatene av stål utgjør den største andelen. Betong utgjør i bygningen en betraktelig lavere andel av klimagassutslippet enn stål, og trematerialer er ansvarlig for en noe lavere andel av klimagassutslippene enn betong.

Når energiforbruket alene er ansvarlig for 92% av klimagassutslippene for blokkene, og bygningsmaterialer kun utgjør 7%, må det være et betydelig potensial for å kutte klimagassutslippene ved å redusere energiforbruket. I fremtidige rehabiliteringsarbeider ved blokkene, må dette stå sentralt. Ved å etterisolere blant annet yttervegger, tak og gulv kan energiforbruket til romoppvarming bli betraktelig redusert.

5.2.2 Referansebygg i massivtre

For å kunne synliggjøre forskjeller, er klimagassutslippene for en tilsvarende boligblokk bygd etter TEK17 i massivtre blitt simulert i One Click LCA og blir benyttet som referansepunkt for å kunne synliggjøre forskjeller.

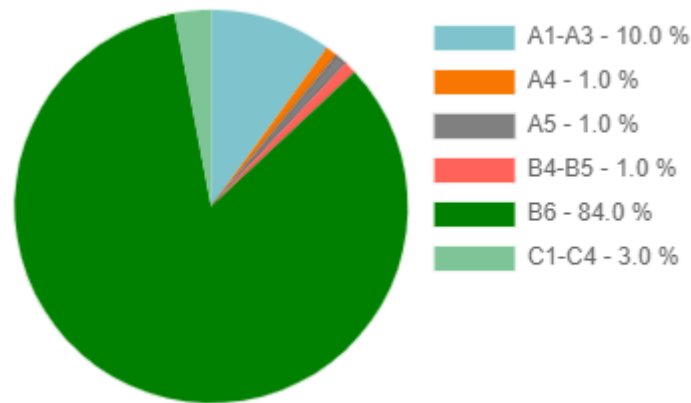
Materialvalgene for referansebygget ble bestemt med bakgrunn i et mål om bruk av massivtre og en balanse mellom lave klimagassutslipp og kostnader. Referansebyggets yttervegger, dekker og kompakttak består av massivtre. Det er benyttet mineralull i bygningsdelene for å oppfylle energikrav i henhold til TEK17. Energiforbruket er satt til 90 kWh/m²/år, noe lavere enn energirammen i TEK17 og mer i tråd med passivhuskravene i NS 3700. Boligblokken har ellers arealer som beskrevet i kapittel 5.

Den henvises til Vedlegg C for detaljert resultatrapport. Alle figurer i delkapittelet, er hentet direkte fra programvare. Livsløpsvurderingen er gjennomført for vugge til grav, og hovedresultatene er presentert i Tabell 5 med avrundede tall.

Tabell 8 Livsløpsvurdering for referansebygg i massivtre

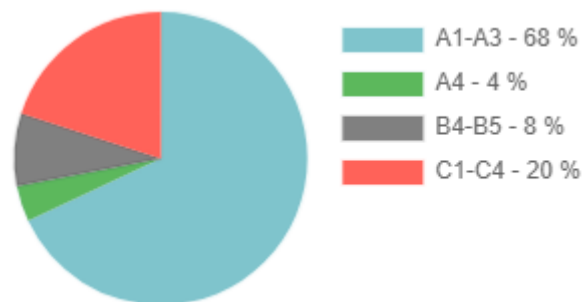
	Sektor	Klimagassutslipp [tonn CO ₂ -ekvivalenter]
A1-A3	Byggematerialer	83
A4	Transport til byggeplass	4,3
A5	Byggeplass	9
B4-B5	Utskiftning og reovering	9,8
B6	Energibruk i drift	683
C1-C4	Livsløpets slutt	24,6
Totalt		814

I referansebygget utgjør klimagassutslippene totalt 814 tonn CO₂-ekvivalenter, med de største bidragene fra byggematerialer og energibruk i drift på henholdsvis 83 og 683 tonn CO₂-ekvivalenter. Med andre ord, bidraget for byggematerialer utgjør 10%, energibruk i drift 84%, og de resterende bidragene utgjør 6% av de totale klimagassutslippene som vist i Figur 10 under.



Figur 11 Prosentvis fordeling av klimagassutslipp

For materialklimagasser per livssykluskategori, utgjorde bygningsmaterialer 68%, transport til byggeplass 4%, utskiftning og renovering 8% og livsløpets slutt 20%, som vist i Figur 12 under.



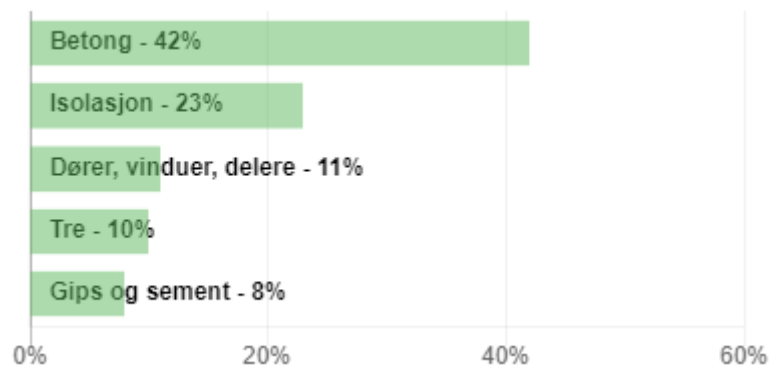
Figur 12 Materialklimagasser per livssykluskategori

Som det fremkommer av Figur 13, er 45% av klimagassutslippene for bygningsmaterialer fra de horisontale strukturene, 22% fra de vertikale strukturene og 32% fordeler seg fra grunn og fundamenter, og andre strukturer og materialer.



Figur 13 Mest medvirkende bygningselement

For de ulike bygningsmaterialene, utgjorde betong 42%, isolasjon 23%, 11% for vinduer, 10% for trematerialer og gips utgjorde 8% klimagassutslippene for bygningsmaterialer, som vist i Figur 12.



Figur 14 Mest medvirkende materialer

For referanseblokken i massivtre som tilfredsstiller energikrav i TEK17, viser simuleringen i One Click LCA at 84% av klimagassutslippene kommer fra energibruk i drift. Bygningsmaterialene står for kun 10% av de totale utslippene, en forskjell på 600 tonn CO₂-ekvivalenter. Av bygningsmaterialene gir betong det største bidraget etterfulgt av isolasjonsmaterialer. De horisontale strukturene har om lag dobbelt så stort bidrag til klimagassutslippene som de vertikale.

5.2.3 Oppsummering

Det er gjort to alternative simuleringer av boligblokken, som er gjort med visse forbehold og omtalt i kapittel 5 og 5.1. I kapittel 5.2.1 Dagens situasjon, skal simuleringen representere livsløpsvurderingen for boligblokken i Beisfjordveien i dag og resultater fra simuleringen er omtalt i delkapittelet. I kapittel 5.2.2 er et referansebygg av en tilsvarende boligblokk som tilfredsstillende energikrav iht. TEK17 blitt simulert og resultatene er presentert i delkapittelet, og blir benyttet i oppgaven for å synliggjøre forskjellene mellom et eldre bygg og et nybygg. Referansebygget har samme areal og funksjon som dagens boligblokk, det vil si at areal og funksjon er like i begge simuleringene. Hovedforskjellen i forutsetningene til de ulike simuleringalternativene er hovedsakelig ulike bygningsmaterialer, mengder samt energiforbruk.

Resultatene viser at byggematerialene som ble brukt ved bygging av eksisterende boligblokk har et klimagassutslipp som er om lag 2,3 ganger høyere enn materialene i boligblokken som er benyttet som referanse. Forskjellen er på rundt 105 tonn CO₂-ekvivalenter, rundt 56% av klimabidraget fra bygningsmaterialene som finnes i bygningen i dag. De største bidragene i forskjellene kommer fra den noe høye bruken av stål i eksisterende boligblokk, og omfattende bruk av trematerialer i referansebygget.

På forhånd var det forventet at eksisterende boligblokk ville ha et betraktelig høyere klimagassutslipp knyttet til energibruk i drift enn referansebygget. På dette punktet hadde eksisterende boligblokk omtrent 3,5 ganger høyere klimagassutslipp enn referansebygget. Forskjellen var på rundt 1715 tonn CO₂-ekvivalenter, eller om lag 71% av dagens klimautslipp. Denne signifikante forskjellen skyldes hovedsakelig at blokken i dag ikke er isolert, og har dermed et betraktelig behov for romoppvarming og medfølgende større energibehov.

De totale klimagassberegningresultatene for simuleringene viser at eksisterende boligblokk har 1804 tonn CO₂-ekvivalenter høyere klimagassbidrag enn referansebygget. Klimagassutslippene for eksisterende boligblokk er med andre ord 3,2 ganger høyere enn referansebygget.

Klimagassbidragene fra bygningsmaterialer for eksisterende boligblokk og referansebygget er henholdsvis 7% og 10%, og energibruk i drift for simuleringene er 92% og 84% for henholdsvis dagens boligblokk og referansebygget. Forskjellen i de totale klimagassutslippene for begge simuleringene er på 69%.

6 Diskusjon

I fremtiden vil klimaendringer påvirke bygningsbransjen. Enten det er spesifikt knyttet til bygningsmaterialer, lokalisering av tomt, eller andre faktorer vil fremtidens klima være med å påvirke hvordan boliger bygges. Bevisste forbruker og skjerpede forskriftskrav, normer og standarder har allerede bidratt til man har fått et miljøfokus i bransjen. Livsløpsvurderinger i prosjekter vil kunne få en økende og viktig rolle fremtidens byggeprosjekter.

