

# Energi- og klimagassanalyse av isolasjonsmaterialer





SINTEF Fag

Reidun Dahl Schlanbusch, Selamawit Mamo Fufa, Kari Sørnes og  
Torhildur Kristjansdottir

# **Energi- og klimagassanalyse av isolasjonsmaterialer**

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 23

Reidun Dahl Schlänbusch, Selamawit Mamo Fufa, Kari Sørnes og  
Torhildur Kristjansdóttir

**Energi- og klimagassanalyse av isolasjonsmaterialer**

Emneord:

Isolasjon, LCA, EPD, energi, klimagass

Prosjektnr: 102000220

Forsidefoto: SINTEF Byggforsk

ISSN 1894-1583

ISBN 978-82-536-1406-9 (pdf)

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2014

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser.

Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk. Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Byggforsk

Forskningsveien 3 B

Postboks 124 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 96 55 08

[www.sintef.no/byggforsk](http://www.sintef.no/byggforsk)

[www.sintefbok.no](http://www.sintefbok.no)

## **Forord**

Forfatterne takker Husbanken for å ha muliggjort denne studien. Vi takker Kjersti Folvik for tidligere studier på området som vi har hatt god nytte av. Vi retter en stor takk til Peter Blom, Nan Karlsson og Thale Sofie Plesser for gode råd. Vi takker også avdeling Kunnskapsformidling ved SINTEF Byggeforsk.

## Sammendrag

Målet med studien var å utrede et bedre beslutningsgrunnlag for miljøvennlig valg av varmeisolasjon.

Studien besto av to deler:

1. I første del av studien ble forutsetningene for at to isolasjonsmaterialer kan sammenliknes utredet.
2. I andre del av studien ble åtte ulike isolasjonsmaterialer, til bruk i en ytterveggkonstruksjon, sammenliknet med tanke på energibruk, klimagassutslipp og innhold og utslipp av helse- og miljøfarlige forbindelser. Studien konkluderte med at det er relativt godt grunnlag for å sammenlikne EPD-resultater til tross for at isolasjonsmaterialene har ulike tekniske egenskaper, med noen viktige forbehold.

Det ble konkludert med at isolasjonsmaterialene basert på mineralull har mindre energibruk og klimagassutslipp i produksjonen enn XPS, EPS og vakuumisolasjonspanel (VIP). EPS har noe lavere miljøpåvirkning enn XPS, og XPS igjen har lavere miljøpåvirkning enn VIP. Effekten fra transport til byggeplass i Norge viste seg å utgjøre en relativt liten andel.

En analyse av den relative miljøpåvirkningen fra isolasjonsmaterialene i en typisk yttervegg ble inkludert. I tillegg ble bundet energi i vugge-til-port sammenliknet med energibesparelsen veggkonstruksjonene representerte over en levetid på seksti år. Økt isolasjonstykkelse førte til netto energibesparelse, også for materialene som ble assosiert med det høyeste energiforbruket i vugge-til-byggeplass-analysen.

# Innhold

<b>1</b>	<b>Introduksjon.....</b>	<b>7</b>
1.1	Bakgrunn .....	7
1.2	Mål og omfang .....	7
1.2.1	Hovedmål.....	7
1.2.2	Analysens omfang.....	8
1.2.3	Omfang av materialer.....	8
<b>2</b>	<b>Isolasjonsmaterialer .....</b>	<b>9</b>
2.1	Materialer .....	9
2.1.1	Generelt.....	9
2.1.2	Mineralull.....	9
2.1.3	Plastisolasjon: ekspandert og ekstrudert polystyren .....	9
2.1.4	Vakuumsisolasjonspanel.....	10
2.1.5	Andre isolasjonsmaterialer, ikke inkludert i denne studien.....	10
2.2	Tekniske egenskaper og krav .....	11
2.2.1	Generelt.....	11
2.2.2	Varmemotstand.....	11
2.2.3	Brannmotstand.....	12
2.2.4	Fuktmotstand .....	12
2.2.5	Helse- og miljøfarlige stoffer .....	13
2.2.6	Andre tekniske egenskaper .....	14
<b>3</b>	<b>Metode.....</b>	<b>15</b>
3.1	Livssyklusanalyse.....	15
3.2	Miljødeklarasjoner (EPD) .....	15
3.3	Sammenlikningsgrunnlag.....	16
3.3.1	Data.....	16
3.3.2	Bygningskontekst.....	16
3.4	Antakelser og begrensninger .....	17
<b>4</b>	<b>Sammenliknende energi- og klimagassanalyse .....</b>	<b>19</b>
4.1	Mål og omfang .....	19
4.1.1	Mål.....	19
4.1.2	Funksjonell enhet .....	19
4.1.3	Systemgrenser .....	19
4.2	Livsløpsinventar .....	20
4.3	Resultater og diskusjon.....	22
4.3.1	Vugge-til-port og vugge-til-byggeplass energibruk og klimagassutslipp.....	22
4.3.2	Resultatene i en bygningskontekst.....	25
<b>5</b>	<b>Konklusjon .....</b>	<b>30</b>
	<b>Litteraturliste.....</b>	<b>32</b>

<b>Tillegg A</b>	<b>Teknisk datatabell.....</b>	<b>36</b>
<b>Tillegg B</b>	<b>Region og transport .....</b>	<b>37</b>



# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

Energieffektivisering av bygningsmassen er regnet som et meget viktig tiltak for reduksjon av klimagassutslipp, ifølge Miljøverndepartementet (2012) og FNs klimarapport fra 2007 (Pachauri og Reisinger, 2007). Energieffektivisering krever ofte høyere forbruk av materialer og spesielt mer bruk av termisk isolasjon. Dette fører til høyere bundet energi og høyere bundet klimagassutslipp fra materialene (Shrestha, Biswas og Desjarlais, 2014). For å redusere den totale belastningen på klimaet fra en bygning er det dermed viktig å fokusere på materialvalg i tillegg til tett bygningskrøpp (Thormark, 2006; Korjenic mfl., 2011).

Termisk isolasjon sparer energi i bruksfasen, men har en viktig påvirkning på bundet energi og CO<sub>2</sub> fra materialene i en bygning. I flere LCA-analyser av bygninger har det blitt vist at isolasjon har relativt stor påvirkning på CO<sub>2</sub>-regnskapet innenfor bygningens materialbruk. I to konseptanalyser om nullutslippsbygninger fra The Research Centre on Zero Emission Buildings (ZEB) i Norge ble det vist at ytterveggene har stor innvirkning på energi og CO<sub>2</sub> fra materialer (Dokka mfl., 2013a og 2013b). Det ble også vist at isolasjon stod for en betydelig del av denne innvirkningen. Kari Sørnes og Torhildur Kristjansdottir kartla effekten på energi og CO<sub>2</sub> fra de ulike delkomponentene i en ytterveggscase (Sørnes og Kristjansdottir, 2012). I den analysen var isolasjonsmaterialet det sjiktet i veggekonstruksjonen som hadde størst CO<sub>2</sub>-utslipp.

Å øke kunnskapen om miljøegenskapene (bundet energi og klimagassutslipp) til ulike isolasjonsmaterialer kan gi et bedre fundament for å vurdere helhetlig miljøbelastning fra bygninger (Korjenic mfl., 2011). Ved å vurdere viktige enkeltmaterialer vil det bli enklere å se bygningen i et totalt livsløpsperspektiv hvor lavere energibruk i bruksfasen ses opp mot høyere energibruk og utslipp knyttet til produksjon og avfallshåndtering av materialene som blir lagt til. Tidligere arbeid som er gjort på dette området i Norge, er miljøvurderinger utført av blant andre Folvik, Holthe og Einstabland (2011), Haavi (2010) og Ghose (2011), i tillegg til at det har vært et tema i det norske prosjektet Framtre (Flæthe, 2013), støttet av Forskningsrådet. Analysen presentert her vil referere til, og bygge videre på, en del av resultatene fra disse arbeidene.

I den internasjonale litteraturen fins det flere sammenliknende livsløpsanalyser (LCA) av isolasjonsmaterialer (Shrestha, Biswas og Desjarlais, 2014; Ardente mfl., 2008; Schmidt mfl., 2004; Duijve, 2012). De viser at det er en stor variasjon i miljøpåvirkning fra de ulike materialene. Disse analysene er ikke nødvendigvis relevante for norske forhold og norske forutsetninger. Videre kan resultatene av LCA bli betydelig påvirket av de metodiske valgene og forutsetningene man legger til grunn i studien, ettersom de fleste av disse kildene ikke henviser til standardiserte EPD-data, men til diverse data fra litteraturen. I analysen som er presentert i denne rapporten vil det bli tatt utgangspunkt i materialer som er aktuelle for det norske markedet og som har sammenliknbare EPD-data. Dette er mulig å gjøre i dag fordi et større antall isolasjonsprodusenter har gått til anskaffelse av EPD den siste tiden. Analysen er samtidig et eksempel på praktisk bruk av EPD i byggenæringen.

## 1.2 Mål og omfang

### 1.2.1 Hovedmål

Hovedmålet med prosjektet er å analysere og sammenlikne energibruk og klimagassutslipp for forskjellige isolasjonsmaterialer og med det gi et bedre beslutningsgrunnlag for valg av miljøvennlig isolasjon. I dette prosjektet er det satt fokus på å utrede sammenlikningsgrunnlaget ved analysen og å sette resultatene inn i en

praktisk kontekst. Prosjektet har også som mål å undersøke grunnlaget for å sammenlikne EPD-er for isolasjonsmaterialer.

### 1.2.2 Analysens omfang

Analysen er i utgangspunktet begrenset til en vugge-til-port-LCA (A1–A3<sup>1</sup>), fordi mye av det tilgjengelige datamaterialet begrenser seg til tall for vugge til port. Fordi noen av materialene er produsert i utlandet, har også effekten av transport fra fabrikk til byggeplass i Oslo blitt analysert. Studien blir med dette en vugge-til-byggeplass-analyse (A1–A4). I analysen og den påfølgende diskusjonen blir det vist et eksempel, fra en tidligere studie (Folvik, Holthe og Einstabland, 2011), som går videre utover disse systemgrensene og inkluderer bruksfase. Resultatene fra LCA-analysen blir diskutert i forhold til dette eksemplet.