Høyverdige isolasjonsmaterialer blir utkonkurrert av tradisjonelle isolasjonsmaterialer på alle punkter utenom varmekonduktivitet. Dette skyldes sårbarheten til høyverdige isolasjonsmaterialer, i tillegg til å være en direkte konsekvens av at materialene er forholdsvis nye. Mulige fremtidige isolasjonsmaterialer skal forbedre svakhetene til dagens høyverdige isolasjonsmaterialer, og på denne måten erstatte tradisjonelle isolasjonsmaterialer.

Vakuumisolasjonspaneler har en varmekonduktivitet som er opp til ti ganger lavere enn mineralull, men til tross for dette er panelene kostbare, sårbare og forbundet med høye klimagassutslipp ved produksjon.

For betong og stål kan man se at gjenbruk og endring i produksjonsprosessen er et stort forskningsområde med gode muligheter som kan bidra til at materialene blir mer miljøvennlige. I framtiden kan en mer bevisst prosjektering, grundig FDV-dokumentasjon, samt utviklede ombrukbare bygningselementer redusere tidsbruken for ombruk i vesentlig grad og ikke representere noen økonomisk ulempe, men kanskje heller en økonomisk gevinst. Produksjon av sement gir også store CO₂-utslipp. Desto mer som ombrukes av hele bygninger eller bygningselementer, desto mindre går til deponier, og desto mindre forbrukes av materialer og energi i forbindelse med ny produksjon.

I caseprosjektet ble det funnet at noen av bygningsmaterialene, som betong og trevirke, kan være tilgjengelig for henholdsvis ombruk og energigjenvinning. Da det ikke har vært gjennomført en miljørapport for bygningsmassen, har erfaringsdata vært benyttet for å vurdere miljøgifter. Forurensningsgraden er av stor betydning for å avgjøre om et material kan gjenbrukes.

Livsløpsvurderingene i caseprosjektet viste store forskjeller når det ble vurdert opp mot et referansebygg. Hovedforskjellen i det totale klimagassutslippet stammet fra energibruk i drift. Dette bekrefter at det alltid vil være lønnsomt fra et klimaperspektiv å redusere energibehovet til en bygning ved å øke mengden isolasjonsmaterialer.

7 Konklusjon

Til tross for stadig skjerpede forskriftskrav, standarder og normer i bygningsbransjen, nyter de tradisjonelle bygningsmaterialene en unik posisjon. Selv om det finnes et behov for isolasjonsmaterialer som er mer effektive enn de tradisjonelle isolasjonsmaterialene, observeres det ikke en endring i markedsdominansen for disse materialene. Vurderes varmekonduktiviteten til høyverdige isolasjonsmaterialer mot de tradisjonelle, sees det at de høyverdige kan ha en varmekonduktivitet som er opp til ti ganger lavere. Likevel utkonkurreres de høyverdige isolasjonsmaterialer på resterende vurderingspunkter. Enten det gjelder robusthet, pris eller livsløpsvurderinger kommer de tradisjonelle isolasjonsmaterialene best ut. Gitt at miljøvennlighet er den faktoren som veier tyngst, og arealbesparelse ikke er nødvendig, så vil de tradisjonelle isolasjonsmaterialene fremdeles være å foretrekke fra et miljø- og klimaperspektiv.

Av de høyverdige isolasjonsmaterialene, kan vakuumisolasjonspaneler og isolasjonsmaterialer med aerogel bli noe man ser mer av i nær fremtid. For fremtidige isolasjonsmaterialer kan nanoisolasjonsmaterialer være det materialet man kommer til å benytte i fremtiden, men dynamiske isolasjonsmaterialer har også et stort potensial. Disse materialene befinner seg på et tidlig forskningsstadium, og fremtiden er umulig og spå. For alt man vet, så har ikke isolasjonsmaterialet man benytter i fremtiden ennå blitt oppfunnet.

Produksjon av både stål og betong er en svært energikrevende prosess og forbundet med høye klimagassutslipp. Det kan for stål og betong observeres økte andeler i resirkuleringsgraden og endringer i produksjonsmetodene, noe som har bidratt til at disse materialene kommer bedre ut i livsløpsvurderinger. Dette kan bidra til at materialene opprettholder sin egen popularitet. Massivtre og dens popularitet er økende, spesielt på grunn av sine miljøvennlige egenskaper.

Av gjenbrukspotensialet som ble gjennomgått i caseprosjektet, vurderes det at betong i bygningen kan ombrukes og trevirke kan bli sendt til energigjenvinning. Ved en vurdering av caseprosjektets livsløpsvurdering, ble det funnet at den eksisterende bygningens totale klimagassutslipp var 3,2 ganger høyere enn et tilsvarende referansebygg.

8 Forslag til videre arbeid

Det hadde vært interessant og fått belyst hvor store markedsandeler et nytt produkt må ha, før man kan anslå at produksjonsprosessen er optimalisert og produktet kan ellers konkurrere med samme forutsetninger som likeverdige produkter.

Det hadde og vært av interesse og fått belyst hvordan SMART-produkter, fremtidige isolasjonsmaterialer og PCM kan integreres i fullverdige løsninger for å best utnytte hverandres egenskaper.

9 Annerkjennelser

Oppgaven ble **15. februar 2019** tildelt masterstipend fra Norsk boligbyggelags landsforening, NBBL. Stipendordningen er omtalt på NBBLs hjemmesider (NBBL, 2019).

Vedleggsliste

Vedlegg A – Resultatrapport fra One Click LCA, dagens situasjons.

Vedlegg B – Resultatrapport fra One Click LCA, referansebygg.

Referanseliste

Aarstad Jarle, Glasø Geir, Bunkholt Aasmund, 2011, Fokus på tre: Massivtre, Norsk Treteknisk Institutt, Oslo, Norge.

Aspen Aerogel, 2018, Product Documents. Tilgjengelig (20.03.2019):
<https://www.aerogel.com/resources/common/userfiles/file/Data%20Sheets/Spaceloft-European-Datasheet-EN.pdf>

Avfall Norge, 2001, Gjenvinningsbegreper – anbefaling fra NRF. Tilgjengelig (24.03.2019):
<http://kurs.avfallnorge.no/artikkel.cfm?pArticleId=21997&pArticleCollectionId=3918>

Baetens Ruben, Jelle Bjørn Petter, Gustavsen Arild, 2011, Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review, SINTEF Building and Infrastructure, Trondheim, Norway.

Baetens Ruben, Jelle Bjørn Petter, Gustavsen Arild, Grynning Steinar, 2010, Gas-filled panels for building applications: a state-of-the-art review, SINTEF Building and infrastructure, Trondheim, Norge.

Byggalliansen, 2019, Sertifisering BREEAM. Tilgjengelig (22.03.2019):
<https://byggalliansen.no/sertifisering/breeam/>

Cao Sunliang, Gustavsen Arild, Uvsløkk Sivert, Jelle Bjørn Petter, Gilbert Jacques, Maunuksela Jussi, 2010, The effect of Wall-integrated phase change material panes on the indoor air and wall temperature – hot box experiment, Department of Physics, University of Jyväskylä, Finland.

Gangåssæter Haakon Fossen, Jelle Bjørn Petter, Mofid Sohrab Alex, Gao Tao, 2017, Air-filled nanopore based high-performance thermal insulation materials, NTNU, Trondheim, Norge.

Goldstein Research, 2018, Global Aerogel Market 2017-2025: Industry Analysis, Size, Share, Strategies, Growth Drivers, Demand & Future Forecast, New York, USA

Grandcolas Mathieu, Etienne Georges, Tilset Bente Gilbu, Gao Tao, Sandberg Linn Ingunn Christie, Gustavsen Arild, Jelle Bjørn Petter, 2013, Hollow Silica Nanospheres as a Superinsulating Material, SINTEF Materials and Chemistry, Oslo, Norge.

Huseierne, 2013, Supertynn isolasjon slipper lyset inn. Tilgjengelig (21.03.2019):
<https://www.huseierne.no/hus-bolig/tema/oppussing/supertynn-isolasjon-slipper--lyset-inn/>

Jelle Bjørn Petter, Gustavsen Arild, Baetens Ruben, 2010, The high performance thermal building insulation materials and solutions of tomorrow, SINTEF Building and infrastructure, Trondheim, Norge.

Jelle Bjørn Petter, 2011, Traditional, State-of-the-art and Future Thermal Building Insulation Materials and Solutions – Properties, Requirements and Possibilities, SINTEF Building and Infrastructure, Department of Materials and Structures, Trondheim, Norway.

Jelle Bjørn Petter og Baetens Ruben, 2010, Nanotechnology and possibilities for the thermal building insulation materials of Tomorrow, SINTEF Building and infrastructure, Trondheim, Norge.

Gangåssæter Haakon Fossen, Jelle Bjørn Petter, Mofid Sohrab Alex, Gao Tao, 2017, Air-filled nanopore based high-performance thermal insulation materials, NTNU, Trondheim, Norge.

Zhou D., Zhao C. Y., Tian Y., 2011, Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications, University of Warwick, Storbritannia.

Goldstein Research, 2018, Global Aerogel Market 2017-2025: Industry Analysis, Size, Share, Strategies, Growth Drivers, Demand & Future Forecast, New York, USA

Merget R., Bauer T., Küpper H., Philippou S., Bauer H.D., Breitstadt R., Bruening T., 2002, Health hazards due to inhalation of amorphous silica, Springer-Verlag, Bochum, Tyskland

Gao Tao, Jelle Bjørn Petter, Gustavsen Arild, Jacobsen Stefan, 2013, Aerogel-incorporated concrete: An experimental study, NTNU, Trondheim Norge

Gao Tao, Ihara Takeshi, Grynning Steinar, Jelle Bjørn Petter, Lien Anne Gunnarshaug, 2015, Perspective of aerogel glazings in energy efficient buildings, SINTEF Building and Infrastructure, Trondheim, Norge

Lolli Nicola og Andresen Inger, 2016, Aerogel vs. argon insulation in windows: A greenhouse gas emissions analysis, The Research Centre on Zero Emission Buildings ZEB, Trondheim, Norge

Huseierne, 2013, Supertynn isolasjon slipper lyset inn. Tilgjengelig (21.03.2019): <https://www.huseierne.no/hus-bolig/tema/oppussing/supertynn-isolasjon-slipper-lyset-inn/>

Jelle Bjørn Petter, Gao Tao, Sandberg Linn Ingunn Christie, Tilset Bente Gilbu, Grandcolas Mathieu, Gustavsen Arild, 2014, Thermal superinsulation for building applications – from concepts to experimental investigations, SINTEF Building and infrastructure, Trondheim, Norge.

Grynning Steina, Baetens Ruben, Jelle Petter Bjørn, Gustavsen Arild, Uvsløkk Sivert, Meløysund Vivian, 2009, Vakuumisolasjonspaneler for bruk i bygninger – egenskaper, krav og muligheter, SINTEF Building and Infrastructure, Department of Materials and Structures, Trondheim, Norway.

Kalnæs Edsjø Simen, Jelle Petter Bjørn, 2013, Vacuum Insulation Panel Products: A state-of-the-art Review and Future Research Pathways, SINTEF Building and Infrastructure, Department of Materials and Structures, Trondheim, Norway.

Pär Johansson, 2014, Building Retrofit using Vacuum Insulation Panels, Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Tehcnology, Gothenburg, Sweden.

Karami Peyman, Al-Ayish Nadia, Gudmundsson Kjartan, 2015, A comparative study of the environmental impact of Swedish residential buildings with vacuum insulation panels, Department of Civil and Architectural Engineering, KTH-Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden

Schiavoni S., D'Alessandro F., Bianchi F., Asdrubali F., 2016, Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis, University of Perugia, Perugia, Italia.

Sintef.no, 2019, Gjenbrukte gravemasser kan erstatte naturlig tilslag i betong. Tilgjengelig (08.04.2019): <https://www.sintef.no/siste-nytt/gjenbrukte-gravemasser-kan-erstatte-naturlig-tilslag-i-betong/>

UiT.no, 2019, Får 14 mill. til forskning på gjenvinning av betong. Tilgjengelig (10.04.2019): https://uit.no/nyheter/artikkel?p_document_id=625603&p_dim=265634

Forskning.no, 2019, En vill idé kan bli til miljøvennlig betong. Tilgjengelig (03.04.2019): <https://forskning.no/materialteknologi-miljo-ntnu/en-vill-id-kan-bli-til-miljovennlig-betong/1317522>

Eurofer, 1995, Miljøbygging i stål, Belgia.

Hagen Rolf, Haupt Heather Mason, Bramslev Katharina, 2017, Grønn materialguide: veileder i miljøriktig materialvalg versjon 2.2, Oslo, Norge.

Solvik Fred, 2019, Bygningsmaterialer. Tilgjengelig (19.03.2019): <https://snl.no/bygningsmaterialer>

Callister William D., Rehwisch David G., 2011, Materials Science and Engineering, Jon Wiley & Sons Pre Ltd. ISBN: 978-0-470-50586-1, New Jersey, USA.

SINTEF, 2018, 471.008 Beregning av U-verdi etter NS-EN ISO 6946, SINTEF Byggforsk, Oslo, Norge.

Schiavoni S., D'Alessandro F., Bianchi F., Asdrubali F., 2016, Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis, University of Perugia, Perugia, Italia.

SINTEF, 2017, 520.320 Brannteknisk klassifisering og dokumentasjon av bygningsdeler og byggeprodukter, SINTEF Byggforsk, Oslo, Norge.

SINTEF, 2014c, 543.414 Bruk av lydabsorbenter i bygninger. Prinsipper og datasamling, SINTEF Byggforsk, Oslo, Norge.

Environmental Management, 2008, Technology Readiness Assessment (TRA) / Technology Maturation Plan (TMP) Process Guide, U.S. Department of Energy – Office of Environmental Management, Washington D.C., USA.

NBBL, 2019, NBBLs masterstipend. Tilgjengelig (04.05.2019): <https://www.nbbl.no/masterstipend>

SINTEF, 2012, 470.114 Byggevarer – egnethet for materialgjenvinning, SINTEF Byggforsk, Oslo, Norge.

Sørnes Kari, Nordby Anne Sigrid, Fjeldheim Henning, Hashem Said Moqim Bani Hashem, Mysen Mads, Schlanbusch Reidun Dahl, 2014, Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer, SINTEF Byggforsk, Oslo, Norge.

Moldekleiv Rebecca Saxe og Mynors Maria Eileen Towers, 2017, Gjenbruk av bygningskomponenter og -materialer, NMBU, Ås, Norge.

SINTEF, 2016a, 700.008 Eldre byggevarer. Varmeisolasjonsprodukter, metallvarer og glass, SINTEF Byggforsk, Oslo, Norge.

SINTEF, 2016b, 700.006 Eldre byggevarer. Trelast, trevarer, kledningsplater, rulleprodukter og belegg, SINTEF Byggforsk, Oslo, Norge.

SINTEF, 2016c, 700.007 Eldre byggevarer. Sement, betong, betongprodukter, mørtel, naturstein og keramiske produkter, SINTEF Byggforsk, Oslo, Norge.

SINTEF, 2018, 700.802 Miljøkartlegging og miljøsanering ved riving og ombygging, SINTEF Byggforsk, Oslo, Norge.

Miljødirektoratet, 2019, Climate in Svalbard 2100 – a knowledge base for climate adaptation, Miljødirektoratet, Trondheim, Norge.

Miljødirektoratet, 2015, Klima i Norge 2100, Miljødirektoratet, Trondheim, Norge.

Svanemerket, 2017, Småhus, leilighetsbygg og bygninger for barnehage og skole. Tilgjengelig (07.04.2019): <http://www.svanemerket.no/svanens-krav/byggevarer-og-hus/hus/>

Svanemerket, 2019, Produkter. Tilgjengelig (07.04.2019): <https://www.svanemerket.no/produkter/>

Svanemerket, 2019, FNs bærekraftsmål og Svanemerket. Tilgjengelig (07.04.2019): <http://www.svanemerket.no/miljo/fns-barekraftsmal-og-svanemerket/>

Ecolabel, 2019, EU Ecolabel – Environment – European Commission. Tilgjengelig (20.03.2019): http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/index_en.htm

Ecolabel, 2018, Facts and Figures. Tilgjengelig (20.03.2019): <http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/facts-and-figures.html>

FSC, 2019, Hva er FSC. Tilgjengelig (20.03.2019): <https://no.fsc.org/hva-er-fsc>

NAAF, 2018, NAAFs merkeordning. Tilgjengelig (20.03.2019): <https://www.naaf.no/om-naaf/naafs-merkeordning/>

Forbrukerrådet, 2019, NAAF. Tilgjengelig (20.03.2019): <https://www.forbrukerradet.no/merkeoversikten/helse/naaf/>

SINTEF, 2015b, 473.003 Energieffektive bygninger. Begreper og definisjoner, SINTEF Byggforsk, Oslo, Norge.

Schlanbusch Reidun Dahl, Fufa Selamawit Mamo, Sørnes Kari, Kristjandsdottir Torhildur, 2014, Energi- og klimagassanalyse av isolasjonsmaterialer, SINTEF Byggforsk, Oslo, Norge.

SINTEF, 2014b, 470.101 Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper, SINTEF Byggforsk, Oslo, Norge.

SINTEF, 2015a, 470.102 Metodiske valg og problemstillinger ved livsløpsvurderinger (LCA), SINTEF Byggforsk, Oslo, Norge.

PEFC, 2019, Det norske sertifiseringssystemet. Tilgjengelig (23.03.2019): <https://www.pefc.no/var-standard/det-norske-sertifiseringssystemet>

SINTEF, 2014a, 470.103 Miljødeklarasjon (EPD) av byggevarer, SINTEF Byggforsk, Oslo, Norge.

NHP4, 2017, Handlingsplan 2017 – 2020 – Nasjonal handlingsplan for bygg- og anleggsavfall (NHP4), NHP Sekretariatet, Norge.

SINTEF, 2014, BVN 50.100 Registrering av produkter. Søknad og vilkår, Sintef Byggforsk, Oslo, Norge.

SINTEF, 2016, 570.001 Krav til produktdokumentasjon for omsetning og bruk av byggevarer, Sintef Byggforsk, Oslo, Norge.

Sjøgren-Erichsen Christine, 2015, Klimaendringer: Kunnskap og holdninger, NTNU, Trondheim, Norge.