I NS-EN15804 (European Committee for Standardization, 2012) står det at byggevarer ikke nødvendigvis er sammenliknbare hvis de ikke ses i en bygningskontekst. Selv om analysen presentert her i utgangspunktet er en relativt enkel vugge-til-byggeplass-analyse av forskjellige isolasjonsmaterialer, vil den praktiske bruken av materialene bli vektlagt. Mange av dagens sammenliknende LCA-analyser av isolasjonsmaterialer reflekterer ikke tilstrekkelig over de tekniske forskjellene. Hovedgrunnen til dette er at det i praksis er umulig å definere et sammenlikningsgrunnlag som yter full rettferdighet på tvers av alle typer isolasjonsmaterialer, hver type med sin egenart. I det praktiske liv er derfor slike sammenlikninger ofte problematiske.

I denne studien vil det tekniske sammenlikningsgrunnlaget bli nøye behandlet. Først behandles det gjennom å begrense omfanget av materialer til et utvalg som representerer samme type bruk. Dette er beskrevet i avsnitt 1.2.3. Videre utredes tekniske krav og egenskaper i avsnitt 2.2. I avsnitt 3.3 blir det beskrevet hvordan disse kravene behandles i analysen.

I analysen og den påfølgende diskusjonen blir bygningskontekst videre behandlet ved hjelp av noen caser lånt fra tidligere publikasjoner av SINTEF Byggforsk (Sørnes og Kristjansdottir, 2012; Folvik, Holthe og Einstabland, 2011). Resultatene fra LCA-analysen blir diskutert i forhold til disse eksemplene. Omfanget av LCA-analysen er videre detaljert i avsnitt 4.1.

### 1.2.3 Omfang av materialer

Det fins svært mange ulike typer isolasjonsmaterialer, og det er også ulikt hvordan de forskjellige isolasjonsmaterialene blir brukt i bygningen. Noen av isolasjonsmaterialene og produktene er tilpasset et spesielt bruk. Det kan for eksempel handle om isolering av tekniske installasjoner som rør og tanker, eller isolasjon som er spesielt tilpasset andre formål. For å unngå at man «sammenlikner epler og pærer» må man først fastslå bruksområdet – det avgjør hvilke krav det tekniske isolasjonsmaterialet må innfri. Denne studien tar bare for seg isolasjonsmaterialer som er tilpasset til å inngå som et isolerende lag i en yttervegg. Det innebærer at man for eksempel ser bort ifra materialer som lettklinkerbetongblokker og skumglass, som blant annet har gode bæreegenskaper og derfor noe annerledes bruksområder. Materialene blir sammenliknet over en enhet som reflekterer den termiske motstanden. Slik kan resultatene danne en robust beslutningsstøtte uten for mange forbehold.

Analysen er også begrenset til de isolasjonsmaterialene som hadde tilgjengelig EPD på tidspunktet den ble utført. En liste over materialene som er inkludert, fins i tabell 2.2.1.

---

<sup>1</sup> Betegnelsene A1-A3 og A1-A4 er hentet fra NS-EN15804 (European Committee for Standardization, 2012) og er mye brukt i LCA og EPD i byggsektoren. Se avsnitt 4.1.3 for informasjon om hva betegnelsene betyr.

## 2 Isolasjonsmaterialer

### 2.1 Materialer

#### 2.1.1 Generelt

Omfanget av studien begrenses til isolasjonsmaterialer som egner seg til bruk i en vanlig ytterveggkonstruksjon. Videre tar denne studien utgangspunkt i isolasjonsmaterialer som er tilgjengelige på markedet og isolasjonsmaterialer som det har vært mulig å finne sammenliknbare EPD-data til. En komplett liste over de isolasjonsproduktene som er inkludert i studien kan ses i tabell 2.1.1. I denne studien vil materialene bli referert til med navnene som står i kolonnen lengst til høyre.

Tabell 2.1.1

Liste over isolasjonsmaterialene som er inkludert i denne studien. Datakildene til hvert materiale er oppført i tabell 4.2. Tekniske detaljer for hvert materiale kan finnes i Tillegg A.

Type	Produsent	Produkt	Kortnavn
Mineralull	Glava	Glassull 16,5 kg/m <sup>3</sup> $\lambda_D = 0,035$ W/(m)K	Glava glassull
	Saint-Gobain Isover	Glassull Isover UNI skiva 35	Isover glassull
	Rockwool	Rockwool 29 kg/m <sup>3</sup> $\lambda_D = 0,037$ W/(m)K	Rockwool
XPS	Exiba	Exiba XPS snitt	Exiba XPS
	Dow Deutschland	Dow XENERGY XPS foam insulation snitt	Dow XPS
EPS	EUMEPS	EUMEPS EPS u/ flammehemmer snitt	EPS
Vakuumisolasjonspanel (VIP)	Microtherm	Microtherm SlimVac	Microtherm VIP
	Dow Corning	Dow Corning VIP	Dow Corning VIP

#### 2.1.2 Mineralull

Mineralull er den mest brukte typen isolasjonsmateriale i norske yttervegger. Mineralull har god termisk og akustisk isolasjonsevne, men den må beskyttes mot fuktighet. På det norske markedet har vi i hovedsak to typer mineralull som brukes som isolasjonssjikt i yttervegger: glassull og steinull. Disse produktene har blitt utviklet og forbedret gjennom en lang fartstid på markedet.