Entity users

Klaus Gjerde

Avsnitt

A1-A3

A1-A3

A1-A3

A4

A4

A4

A5

A5

A5

C1-C4

C1-C4

C1-C4

D

D

D

A1-A3

A4

A5

C1-C4

D

A1-A3

A1-A3

A4

A5

A5

C1-C4

D

A1-A3

A1-A3

A1-A3

A4

A4

A4

A5

A5

A5

C1-C4

C1-C4

C1-C4

D

D

D

A1-A3

A1-A3
A1-A3
A1-A3
A4
A4
A4
A4
A5
A5
A5
A5
B4-B5
B4-B5
B4-B5
C1-C4
C1-C4
C1-C4
C1-C4
D

A1-A3
A1-A3
A1-A3
A4
A4
A4
A5
A5
A5
C1-C4
C1-C4
C1-C4
D
D
D

A1-A3
A4
A5
B4-B5
C1-C4
D

A1-A3
A4
A5
C1-C4
D

A1-A3

A4
A5
C1-C4
D

B6

Project name

Beisfjordveien - dagens situasjon

Ressurs

Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recy
Forsterkning stål (armering), generisk, 90% recycled content

Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recy
Forsterkning stål (armering), generisk, 90% recycled content

Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recy
Forsterkning stål (armering), generisk, 90% recycled content

Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recy
Forsterkning stål (armering), generisk, 90% recycled content

Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30 (var: lavkarbonklass C), C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recy
Forsterkning stål (armering), generisk, 90% recycled content

Bindingsverksystem av tre for yttervegger per kvm (inkl. Luftespalter per m3), 48x98 mm, 600 mm spacing (Tr
Bindingsverksystem av tre for yttervegger per kvm (inkl. Luftespalter per m3), 48x98 mm, 600 mm spacing (Tr
Bindingsverksystem av tre for yttervegger per kvm (inkl. Luftespalter per m3), 48x98 mm, 600 mm spacing (Tr
Bindingsverksystem av tre for yttervegger per kvm (inkl. Luftespalter per m3), 48x98 mm, 600 mm spacing (Tr
Bindingsverksystem av tre for yttervegger per kvm (inkl. Luftespalter per m3), 48x98 mm, 600 mm spacing (Tr

Høvellast, bartre (Treindustrien)

Høvellast, bartre (Treindustrien)

Høvellast, bartre (Treindustrien)

Høvellast, bartre (Treindustrien)

Høvellast, bartre (Treindustrien)

Betongveggelement, C30/37 - C50/60, TxHxL 80-250/300-4300/300-11500 mm, 500 kg/m2 (Markuciai)
Stålplater, generisk, 0% recycled content (only virgin materials)

Betongveggelement, C30/37 - C50/60, TxHxL 80-250/300-4300/300-11500 mm, 500 kg/m2 (Markuciai)
Stålplater, generisk, 0% recycled content (only virgin materials)

Betongveggelement, C30/37 - C50/60, TxHxL 80-250/300-4300/300-11500 mm, 500 kg/m2 (Markuciai)
Stålplater, generisk, 0% recycled content (only virgin materials)

Betongveggelement, C30/37 - C50/60, TxHxL 80-250/300-4300/300-11500 mm, 500 kg/m2 (Markuciai)
Stålplater, generisk, 0% recycled content (only virgin materials)

Betongveggelement, C30/37 - C50/60, TxHxL 80-250/300-4300/300-11500 mm, 500 kg/m2 (Markuciai)
Stålplater, generisk, 0% recycled content (only virgin materials)

Window with insulated double glazing and PVC-U frame, 1.23 x 1.48 mm, 55kg, 30.21 kg/m2 (QKE/EPPA)

Vindu, 3-lags, treramme, fastkarm, 1.23x1.48 mx105 mm, U-value 0.74, NTech Fixed 105/80 (NorDan)
Bygningsplater i tre, 836 kg/m³, 9.2 kg/m², 11mm, Moistr. 4-9% (Huntonit)

Window with insulated double glazing and PVC-U frame, 1.23 x 1.48 mm, 55kg, 30.21 kg/m² (QKE/EPPA)
Vindu, 3-lags, treramme, fastkarm, 1.23x1.48 mx105 mm, U-value 0.74, NTech Fixed 105/80 (NorDan)
Bygningsplater i tre, 836 kg/m³, 9.2 kg/m², 11mm, Moistr. 4-9% (Huntonit)

Window with insulated double glazing and PVC-U frame, 1.23 x 1.48 mm, 55kg, 30.21 kg/m² (QKE/EPPA)
Vindu, 3-lags, treramme, fastkarm, 1.23x1.48 mx105 mm, U-value 0.74, NTech Fixed 105/80 (NorDan)
Bygningsplater i tre, 836 kg/m³, 9.2 kg/m², 11mm, Moistr. 4-9% (Huntonit)

Window with insulated double glazing and PVC-U frame, 1.23 x 1.48 mm, 55kg, 30.21 kg/m² (QKE/EPPA)
Vindu, 3-lags, treramme, fastkarm, 1.23x1.48 mx105 mm, U-value 0.74, NTech Fixed 105/80 (NorDan)

Window with insulated double glazing and PVC-U frame, 1.23 x 1.48 mm, 55kg, 30.21 kg/m² (QKE/EPPA)
Vindu, 3-lags, treramme, fastkarm, 1.23x1.48 mx105 mm, U-value 0.74, NTech Fixed 105/80 (NorDan)
Bygningsplater i tre, 836 kg/m³, 9.2 kg/m², 11mm, Moistr. 4-9% (Huntonit)

Bygningsplater i tre, 836 kg/m³, 9.2 kg/m², 11mm, Moistr. 4-9% (Huntonit)

Heltregulv av lauvtre, Foreningen Norske Lauvtrebruk, 600 kg/m³, 21x120mm, Moistr. 8%, (Foreningen Norsk
Malte MDF plater, 11 mm, Arbor malte MDF plater til vegg og tak (Arbor-Hattfjelldal)

Heltregulv av lauvtre, Foreningen Norske Lauvtrebruk, 600 kg/m³, 21x120mm, Moistr. 8%, (Foreningen Norsk
Malte MDF plater, 11 mm, Arbor malte MDF plater til vegg og tak (Arbor-Hattfjelldal)

Heltregulv av lauvtre, Foreningen Norske Lauvtrebruk, 600 kg/m³, 21x120mm, Moistr. 8%, (Foreningen Norsk
Malte MDF plater, 11 mm, Arbor malte MDF plater til vegg og tak (Arbor-Hattfjelldal)

Heltregulv av lauvtre, Foreningen Norske Lauvtrebruk, 600 kg/m³, 21x120mm, Moistr. 8%, (Foreningen Norsk
Malte MDF plater, 11 mm, Arbor malte MDF plater til vegg og tak (Arbor-Hattfjelldal)

Heltregulv av lauvtre, Foreningen Norske Lauvtrebruk, 600 kg/m³, 21x120mm, Moistr. 8%, (Foreningen Norsk
Malte MDF plater, 11 mm, Arbor malte MDF plater til vegg og tak (Arbor-Hattfjelldal)

Homogeneous vinyl (PVC) floor covering, 2 mm, 2.75 kg/m² (for 2 mm), 1375 kg/m³, iQ Range (Tarkett)

Homogeneous vinyl (PVC) floor covering, 2 mm, 2.75 kg/m² (for 2 mm), 1375 kg/m³, iQ Range (Tarkett)

Homogeneous vinyl (PVC) floor covering, 2 mm, 2.75 kg/m² (for 2 mm), 1375 kg/m³, iQ Range (Tarkett)

Homogeneous vinyl (PVC) floor covering, 2 mm, 2.75 kg/m² (for 2 mm), 1375 kg/m³, iQ Range (Tarkett)

Homogeneous vinyl (PVC) floor covering, 2 mm, 2.75 kg/m² (for 2 mm), 1375 kg/m³, iQ Range (Tarkett)

Homogeneous vinyl (PVC) floor covering, 2 mm, 2.75 kg/m² (for 2 mm), 1375 kg/m³, iQ Range (Tarkett)

Prefabrikkert konstruksjonselement av trevirke med spikerplater, 460 kg/m³, Moistr. 12%, 16 spikeplates /pc

Prefabrikkert konstruksjonselement av trevirke med spikerplater, 460 kg/m³, Moistr. 12%, 16 spikeplates /pc

Prefabrikkert konstruksjonselement av trevirke med spikerplater, 460 kg/m³, Moistr. 12%, 16 spikeplates /pc

Prefabrikkert konstruksjonselement av trevirke med spikerplater, 460 kg/m³, Moistr. 12%, 16 spikeplates /pc

Prefabrikkert konstruksjonselement av trevirke med spikerplater, 460 kg/m³, Moistr. 12%, 16 spikeplates /pc

Coated fibre cement slates, 4mm, 600x300mm, 1.52 kg/unit, 8.4kg/m², 1950 kg/m³ (Marley Eternit)

Coated fibre cement slates, 4mm, 600x300mm, 1.52 kg/unit, 8.4kg/m², 1950 kg/m³ (Marley Eternit)
Coated fibre cement slates, 4mm, 600x300mm, 1.52 kg/unit, 8.4kg/m², 1950 kg/m³ (Marley Eternit)
Coated fibre cement slates, 4mm, 600x300mm, 1.52 kg/unit, 8.4kg/m², 1950 kg/m³ (Marley Eternit)
Coated fibre cement slates, 4mm, 600x300mm, 1.52 kg/unit, 8.4kg/m², 1950 kg/m³ (Marley Eternit)

Elektrisitet, EU28 + Norge, forventet gjennomsnitt over neste 60 år (IEA/NS3720 energimiks, projeksjon fra 20

Design name	Indicator name	
Beisfjord - dagens situasjon	Klimagassutslipp, NS 3720	
Brukerinngang	Enhet	Klimagassutslipp kg CO2e
	315 m2	17456
	7560 kg	4712
		22168
	315 m2	1651
	7560 kg	32
		1683
	315 m2	845
	7560 kg	233
		1078
	315 m2	2012
	7560 kg	59
		2071
	315 m2	-4447
	7560 kg	-1118
		27000
	630 m2	157
	630 m2	6
	630 m2	30
	630 m2	3
	630 m2	-730
		196
	41,04 m3	2175
		2175
	41,04 m3	86
	41,04 m3	792
		792
	41,04 m3	2164
	41,04 m3	-12990
		5217
	210 m2	9022
	420 m2	127358
		136379
	210 m2	135
	420 m2	139
		274
	210 m2	0
	420 m2	4216
		4216
	210 m2	138
	420 m2	256
		393
	210 m2	-1325
	420 m2	-43886
		141262
	30 m2	1368

50 m2	2930
630 m2	3591
	7890
30 m2	2
50 m2	4
630 m2	29
	35
30 m2	0
50 m2	0
630 m2	726
	726
30 m2	1373
50 m2	3009
	4382
30 m2	2
50 m2	75
630 m2	728
	805
630 m2	-3399
	13837
630 m2	2543
630 m2	7434
	9977
630 m2	47
630 m2	24
	70
630 m2	675
630 m2	1344
	2020
630 m2	1182
630 m2	593
	1775
630 m2	-7098
630 m2	-2771
	13842
150 m2	767
150 m2	2
150 m2	181
150 m2	3621
150 m2	1042
150 m2	-642
	5613
350 unit	7243
350 unit	99
350 unit	1759
350 unit	2484
350 unit	-11606
	11585
350 m2	928

350 m2	19
350 m2	48
350 m2	20
350 m2	113
	1016
298620 kWh	2398362
	2398362

Biogent karbonlagring kg CO2e bio	Klimagassutslipp, LULUC kg CO2e	Masse kg
0		0 181440
0		0 7560
		189000
		0 0
		0 832
		832
		0 14515
		0 774
		15289
		0
		0
		0 152296
		0 643
		205120
1956		0 1245
		0 0
		0 446
		0
		0 1245
1956		1690
27086		0 17237
27086		17237
		0 0
		0 6171
		6171
		0
		0 17237
27086		23408
0		0 50400
0		0 32970
		83370
		0 3528
		0 3627
		7155
		0 0
		0 2296
		2296
		0
		0
		0 45360
		0 25222
		92820
0		0 906

470	0	1710
6426	0	5796
6896		8412
	0	0
	0	0
	0	0
	0	0
	0	0
	0	1936
		1936
	0	1813
	0	3420
		5232
	0	
	0	
	0	
	0	5796
6896		15580
17236	0	9418
7245	0	4725
24481		14143
	0	1224
	0	614
		1839
	0	3591
	0	1681
		5272
	0	
	0	
	0	9418
	0	4725
		21254
24481	0	413
0	0	45
	0	87
	0	1741
	0	
	0	413
		2286
30308	0	19793
	0	0
	0	7086
	0	
	0	19793
30308		26878
0	0	7245

0	0
0	724
0	
0	7162
	7969
0	

Kommentar	Bygningsdel	Ressurstype
120,0 kg steel/ m3	21 - Grunn og fundamenter 21 - Grunn og fundamenter 21 - Grunn og fundamenter	Ferdigbetong for yttervegger og gulv Forsterkning stål for betong (rebar)
120,0 kg steel/ m3	21 - Grunn og fundamenter 21 - Grunn og fundamenter 21 - Grunn og fundamenter	Ferdigbetong for yttervegger og gulv Forsterkning stål for betong (rebar)
120,0 kg steel/ m3	21 - Grunn og fundamenter 21 - Grunn og fundamenter 21 - Grunn og fundamenter	Ferdigbetong for yttervegger og gulv Forsterkning stål for betong (rebar)
120,0 kg steel/ m3	21 - Grunn og fundamenter 21 - Grunn og fundamenter 21 - Grunn og fundamenter	Ferdigbetong for yttervegger og gulv Forsterkning stål for betong (rebar)
120,0 kg steel/ m3	21 - Grunn og fundamenter 21 - Grunn og fundamenter 21 - Grunn og fundamenter	Ferdigbetong for yttervegger og gulv Forsterkning stål for betong (rebar)
anslått mengde	22 - Bæresystemer	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
anslått mengde	22 - Bæresystemer	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
anslått mengde	22 - Bæresystemer	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
anslått mengde	22 - Bæresystemer	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
anslått mengde	22 - Bæresystemer 22 - Bæresystemer	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
190 mm x 540 mm (GL30c)	223 - Bjelker 223 - Bjelker	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
190 mm x 540 mm (GL30c)	223 - Bjelker	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
190 mm x 540 mm (GL30c)	223 - Bjelker 223 - Bjelker	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
190 mm x 540 mm (GL30c)	223 - Bjelker	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
190 mm x 540 mm (GL30c)	223 - Bjelker 223 - Bjelker	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
	23 - Yttervegger	Betong veggelementer
	23 - Yttervegger 23 - Yttervegger	Strukturelle stål- og stålprofiler
	23 - Yttervegger	Betong veggelementer
	23 - Yttervegger 23 - Yttervegger	Strukturelle stål- og stålprofiler
	23 - Yttervegger	Betong veggelementer
	23 - Yttervegger 23 - Yttervegger	Strukturelle stål- og stålprofiler
	23 - Yttervegger	Betong veggelementer
	23 - Yttervegger 23 - Yttervegger	Strukturelle stål- og stålprofiler
	23 - Yttervegger	Betong veggelementer
	23 - Yttervegger 23 - Yttervegger	Strukturelle stål- og stålprofiler
	24 - Innervegger	PVC rammevinduer

24 - Innervegger	Trerammevinduer
24 - Innervegger	Sponplater
24 - Innervegger	
24 - Innervegger	PVC rammevinduer
24 - Innervegger	Trerammevinduer
24 - Innervegger	Sponplater
24 - Innervegger	
24 - Innervegger	PVC rammevinduer
24 - Innervegger	Trerammevinduer
24 - Innervegger	Sponplater
24 - Innervegger	
24 - Innervegger	PVC rammevinduer
24 - Innervegger	Trerammevinduer
24 - Innervegger	Sponplater
24 - Innervegger	
24 - Innervegger	Sponplater
24 - Innervegger	
25 - Dekker	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
25 - Dekker	Fiberplater (MDF)
25 - Dekker	
25 - Dekker	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
25 - Dekker	Fiberplater (MDF)
25 - Dekker	
25 - Dekker	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
25 - Dekker	Fiberplater (MDF)
25 - Dekker	
25 - Dekker	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
25 - Dekker	Fiberplater (MDF)
25 - Dekker	
25 - Dekker	
255 - Gulvoverflate	Plastgulv
255 - Gulvoverflate	Plastgulv
255 - Gulvoverflate	Plastgulv
255 - Gulvoverflate	Plastgulv
255 - Gulvoverflate	Plastgulv
255 - Gulvoverflate	Plastgulv
255 - Gulvoverflate	
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)
26 - Yttertak	
262 - Taktekning	Fiber sement produkter

262 - Taktekning

262 - Taktekning

262 - Taktekning

262 - Taktekning

262 - Taktekning

Fiber sement produkter

Fiber sement produkter

Fiber sement produkter

Fiber sement produkter

Elektrisitet

Datakilde

One Click LCA

One Click LCA

One Click LCA

One Click LCA

One Click LCA

One Click LCA

One Click LCA

One Click LCA

One Click LCA

One Click LCA

Structural timber of spruce and pine, Norwegian Wood Industry Federation

Structural timber of spruce and pine, Norwegian Wood Industry Federation

Structural timber of spruce and pine, Norwegian Wood Industry Federation

Structural timber of spruce and pine, Norwegian Wood Industry Federation

Structural timber of spruce and pine, Norwegian Wood Industry Federation

Structural timber of spruce and pine, Norwegian Wood Industry Federation

Structural timber of spruce and pine, Norwegian Wood Industry Federation

Structural timber of spruce and pine, Norwegian Wood Industry Federation

Structural timber of spruce and pine, Norwegian Wood Industry Federation

Structural timber of spruce and pine, Norwegian Wood Industry Federation

EPD Precast massive wall Markučiai

One Click LCA

EPD Precast massive wall Markučiai

One Click LCA

EPD Precast massive wall Markučiai

One Click LCA

EPD Precast massive wall Markučiai

One Click LCA

EPD Precast massive wall Markučiai

One Click LCA

EPD PVC-U plastic windows with the dimensions 1.23 x 1.48 m and insulated double-glazing QKE e.V. EPPA ivz

NorDan Ntech Fixed window 150/80, NorDan AS
NEPD00296E Huntonit building boards ECO reg 00000147

EPD PVC-U plastic windows with the dimensions 1.23 x 1.48 m and insulated double-glazing QKE e.V. EPPA ivz
NorDan Ntech Fixed window 150/80, NorDan AS
NEPD00296E Huntonit building boards ECO reg 00000147

EPD PVC-U plastic windows with the dimensions 1.23 x 1.48 m and insulated double-glazing QKE e.V. EPPA ivz
NorDan Ntech Fixed window 150/80, NorDan AS
NEPD00296E Huntonit building boards ECO reg 00000147