I Byggforskerien står det om glassull og steinull (SINTEF Byggforsk, 2004):

*Steinull produseres ved at stein (diabas) smeltes ved ca. 1 500 °C. Materialet blir omdannet til fibrer ved at massen slynges ut fra et hjul eller en skive. Støvdempingsolje og fenolharpikslim blir tilsatt for å binde fibrene sammen og forbedre produkttegenskapene.*

*Glassull er framstilt av et spesielt borsilikatglass. Glasset varmes opp til ca. 1 400 °C, og massen dras ut til fibrer gjennom hull i roterende munnstykker. Støvdempingsolje og fenolharpikslim blir tilsatt for å binde fibrene sammen og forbedre produkttegenskapene.*

I denne analysen er det inkludert to glassullprodukter. Det er ett glassullprodukt fra Glava, med deklartert varmeledningsevne  $\lambda_D = 0,035$  og densitet 16,5 kg/m<sup>3</sup>, og produktet UNI-skiva 35 fra Isover.

Inkludert i analysen er også et steinullprodukt fra Rockwool med deklartert varmeledningsevne  $\lambda_D = 0,037$  og densitet 29 kg/m<sup>3</sup>.

#### 2.1.3 Plastisolasjon: ekspandert og ekstrudert polystyren

Polystyren lages fra råolje. Det fins i hovedsak to typer isolasjonsmaterialer basert på polystyren: ekspandert polystyren (EPS) og ekstrudert polystyren (XPS). Produktene har form som plater. Platene produseres med ulike densiteter. De tyngre kvalitetene har som regel bedre varmeisolasjonsevne og større trykkfasthet (ibid.).

I Byggforskserien (ibid.) er de to typene beskrevet:

*Ekspandert polystyren (EPS) produseres ved at små kuler av polystyren, som inneholder et ekspansjonsmiddel som for eksempel pentan, ekspanderer ved oppvarming med vanndamp. Polystyrenkulene ekspanderes først i en forskummer. Etter en kort mellomagring varmes kulene opp med vanndamp. De ekspanderer videre og bindes sammen i kontaktflatene. Isolasjonen støpes ut i plater, blokker eller kontinuerlig på bånd. EPS har delvis åpen porestruktur.*

*Ekstrudert polystyren (XPS) produseres ved at smeltet polystyren tilsettes ekspansjons-gass. Når polystyrenmassen ekstruderes gjennom en dyse, foregår en trykkavlastning og massen ekspanderer. Materialet produseres i sammenhengende lengder som kuttet opp etter avkjøling. XPS har lukket porestruktur.*

I denne studien er det inkludert to XPS-materialer og ett EPS-materiale. Disse tre EPD-ene er lagd på en slik måte at de representerer mer enn ett spesifikt produkt. De tar utgangspunkt i referanseverdier for densitet og termisk konduktivitet, men gjelder for flere produkter av samme type og fra flere produsenter. Det ligger derfor noen antakelser og snittverdier i disse EPD-ene. Teknisk informasjon om de ulike produktene fins i Tillegg A. For flere detaljer, se EPD-ene henvist til i tabell 4.2.

#### **2.1.4 Vakuumsisolasjonspanel**

Det forskes stadig fram nye og innovative isolasjonsmaterialer. Vakuumsisolasjonspanel (VIP) er relativt nytt på markedet, og er det isolasjonsmaterialet man hittil har klart å oppnå aller høyest varmemotstand med. Panelet består av en lufttett ytterhud med en kjerne av porøst materiale der det meste av luften er pumpet ut (ibid.). Materialet blir i dag mest brukt i deler av bygningen som har behov for ekstra høy varmeresistens eller der tykkelse er avgjørende. En utfordring er at isolasjonsevnen til et VIP vil minke over tid ettersom vakuomet degraderes sakte. Levetiden til materialet er derfor avhengig av en gjennomtenkt design på konstruksjonen.

I denne analysen er det inkludert to VIP-er: Dow Corning Vacuum Insulation Panel og Microtherm SlimVac. Teknisk informasjon om de ulike produktene fins i Tillegg A. For flere detaljer, se EPD-ene henvist til i Tabell 3.2.

#### **2.1.5 Andre isolasjonsmaterialer, ikke inkludert i denne studien**

##### *Aerogel*

Aerogel er en ny og spennende innovasjon på isolasjonsmarkedet. Dessverre fantes det ingen EPD for aerogel på tidspunktet for denne undersøkelsen.

##### *Cellulosefiber*

Det finnes en lang rekke alternative isolasjonsmaterialer tilgjengelig på markedet, spesielt innenfor kategorien celluloseisolasjon. Celluloseisolasjon omfatter isolasjonsmasse basert på fiber både fra returpapir og fra ulike planter.

I henhold til NS-EN 16485:2014 (Standard Norge, 2014) skal EPD-er for tre og trebaserte materialer til bruk i bygninger ta med biogent karbon, det vil si CO<sub>2</sub> som tas opp i treets vekstfase og CO<sub>2</sub> som avgis i avfallsfasen. Det fins flere ulike måter å beregne effekten av biogent karbon på. Ifølge beregningsmodellen beskrevet i NS-EN 16485 er trematerialet klimanøytralt sett over hele livsløpet, dersom det kommer fra en bærekraftig forvaltet skog, det vil si en skog der tilveksten er større enn eller lik avvirkingen. Med en slik beregningsmodell vil tre og trebaserte produkter framstå svært klimavennlig i en vugge-til-port-analyse, ettersom CO<sub>2</sub> som tas opp i vekstfasen (biogent karbon) trekkes fra det globale oppvarmingspotensialet. Klimagassutslippet fra vugge til port kan derfor bli negativt. I en vugge-til-grav-analyse vil karbonopptaket kanselleres av CO<sub>2</sub>-utslippene i avfallsfasen, når treet brennes eller eventuelt råtner. Når trebaserte produkter

sammenliknes med ikke-trebasert produkter, og man kun ser på vugge til port, vil da bildet bli skjevt. Hvis biogent karbon skal regnes inn i analysen, må man se på hele livsløpet.

På tidspunktet da denne studien ble utført, fantes det, etter hva forfatterne kunne finne, kun én EPD på celluloseisolasjon. Den aktuelle EPD-en omtaler trefiberisolasjon fra Kronotherm (2013). Klimagassutslippet oppgitt i EPD-en inkluderer opptak av CO<sub>2</sub> i trees vekstfase. Vugge-til-port-resultatet er dermed ikke sammenliknbart med de andre vugge-til-port-EPD-resultatene. Den norske PCR-en for treprodukter fastslår at opptaket som er trukket fra i produksjonsfasen skal oppgis tydelig, slik at en bruker enkelt kan kvantifisere effekten av dette fratrekket, som utgjør et utslipp i avfallshåndteringsfasen (EPD-Norge, 2013). Kronotherms tyske EPD følger imidlertid ikke de norske retningslinjene, og det var vanskelig å kvantifisere effekten fra CO<sub>2</sub>-opptaket i resultatene. Derfor er materialet utelatt fra denne studien.

Det eksisterer også en rekke publiserte LCA-analyser som inkluderer forskjellige typer celluloseisolasjon. Resultatene fra denne litteraturen er ikke direkte sammenliknbare med EPD-data, på grunn av sprikende og inkompatible systemgrenser og forutsetninger. Av den grunn er ikke disse studiene tatt inn i analysen presentert her. Tabell 2.1.5 viser til hvor man kan finne noe av denne litteraturen, i tilfelle noen av brukerne av denne rapporten har behov for det.

Tabell 2.1.5

Kildehenvisninger til LCA litteratur om cellulosematerialer

Materiale	Kildetype	Referanse	Årstall
Papirull av avisepapir	LCA-database	Cellulose fibre, Pré consultants, Ecoinvent database v.3 (Ecoinvent, 2007)	2013
Treull	Rapport	Gaia v/Bjørn Berge: Isolasjonsmaterialer av trevirke (Berge, 2007)	2007
Kenaf-fiberull	Vitenskapelig artikkel	Ardente mfl.: Building energy performance: A LCA case study of kenaf-fibres insulation board. Energy and Buildings (Ardente mfl., 2008)	2006
Hampfiberull	Vitenskapelig artikkel	Zampori, Dotelli og Vernelli: Life Cycle Assessment of Hemp Cultivation and Use of Hemp Thermal Insulator Materials in Buildings. Environmental Science and Technology (Zampori, Dotelli og Vernelli, 2013)	2013
Fiberull av lin	Vitenskapelig artikkel	Schmidt, A., mfl.: A comparative life cycle assessment of building insulation products made of stone wool, paper wool and flax. Part 2: Comparative assessment. The International Journal of Life Cycle Assessment (Schmidt mfl., 2004)	2004

## 2.2 Tekniske egenskaper og krav

### 2.2.1 Generelt

God oversikt over tekniske egenskaper og krav er avgjørende for en god forståelse av sammenlikningsgrunnlaget i energi- og klimagassanalysen. Materialene har ulik brannmotstand, fuktmotstand og innhold av helse- og miljøfarlige stoffer. I avsnittene 3.3 og 3.4 står det beskrevet hvordan dette er behandlet i analysen.

### 2.2.2 Varmemotstand

For materialer som inngår i bygningskonstruksjoner oppgir produsenten gjerne såkalte deklarererte verdier for varmemotstand ( $R_D$ ) og eventuelt varmekonduktivitet ( $\lambda_D$ ).

R og  $\lambda$  henger sammen gjennom formelen

$$R = \frac{d}{\lambda} \left( \frac{m^2 K}{W} \right) \quad (1)$$

der  $d$  er materialsjiktets tykkelse (SINTEF Byggforsk, 1998). I det praktiske liv angis konstruksjoners evne til varmeisolering ved varmegjennomgangskoeffisienten  $U$ .  $U$  er definert som varmegjennomstrømstettheten gjennom konstruksjonen i stasjonær tilstand når temperaturforskjellen er 1 K mellom lufta på de to sidene av konstruksjonen.  $U$ -verdien er lik den inverse av den totale varmemotstanden i konstruksjonen, det vil si den inverse av summen av enkeltsjiktens motstand ( $R$ ) pluss overgangsmotstandene (ibid.; SINTEF Energiforskning, 2007).