EPD PVC-U plastic windows with the dimensions 1.23 x 1.48 m and insulated double-glazing QKE e.V. EPPA ivz
NorDan Ntech Fixed window 150/80, NorDan AS

EPD PVC-U plastic windows with the dimensions 1.23 x 1.48 m and insulated double-glazing QKE e.V. EPPA ivz
NorDan Ntech Fixed window 150/80, NorDan AS
NEPD00296E Huntonit building boards ECO reg 00000147

NEPD00296E Huntonit building boards ECO reg 00000147

Solid wood flooring, hardwood, NEPD-377-264-NO, Foreningen Norske Lauvtrebruk
EPD Arbor malte MDF plater til vegg og tak Arbor-Hattfjelldal AS

Solid wood flooring, hardwood, NEPD-377-264-NO, Foreningen Norske Lauvtrebruk
EPD Arbor malte MDF plater til vegg og tak Arbor-Hattfjelldal AS

Solid wood flooring, hardwood, NEPD-377-264-NO, Foreningen Norske Lauvtrebruk
EPD Arbor malte MDF plater til vegg og tak Arbor-Hattfjelldal AS

Solid wood flooring, hardwood, NEPD-377-264-NO, Foreningen Norske Lauvtrebruk
EPD Arbor malte MDF plater til vegg og tak Arbor-Hattfjelldal AS

Solid wood flooring, hardwood, NEPD-377-264-NO, Foreningen Norske Lauvtrebruk
EPD Arbor malte MDF plater til vegg og tak Arbor-Hattfjelldal AS

EPD iQ Range homogeneous vinyl flooring - TARKETT
EPD iQ Range homogeneous vinyl flooring - TARKETT
EPD iQ Range homogeneous vinyl flooring - TARKETT
EPD iQ Range homogeneous vinyl flooring - TARKETT
EPD iQ Range homogeneous vinyl flooring - TARKETT
EPD iQ Range homogeneous vinyl flooring - TARKETT

NEPD-395-279-NO Prefabrikkert konstruksjonselement av trevirke med spikerplater, Norske Takstolprodusent
NEPD-395-279-NO Prefabrikkert konstruksjonselement av trevirke med spikerplater, Norske Takstolprodusent
NEPD-395-279-NO Prefabrikkert konstruksjonselement av trevirke med spikerplater, Norske Takstolprodusent
NEPD-395-279-NO Prefabrikkert konstruksjonselement av trevirke med spikerplater, Norske Takstolprodusent
NEPD-395-279-NO Prefabrikkert konstruksjonselement av trevirke med spikerplater, Norske Takstolprodusent

EPD Coated Fibre Cement Slates Marley Eternit Ltd & Tegral Building Products Ltd

EPD Coated Fibre Cement Slates Marley Eternit Ltd & Tegral Building Products Ltd
EPD Coated Fibre Cement Slates Marley Eternit Ltd & Tegral Building Products Ltd
EPD Coated Fibre Cement Slates Marley Eternit Ltd & Tegral Building Products Ltd
EPD Coated Fibre Cement Slates Marley Eternit Ltd & Tegral Building Products Ltd

LCA study for country specific electricity mixes based on NS 3720, IEA and ecoinvent 3.3, Bionova 2019

Transformasjonsprosess

Erstattingssyklus class Importert etikett

Betongbil, omtrent 8m³, 100% fyllingsrate
Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate

Muravfall
Stålavfall

Fordeler med resirkulering av muravfall
Fordeler med resirkulering av stål

Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate

Preparation of construction waste
Incineration of wood products D

Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate

Incineration of wood C3 (without biogenic CO₂)
Incineration of wood D

Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate
Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate

Preparation of construction waste
Stålavfall

Fordeler med resirkulering av muravfall
Fordeler med resirkulering av stål

Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate
Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate
Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate

40
40

Preparation of construction waste
Bygningsavfall til deponi
Incineration of wood C3 (without biogenic CO2)

Incineration of wood products D

Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate
Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate

Incineration of wood C3 (without biogenic CO2)
Incineration of wood C3 (without biogenic CO2)

Incineration of wood D
Incineration of wood products D

Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate

25,5

Incineration of plastic (including benefits) C4
Incineration of plastic (including benefits) D

Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate

Incineration of wood C3 (without biogenic CO2)
Incineration of wood products D

Trailer, 40 tonns kapasitet, 100% fyllingsrate

Preparation of construction waste

Crushed stone

Entity users	Project name	Design name	Indicator name		
Klaus Gjerde	Beisfjord - Referanseblokk	Beisfjordveien	Klimagassutslipp, NS 3720		
Avsnitt	Ressurs	Brukerinnngar	Enhet	Klimagassuts	Biogent karbo
A1-A3	Glassull isolasjonsplater, ge	315	m2	420	0
A1-A3	Betong, B35 M45/MF45, la	315	m2	13230	0
A1-A3				13650	
A4	Glassull isolasjonsplater, ge	315	m2	6	
A4	Betong, B35 M45/MF45, la	315	m2	1376	
A4				1382	
A5	Glassull isolasjonsplater, ge	315	m2	42	
A5	Betong, B35 M45/MF45, la	315	m2	651	
A5				694	
C1-C4	Glassull isolasjonsplater, ge	315	m2	103	
C1-C4	Betong, B35 M45/MF45, la	315	m2	1677	
C1-C4				1780	
D	Betong, B35 M45/MF45, la	315	m2	-22075	
				17506	
A1-A3	Høvellast, bartre (Treindust	50,4	m2	72	898
A1-A3	Høvellast, bartre (Treindust	50,4	m2	128	1597
A1-A3	Høvellast, bartre (Treindust	73,08	m2	767	9550
A1-A3	Water-borne interior paints	84,41	kg	28	0
A1-A3	Glassull isolasjonsplater, ge	556,92	m2	619	0
A1-A3	Glassull isolasjonsplater, ge	579,6	m2	129	0
A1-A3	Glassull isolasjonsplater, ge	630	m2	840	0
A1-A3	Gipsplater, vanlig, generisk,	630	m2	1818	0
A1-A3	Dampsperre i plast, 0.2 mm	630	m2	268	0
A1-A3	Solid Timber Panels (Cross-l	630	m2	2025	68690
A1-A3	Gipsplater, vanlig, generisk,	630	m2	1818	0
A1-A3	Dampsperre i plast, 0.2 mm	630	m2	268	0
A1-A3	Utvendig-X typ EH2 (GU-X),	630	m2	1074	0
A1-A3				9854	80735
A4	Høvellast, bartre (Treindust	50,4	m2	3	
A4	Høvellast, bartre (Treindust	50,4	m2	5	
A4	Høvellast, bartre (Treindust	73,08	m2	30	
A4	Water-borne interior paints	84,41	kg	1	
A4	Glassull isolasjonsplater, ge	556,92	m2	9	
A4	Glassull isolasjonsplater, ge	579,6	m2	2	
A4	Glassull isolasjonsplater, ge	630	m2	13	
A4	Gipsplater, vanlig, generisk,	630	m2	19	
A4	Dampsperre i plast, 0.2 mm	630	m2	0	
A4	Solid Timber Panels (Cross-l	630	m2	193	
A4	Gipsplater, vanlig, generisk,	630	m2	19	
A4	Dampsperre i plast, 0.2 mm	630	m2	0	
A4	Utvendig-X typ EH2 (GU-X),	630	m2	12	
A4				307	
A5	Høvellast, bartre (Treindust	50,4	m2	26	
A5	Høvellast, bartre (Treindust	50,4	m2	47	
A5	Høvellast, bartre (Treindust	73,08	m2	279	
A5	Water-borne interior paints	84,41	kg	3	
A5	Glassull isolasjonsplater, ge	556,92	m2	62	

A5	Glassull isolasjonsplater, ge	579,6 m2	13	
A5	Glassull isolasjonsplater, ge	630 m2	85	
A5	Gipsplater, vanlig, generisk,	630 m2	268	
A5	Dampspærre i plast, 0.2 mm	630 m2	27	
A5	Solid Timber Panels (Cross-l	630 m2	1184	
A5	Gipsplater, vanlig, generisk,	630 m2	268	
A5	Dampspærre i plast, 0.2 mm	630 m2	27	
A5	Utvendig-X typ EH2 (GU-X),	630 m2	143	
A5			2433	
B4-B5	Water-borne interior paints	84,41 kg	151	
B4-B5	Dampspærre i plast, 0.2 mm	630 m2	273	
B4-B5	Dampspærre i plast, 0.2 mm	630 m2	273	
B4-B5			698	
C1-C4	Høvellast, bartre (Treindust	50,4 m2	72	
C1-C4	Høvellast, bartre (Treindust	50,4 m2	128	
C1-C4	Høvellast, bartre (Treindust	73,08 m2	763	
C1-C4	Water-borne interior paints	84,41 kg	1	
C1-C4	Glassull isolasjonsplater, ge	556,92 m2	152	
C1-C4	Glassull isolasjonsplater, ge	579,6 m2	32	
C1-C4	Glassull isolasjonsplater, ge	630 m2	206	
C1-C4	Gipsplater, vanlig, generisk,	630 m2	306	
C1-C4	Dampspærre i plast, 0.2 mm	630 m2	5	
C1-C4	Solid Timber Panels (Cross-l	630 m2	4871	
C1-C4	Gipsplater, vanlig, generisk,	630 m2	306	
C1-C4	Dampspærre i plast, 0.2 mm	630 m2	5	
C1-C4	Utvendig-X typ EH2 (GU-X),	630 m2	58	
C1-C4			6904	
D	Høvellast, bartre (Treindust	50,4 m2	-431	
D	Høvellast, bartre (Treindust	50,4 m2	-766	
D	Høvellast, bartre (Treindust	73,08 m2	-4580	
D	Solid Timber Panels (Cross-l	630 m2	-29246	
D			20195	80735
A1-A3	Vindu, 3-lags, treramme, fa	150 m2	8791	1411
A4	Vindu, 3-lags, treramme, fa	150 m2	12	
A5	Vindu, 3-lags, treramme, fa	150 m2	0	
B4-B5	Vindu, 3-lags, treramme, fa	150 m2	9026	
C1-C4	Vindu, 3-lags, treramme, fa	150 m2	224	
			18053	1411
A1-A3	Gypsum plasterboard, 12.5:	945 m2	2044	0
A4	Gypsum plasterboard, 12.5:	945 m2	23	
A5	Gypsum plasterboard, 12.5:	945 m2	261	
C1-C4	Gypsum plasterboard, 12.5:	945 m2	23	
D	Gypsum plasterboard, 12.5:	945 m2	-107	
			2351	
A1-A3	Solid Timber Panels (Cross-l	945 m2	3905	132474
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke	945 m2	10910	0
A1-A3	Glassull isolasjonsplater, ge	945 m2	15387	0
A1-A3	Forsterkning stål (armering)	2362,5 kg	1472	0
A1-A3			31674	132474