$$U = \frac{1}{R_T} \left( \frac{W}{m^2 K} \right) \quad (2)$$

I NS 3700 (Standard Norge, 2013) er kravene for å oppfylle passivhusstandard definert gjennom maksimumsverdier for blant annet totalt oppvarmingsbehov og maksimalt varmetap i bygningen. Ut ifra disse kravene bør ytterveggene dimensjoneres til en  $U$ -verdi på 0,10-0,12 W/(m<sup>2</sup>K), maksimalt 0,15 W/(m<sup>2</sup>K) (SINTEF Byggforsk, 2013). Ved bruk av mineralull tilsvarer dette gjerne et 30–40 cm tykt isolasjonssjikt i veggen, med andre ord et sjikt med varmemotstand på omtrent  $R = 10$  m<sup>2</sup>K/W.

### 2.2.3 Brannmotstand

Varmeisoleringsmaterialer må ha en brannklassifisering. Den europeiske brannklassifiseringen av byggevarer (European Committee for Standardization, 2007) klassifiserer materialets egenskaper basert på branntestdata (SINTEF Byggforsk, 2007). Materialene er gruppert i sju euroklasser, A1, A2, B, C, D, E og F. A1 er ikke brennbar, og E er svært brennbar. I Byggforskserien (SINTEF Byggforsk, 2009) defineres all isolasjon som ikke kan klassifiseres som A1-s1,d0 eller bedre som brennbar isolasjon. Hvis et produkt ikke har spesifisering, eller er veldig brannfarlig, vil det defineres som klasse F. I tillegg til hovedklassen klassifiseres materialene etter røykens vekstrate (s1, s2 eller s3) og flammende dråper eller partikler (d0, d1 eller d2).

Materialer med lav brannklasse, for eksempel E eller F, kan fremdeles brukes i en konstruksjon, dersom bygningsdelen som helhet oppfyller den forutsatte branntekniske funksjonen og isolasjonen blir brukt slik at den ikke bidrar til brannspredning. Spesifikke krav til bruk av brennbar isolasjon fins i Forskrift om tekniske krav til byggverk, TEK10.

Plastisolasjon uten flammehemmere er meget brennbar. Brannklassifiseringen til isolasjonsmaterialene som inngår i denne analysen er inkludert i den tekniske datatabellen i Tillegg A.

### 2.2.4 Fuktmotstand

Fuktighet i isolasjonsmaterialet reduserer isolasjonskapasiteten og kan forårsake alvorlige skader på bygningen. Fukt kan være forårsaket av at fuktig luft kondenserer på innsiden av materialet, av direkte utfelling og av migrering fra tilstøtende, våte materialer, eller bakken, om ikke konstruksjonen er riktig utført.

Vanndamp kan diffundere gjennom en konstruksjon på grunn av forskjeller i damptrykk.

Vanndiffusjonsmotstanden,  $\mu$ , angir forholdet mellom hvor mye vanndamp som diffunderer gjennom et lag av luft sammenliknet med gjennom et lag av materiale med samme tykkelse.  $\mu$  er derfor en nyttig indikator for isolerende materialer, ettersom det gir et godt førsteinntrykk av diffusjonsmotstanden i materialet, som kan være av betydning for den praktiske bruken. Tabulerte verdier for  $\mu$  for noen isolasjonsmaterialer fins i

Byggforskserien (SINTEF Byggforsk, 2004). Mer detaljert informasjon om vanddamptransport i materialer fins i Byggforskserien (SINTEF Byggforsk, 2003).

Isolasjonsmaterialer som ikke i utgangspunktet er vanntette eller vannavstøtende, kan behandles med vannavstøtende midler for å redusere vannopptaket i fibrene og/eller biocider for å forhindre råte eller soppdannelse (SINTEF Byggforsk, 1998; Lassen mfl., 2008). For å unngå kondensering av vann fra fuktig luft er det viktig med styring av luftbevegelser i isolasjonen, som kan oppnås ved bruk av fukt- eller dampsperrer på den varme siden av isolasjonen samt riktig ventilering på den kalde siden for å fjerne fuktighet.

### 2.2.5 Helse- og miljøfarlige stoffer

Vurderingen av innholdet av helse- og miljøfarlige stoffer i denne studien er kun basert på informasjonen som følger av EPD-ene, supplert av en forenklet vurdering basert på opplysninger i sikkerhetsdatablader fra produsentene. I Norge skal det deklarerer hvorvidt produktet inneholder stoffer fra REACH kandidatliste eller den norske prioritetslista i EPD (EPD Norge, 2007). Det samme kravet gjelder ikke nødvendigvis i utlandet.

Mineralullmaterialene har norske EPD-er. Rockwool inneholder ingen substanser fra REACH kandidatliste eller den norske prioritetslista per oktober 2013 (Rockwool, 2013). Produktene avgir i liten grad kjemiske forbindelser til inneluft. Glava glassull inneholder ingen substanser fra REACH kandidatliste eller den norske prioritetslista per november 2013 (Glava, 2013). Isover glassull inneholder ingen substanser REACH kandidatliste per mars 2014 (Isover, 2014).

Plastisolasjonsmaterialene XPS og EPS har utenlandske EPD-er som gjelder for produkter som ikke nødvendigvis er tilpasset det norske markedet. På det europeiske markedet inneholder XPS bromerte flammehemmere, som oftest av typen HBCD. HBCD er oppført på REACH kandidatliste og den norske prioritetslista. Bromerte flammehemmere er uønsket i store deler av det nordiske markedet, og isolasjon med innhold av HBCD er lite salgbart i Norge. Produsentene av XPS har derfor egne produksjonslinjer uten HBCD til Norge. EPD-ene for XPS gjelder for produkter med HBCD. EPD-ene deklarerer at dette er det eneste stoffet i XPS-isolasjonsmaterialet som står på REACH kandidatliste.

Etttersom HBCD står på kandidatlista, er produsentene nå på utkikk etter alternative flammehemmere. Alternativene er også bromerte forbindelser (EPA, 2014):

- Bromert butadienstyrenkopolymer, CAS 1195978-93-8. Handelsnavn: Emerald 3000
- Tetrabrombisfenol A bis bromert eterderivat, CAS 97416-84-7. Handelsnavn: RK-612
- Tetrabrombisfenol A bis (2,3-dibrompropyl) eter, CAS 21850-44-2
- Ingen av alternativene har vært gjenstand for en offentlig tilgjengelig, fullstendig risikoanalyse. Risikoanalyser basert på tilgjengelig, men ufullstendig datagrunnlag tyder på at alternativene er mindre skadelige enn HBCD. Likevel konkluderer en studie utført i regi av amerikanske EPA med at butadienstyrenkopolymeren er lite nedbrytbart i miljøet og at langtidseffekten av forbindelsen er ukjent (ibid.). Begge tetrabrombisfenol A-alternativene har potensial for toksisitet og høyt potensial for å være bioakkumulerende.

EPD-en for EPS gjelder for produkter uten HBCD, men innhold av helse- og miljøfarlige stoffer er ikke deklarerert i EPD-en for EPS (EUMEPS, 2013). Ifølge rapporten «Product safety summary for expandable polystyrene» fra den store kjemikalieprodusenten BASF (2007), inneholder EPS pentan, som kan forårsake irritasjon og effekter på sentralnervesystemet. Pentan er en lettflyktig, organisk forbindelse som brukes som blåsegass ved produksjon av EPS. EPS avgir som regel rikelige mengder pentan i tiden etter produksjon og montering på brukssted (Münzenberg og Thumulla, 2003). Mengden pentan avtar kraftig i løpet av noen måneder, men kan i en tidlig fase forekomme i store konsentrasjoner i lavenergibygninger der EPS er brukt

som isolasjonsmateriale. Det rapporteres ingen substanser fra REACH kandidatliste eller den norske prioritetslista (ibid.).

Enkelte EPS- og XPS-produkter avgir styren til inneluft. Styren er en mistenkt human hormonforstyrrer (kategori 1) (European Commission).

Innhold av helse- og miljøfarlige stoffer er heller ikke deklartert i EPD-ene for VIP. I sikkerhetsdatabladet fra Microtherm kommer det fram at Microtherms vakuumisolasjonspanel ikke inneholder substanser fra REACH kandidatliste (Microtherm, 2009). Dow Corning oppgir kun «No known applicable information» og «Complete information is not yet available» (Dow Corning, 2013).

### **2.2.6 Andre tekniske egenskaper**

I Byggforskserien (SINTEF Byggforsk, 1998) er materialeegenskaper som lydtekniske egenskaper, luftgjennomgang, setning, svinn, trykkfasthet og kryp samt aldring og bestandighet beskrevet. Lydtekniske egenskaper er regnet som irrelevante i denne studien. Luftgjennomgang gjør at materialer med åpen porestruktur trenger vindsperre, men det er også nødvending for materialer med lukket porestruktur for å unngå at luft skal lekke for eksempel mellom isolasjon og bindingsverk (ibid.). Trykkfasthet er regnet som irrelevant fordi studien antar bruk i veggkonstruksjoner som ikke stiller krav til at isolasjonen har bæreevne. Setning, svinn, aldring og bestandighet er ikke direkte relevant i en vugge-til-byggeplass-analyse.



## 3 Metode

### 3.1 Livssyklusanalyse

Denne studien er en energi- og klimagassanalyse basert på metoden livssyklusanalyse (LCA). Analysen sammenlikner resultater fra tidligere utførte LCA-er gjennom bruk av EPD.

LCA er definert i ISO 14040 (International Organization for Standardization, 2006a). LCA tar for seg hele livsløpet for et produkt, fra utvinning og anskaffelse av råmaterialer, gjennom produksjon og framstilling av energi og materialer, til bruk og sluttbehandling og endelig avhending (ibid.). LCA er en relativ framgangsmåte som er strukturert rundt en funksjonell enhet.

Den funksjonelle enheten (FE) definerer hva som skal studeres. FE kvantifiserer den tjenesten eller funksjonen som utføres av materialet eller produktsystemet som er under vurdering (ibid.). FE er en referanseenheter som inn- og utgangsfaktorer relateres til, slik at livsløpsinventaret konverteres til en enhet som egner seg for sammenlikning på tvers av produkter for en gitt funksjon. Alle påfølgende analyser relateres så til den funksjonelle enheten. LCA-metoden består av fire hovedfaser:

- Mål og omfang
- Livsløpsinventar
- Miljøpåvirkningsanalyse
- Diskusjon og tolkning

Først skal mål og omfang tegnes tydelig opp. Funksjonell enhet og systemgrenser defineres.