A4	Solid Timber Panels (Cross-l	945 m2	373	
A4	Ferdigbetong, normal styrke	945 m2	1032	
A4	Glassull isolasjonsplater, ge	945 m2	33	
A4	Forsterkning stål (armering)	2362,5 kg	10	
A4			1448	
A5	Solid Timber Panels (Cross-l	945 m2	2283	
A5	Ferdigbetong, normal styrke	945 m2	528	
A5	Glassull isolasjonsplater, ge	945 m2	1277	
A5	Forsterkning stål (armering)	2362,5 kg	73	
A5			4161	
C1-C4	Solid Timber Panels (Cross-l	945 m2	9395	
C1-C4	Ferdigbetong, normal styrke	945 m2	1258	
C1-C4	Glassull isolasjonsplater, ge	945 m2	544	
C1-C4	Forsterkning stål (armering)	2362,5 kg	18	
C1-C4			11214	
D	Solid Timber Panels (Cross-l	945 m2	-56402	
D	Ferdigbetong, normal styrke	945 m2	-2779	
D	Forsterkning stål (armering)	2362,5 kg	-349	
D			48497	132474
A1-A3	EPS-isolasjon, T: 10-2400 m	78,75 m2	1677	0
A1-A3	Glassull isolasjonsplater, ge	236,25 m2	315	0
A1-A3	Solid Timber Panels (Cross-l	315 m2	1302	44158
A1-A3	Dampspærre i plast, 0.2 mm	315 m2	134	0
A1-A3			3427	44158
A4	EPS-isolasjon, T: 10-2400 m	78,75 m2	3	
A4	Glassull isolasjonsplater, ge	236,25 m2	5	
A4	Solid Timber Panels (Cross-l	315 m2	124	
A4	Dampspærre i plast, 0.2 mm	315 m2	0	
A4			132	
A5	EPS-isolasjon, T: 10-2400 m	78,75 m2	67	
A5	Glassull isolasjonsplater, ge	236,25 m2	32	
A5	Solid Timber Panels (Cross-l	315 m2	761	
A5	Dampspærre i plast, 0.2 mm	315 m2	14	
A5			874	
B4-B5	Dampspærre i plast, 0.2 mm	315 m2	137	
C1-C4	EPS-isolasjon, T: 10-2400 m	78,75 m2	5	
C1-C4	Glassull isolasjonsplater, ge	236,25 m2	77	
C1-C4	Solid Timber Panels (Cross-l	315 m2	3132	
C1-C4	Dampspærre i plast, 0.2 mm	315 m2	3	
C1-C4			3216	
D	Solid Timber Panels (Cross-l	315 m2	-18801	
			7786	44158
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke	11,97 m3	2764	0
A1-A3	Ferdigbetong, normal styrke	34,5 m3	7966	0
A1-A3	Forsterkning stål (armering)	1197 kg	746	0
A1-A3	Forsterkning stål (armering)	3450 kg	2150	0
A1-A3			13626	
A4	Ferdigbetong, normal styrke	11,97 m3	261	
A4	Ferdigbetong, normal styrke	34,5 m3	753	

A4	Forsterkning stål (armering)	1197 kg	5
A4	Forsterkning stål (armering)	3450 kg	15
A4			1034
A5	Ferdigbetong, normal styrke	11,97 m3	134
A5	Ferdigbetong, normal styrke	34,5 m3	386
A5	Forsterkning stål (armering)	1197 kg	37
A5	Forsterkning stål (armering)	3450 kg	106
A5			662
C1-C4	Ferdigbetong, normal styrke	11,97 m3	319
C1-C4	Ferdigbetong, normal styrke	34,5 m3	918
C1-C4	Forsterkning stål (armering)	1197 kg	9
C1-C4	Forsterkning stål (armering)	3450 kg	27
C1-C4			1273
D	Ferdigbetong, normal styrke	11,97 m3	-704
D	Ferdigbetong, normal styrke	34,5 m3	-2029
D	Forsterkning stål (armering)	1197 kg	-177
D	Forsterkning stål (armering)	3450 kg	-510
D			16596
B6	Elektrisitet, EU28 + Norge, f	85050 kWh	683078
			683078

Klimagassutsl.	Masse kg	Kommentar	Bygningsdel	Ressurstype	Datakilde	Transformasj
0	2363		21 - Grunn og	Glassullisolasj	One Click LCA	
0	151200		21 - Grunn og	Ferdigbetong	One Click LCA	
	153563		21 - Grunn og			
0	165		21 - Grunn og	Glassullisolasj	One Click LCA Trailer, 40 ton	
0	0		21 - Grunn og	Ferdigbetong	One Click LCA Betongbil, om	
	165		21 - Grunn og			
0	391		21 - Grunn og	Glassullisolasj	One Click LCA	
0	12096		21 - Grunn og	Ferdigbetong	One Click LCA	
	12487		21 - Grunn og			
0			21 - Grunn og	Glassullisolasj	One Click LCA Bygningsavfall	
0			21 - Grunn og	Ferdigbetong	One Click LCA Muravfall	
			21 - Grunn og			
0	756000		21 - Grunn og	Ferdigbetong	One Click LCA Fordeler med	
	166215		21 - Grunn og			
0	572	Quantity adju:	231 - Bærende	Tre / saget tømmer	Structural tim	
0	1016	Quantity adju:	231 - Bærende	Tre / saget tømmer	Structural tim	
0	6077	Quantity adju:	231 - Bærende	Tre / saget tømmer	Structural tim	
0	84	For inner wall,	231 - Bærende	Maling, beleg	EPD RTS EPD,	
0	3481	Quantity adju:	231 - Bærende	Glassullisolasj	One Click LCA	
0	725	Quantity adju:	231 - Bærende	Glassullisolasj	One Click LCA	
0	4725		231 - Bærende	Glassullisolasj	One Click LCA	
0	7027		231 - Bærende	Vanlig gipsplatt	One Click LCA	
0	117		231 - Bærende	Plastmembran	Gram Dampsp	
0	38808	Solid slab	231 - Bærende	Krysslaminert	Ökobilanzieru	
0	7027		231 - Bærende	Vanlig gipsplatt	One Click LCA	
0	117		231 - Bærende	Plastmembran	Gram Dampsp	
0	4297		231 - Bærende	Vanlig gipsplatt	Windliner - X/	
	74072		231 - Bærend			
0	0	Quantity adju:	231 - Bærende	Tre / saget tømmer	Structural tim Trailer, 40 ton	
0	0	Quantity adju:	231 - Bærende	Tre / saget tømmer	Structural tim Trailer, 40 ton	
0	0	Quantity adju:	231 - Bærende	Tre / saget tømmer	Structural tim Trailer, 40 ton	
0	0	For inner wall,	231 - Bærende	Maling, beleg	EPD RTS EPD, Stor varebil, 9	
0	244	Quantity adju:	231 - Bærende	Glassullisolasj	One Click LCA Trailer, 40 ton	
0	51	Quantity adju:	231 - Bærende	Glassullisolasj	One Click LCA Trailer, 40 ton	
0	331		231 - Bærende	Glassullisolasj	One Click LCA Trailer, 40 ton	
0	492		231 - Bærende	Vanlig gipsplatt	One Click LCA Trailer, 40 ton	
0	13		231 - Bærende	Plastmembran	Gram Dampsp Trailer, 40 ton	
0	5045	Solid slab	231 - Bærende	Krysslaminert	Ökobilanzieru Trailer, 40 ton	
0	492		231 - Bærende	Vanlig gipsplatt	One Click LCA Trailer, 40 ton	
0	13		231 - Bærende	Plastmembran	Gram Dampsp Trailer, 40 ton	
0	301		231 - Bærende	Vanlig gipsplatt	Windliner - X/ Trailer, 40 ton	
	6980		231 - Bærend			
0	205	Quantity adju:	231 - Bærende	Tre / saget tømmer	Structural tim	
0	364	Quantity adju:	231 - Bærende	Tre / saget tømmer	Structural tim	
0	2176	Quantity adju:	231 - Bærende	Tre / saget tømmer	Structural tim	
0	17	For inner wall,	231 - Bærende	Maling, beleg	EPD RTS EPD,	
0	576	Quantity adju:	231 - Bærende	Glassullisolasj	One Click LCA	

0	120	Quantity adju:	231 - Bærend	Glassullisolasj	One Click LCA
0	782		231 - Bærend	Glassullisolasj	One Click LCA
0	1818		231 - Bærend	Vanlig gipsplå	One Click LCA
0	25		231 - Bærend	Plastmembrar	Gram Dampsp
0	13804	Solid slab	231 - Bærend	Krysslaminert	Ökobilanzieru
0	1818		231 - Bærend	Vanlig gipsplå	One Click LCA
0	25		231 - Bærend	Plastmembrar	Gram Dampsp
0	1112		231 - Bærend	Vanlig gipsplå	Windliner - X/
	22842		231 - Bærend		
0	844	For inner wall,	231 - Bærend	Maling, beleg	EPD RTS EPD,
0	246		231 - Bærend	Plastmembrar	Gram Dampsp
0	246		231 - Bærend	Plastmembrar	Gram Dampsp
	1336		231 - Bærend		
0		Quantity adju:	231 - Bærend	Tre / saget t	Structural tim Incineration o
0		Quantity adju:	231 - Bærend	Tre / saget t	Structural tim Incineration o
0		Quantity adju:	231 - Bærend	Tre / saget t	Structural tim Incineration o
0		For inner wall,	231 - Bærend	Maling, beleg	EPD RTS EPD, Disposal of inc
0		Quantity adju:	231 - Bærend	Glassullisolasj	One Click LCA Bygningsavfall
0		Quantity adju:	231 - Bærend	Glassullisolasj	One Click LCA Bygningsavfall
0			231 - Bærend	Glassullisolasj	One Click LCA Bygningsavfall
0			231 - Bærend	Vanlig gipsplå	One Click LCA Bygningsavfall
0			231 - Bærend	Plastmembrar	Gram Dampsp Bygningsavfall
0		Solid slab	231 - Bærend	Krysslaminert	Ökobilanzieru Incineration o
0			231 - Bærend	Vanlig gipsplå	One Click LCA Bygningsavfall
0			231 - Bærend	Plastmembrar	Gram Dampsp Bygningsavfall
0			231 - Bærend	Vanlig gipsplå	Windliner - X/ Disposal of inc
			231 - Bærend		
0	572	Quantity adju:	231 - Bærend	Tre / saget t	Structural tim Incineration o
0	1016	Quantity adju:	231 - Bærend	Tre / saget t	Structural tim Incineration o
0	6077	Quantity adju:	231 - Bærend	Tre / saget t	Structural tim Incineration o
0	38808	Solid slab	231 - Bærend	Krysslaminert	Ökobilanzieru Incineration o
			231 - Bærend		
	105231		231 - Bærend		
0	5129		24 - Innerveg	Trerammevin	NorDan Ntech
0	0		24 - Innerveg	Trerammevin	NorDan Ntech Trailer, 40 ton
0	0		24 - Innerveg	Trerammevin	NorDan Ntech
0	10259		24 - Innerveg	Trerammevin	NorDan Ntech
0			24 - Innerveg	Trerammevin	NorDan Ntech Bygningsavfall
	15388		24 - Innerveg		
0	8505		25 - Dekker	Vanlig gipsplå	EPD for Gypro
0	0		25 - Dekker	Vanlig gipsplå	EPD for Gypro Trailer, 40 ton
0	2126		25 - Dekker	Vanlig gipsplå	EPD for Gypro
0			25 - Dekker	Vanlig gipsplå	EPD for Gypro Preparation o
0	-6804		25 - Dekker	Vanlig gipsplå	EPD for Gypro Crushed stone
	10631		25 - Dekker		
0	74844	Solid slab	251 - Frittbær	Krysslaminert	Ökobilanzieru
0	113400		251 - Frittbær	Ferdigbetong	One Click LCA
0	12474	100 mm insul:	251 - Frittbær	Glassullisolasj	One Click LCA
0	2363	50,0 kg steel/	251 - Frittbær	Forsterkning s	One Click LCA
	203081		251 - Frittbær		

0	9730 Solid slab	251 - Fritt bær Krysslaminert Ökobilanzieru Trailer, 40 ton
0	0	251 - Fritt bær Ferdigbetong One Click LCA Betongbil, om
0	873 100 mm insul:	251 - Fritt bær Glassullisolasj One Click LCA Trailer, 40 ton
0	260 50,0 kg steel/	251 - Fritt bær Forsterkning s One Click LCA Trailer, 40 ton
	10863	251 - Fritt bær
0	26623 Solid slab	251 - Fritt bær Krysslaminert Ökobilanzieru
0	9072	251 - Fritt bær Ferdigbetong One Click LCA
0	2066 100 mm insul:	251 - Fritt bær Glassullisolasj One Click LCA
0	242 50,0 kg steel/	251 - Fritt bær Forsterkning s One Click LCA
	38002	251 - Fritt bær
0	Solid slab	251 - Fritt bær Krysslaminert Ökobilanzieru Incineration o
0		251 - Fritt bær Ferdigbetong One Click LCA Muravfall
0	100 mm insul:	251 - Fritt bær Glassullisolasj One Click LCA Bygningsavfall
0	50,0 kg steel/	251 - Fritt bær Forsterkning s One Click LCA Stålavfall
		251 - Fritt bær
0	74844 Solid slab	251 - Fritt bær Krysslaminert Ökobilanzieru Incineration o
0	95185	251 - Fritt bær Ferdigbetong One Click LCA Fordeler med
0	201 50,0 kg steel/	251 - Fritt bær Forsterkning s One Click LCA Fordeler med
		251 - Fritt bær
	251945	251 - Fritt bær
0	378	261 - Primærk EPS (utvidet p EPD Lavlamb
0	1772	261 - Primærk Glassullisolasj One Click LCA
0	24948 Solid 180 mm	261 - Primærk Krysslaminert Ökobilanzieru
0	58	261 - Primærk Plastmembrar Gram Dampsp
	27156	261 - Primærk
0	68	261 - Primærk EPS (utvidet p EPD Lavlamb
0	124	261 - Primærk Glassullisolasj One Click LCA Trailer, 40 ton
0	3243 Solid 180 mm	261 - Primærk Krysslaminert Ökobilanzieru Trailer, 40 ton
0	6	261 - Primærk Plastmembrar Gram Dampsp
	3442	261 - Primærk
0	33	261 - Primærk EPS (utvidet p EPD Lavlamb
0	293	261 - Primærk Glassullisolasj One Click LCA
0	8874 Solid 180 mm	261 - Primærk Krysslaminert Ökobilanzieru
0	12	261 - Primærk Plastmembrar Gram Dampsp
	9213	261 - Primærk
0	123	261 - Primærk Plastmembrar Gram Dampsp
0		261 - Primærk EPS (utvidet p EPD Lavlamb
0		261 - Primærk Glassullisolasj One Click LCA Bygningsavfall
0	Solid 180 mm	261 - Primærk Krysslaminert Ökobilanzieru Incineration o
0		261 - Primærk Plastmembrar Gram Dampsp
		261 - Primærk
0	24948 Solid 180 mm	261 - Primærk Krysslaminert Ökobilanzieru Incineration o
	39934	261 - Primærk
0	28728 Flights of stair	281 - Innvend Ferdigbetong One Click LCA
0	82800 Cast-in-place	281 - Innvend Ferdigbetong One Click LCA
0	1197 Reinforcemen	281 - Innvend Forsterkning s One Click LCA
0	3450 Reinforcemen	281 - Innvend Forsterkning s One Click LCA
	116175	281 - Innvend
0	0 Flights of stair	281 - Innvend Ferdigbetong One Click LCA Betongbil, om
0	0 Cast-in-place	281 - Innvend Ferdigbetong One Click LCA Betongbil, om

0	132	Reinforcemen	281 - Innvend Forsterkning s	One Click LCA Trailer, 40 ton
0	380	Reinforcemen	281 - Innvend Forsterkning s	One Click LCA Trailer, 40 ton
	511		281 - Innvend	
0	2298	Flights of stair	281 - Innvend Ferdigbetong	One Click LCA
0	6624	Cast-in-place	281 - Innvend Ferdigbetong	One Click LCA
0	122	Reinforcemen	281 - Innvend Forsterkning s	One Click LCA
0	353	Reinforcemen	281 - Innvend Forsterkning s	One Click LCA
	9398		281 - Innvend	
0		Flights of stair	281 - Innvend Ferdigbetong	One Click LCA Muravfall
0		Cast-in-place	281 - Innvend Ferdigbetong	One Click LCA Muravfall
0		Reinforcemen	281 - Innvend Forsterkning s	One Click LCA Stålavfall
0		Reinforcemen	281 - Innvend Forsterkning s	One Click LCA Stålavfall
			281 - Innvend	
0	24114	Flights of stair	281 - Innvend Ferdigbetong	One Click LCA Fordeler med
0	69500	Cast-in-place	281 - Innvend Ferdigbetong	One Click LCA Fordeler med
0	102	Reinforcemen	281 - Innvend Forsterkning s	One Click LCA Fordeler med
0	293	Reinforcemen	281 - Innvend Forsterkning s	One Click LCA Fordeler med
			281 - Innvend	
	126084		281 - Innvend	
0			Elektrisitet	LCA study for

Erstattingssy class

Importert etikett

10,20,30,40,50

30

30

40