Livsløpsinventaret inkluderer den omfattende datainnsamlingsfasen. Gjennom en systematisk gjennomgang av verdikjeden regnes alle inn- og utgangsfaktorene inn i analysen, slik at all miljøbelastning kan identifiseres i miljøpåvirkningsanalysen. Til slutt tolkes resultatene og usikkerhetene i analysen.

LCA kan gi resultater innenfor en lang rekke miljøindikatorer. I analysen presentert her er de to vanligste indikatorene valgt ut:

- Akkumulert klimagassutslipp, uttrykt i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter
- Akkumulert energiforbruk, uttrykt i MJ

LCA tar for seg mulige miljøpåvirkninger, men forutsier ikke absolutte eller nøyaktige miljøpåvirkninger (International Organization for Standardization, 2006b). Usikkerheten kommer av integreringen av miljødata over tid og rom og den iboende usikkerheten i modellering av miljøpåvirkninger.

Utfyllende metodebeskrivelser av LCA fins for eksempel i Curran mfl. (2006) og i Baumann og Tillman (2004).

### 3.2 Miljødeklarasjoner (EPD)

Analysen presentert her sammenstiller resultater fra tidligere utførte LCA-er. Sammenlikning av LCA-analyser er problematisk på grunn av at det som regel ligger ulike forutsetninger, systemgrenser og antakelser til grunn i analyser utført av ulike utøvere til ulike tidspunkter. For å minimere usikkerheten er det kun brukt data fra Environmental Product Declarations (EPD) i denne studien. En EPD, eller miljødeklarasjon, er et kortfattet dokument som oppsummerer miljøprofilen til en komponent, et ferdig produkt eller en tjeneste på en standardisert måte. Figur 3.2 viser forsiden av en norsk EPD. En EPD lages på grunnlag av en livsløpsanalyse (LCA) etter ISO 14040-14044 (International Organization for Standardization, 2006b og 2006c). De standardiserte metodene skal sikre at miljøinformasjon innen samme produktkategori lar seg sammenlikne fra produkt til produkt, uavhengig av region eller land. Hensikten er at kunden skal kunne sammenlikne miljøprofiler og foreta en vurdering og et valg basert på miljødeklarasjonen.

Nye europeiske miljødeklarasjoner er utført i henhold til standard EN 15804 (European Committee for Standardization, 2012). Det er enklest å sammenlikne disse.

Ved å ekstrahere resultater fra EPD direkte fra EPD-er som er offentlig tilgjengelige, er analysen presentert her svært transparent. Analysen er samtidig et eksempel på praktisk bruk av EPD i byggenæringen.



Figur 3.2

Forsiden til en av miljødeklarasjonene som er benyttet i denne studien (EUMEPS, 2013)

### 3.3 Sammenlikningsgrunnlag

#### 3.3.1 Data

Det legges vekt på at datagrunnlaget skal være fra EPD-er som samsvarer med NS-EN 15804 (European Committee for Standardization, 2012). Forfatterne anbefaler å utvise forsiktighet med å sammenlikne disse med andre typer kilder som kanskje ikke følger de samme retningslinjene. Teknisk informasjon om de ulike produktene fins i Tillegg A. I tabell 4.2 fins en oversikt over datakildene som er brukt i analysen.

#### 3.3.2 Bygningskontekst

Hovedutfordringen med å bruke livssyklusanalyse til å sammenlikne ulike isolasjonsmaterialer er at det er vanskelig å finne en metode som yter rettferdighet med hensyn til de varierende tekniske egenskapene til materialene. I NS-EN15804 står det at byggevarer ikke nødvendigvis er sammenliknbare hvis de ikke samsvarer med NS-EN 15804 og ses i en bygningskontekst (ibid.). På tross av at denne analysen har systemgrenser som begrenser seg til materialene alene og ikke komplette bygningsdeler og bygninger, vil det legges vekt på at sammenlikningsgrunnlaget er så realistisk som mulig i en bygningskontekst.

I første omgang er det tatt hensyn til bygningskonteksten ved at materialutvalget er begrenset til materialer som har samme bruksområde. I avsnitt 1.2 ble det slått fast at denne analysen kun tar for seg materialer som kan brukes i en yttervegg.

Videre er det nødvendig å definere en funksjonell enhet som sørger for at resultatene kan sammenliknes på en meningsfull måte. I denne rapporten skal vi sammenlikne materialer som har ulik isolasjonsevne. I praksis vil det si at det trengs ulik tykkelse av de forskjellige materialene for å oppnå samme effekt. En funksjonell enhet som baserer seg på en gitt varmemotstand, sørger for et funksjonelt sammenlikningsgrunnlag på tvers av isolasjonsmaterialenes ulike karakteristika. Den funksjonelle enheten er utredet i avsnitt 4.1.2. Problemet med denne funksjonelle enheten er at ulike tykkelser og ulike egenskaper kan påvirke materialene i ytterveggen for øvrig. For eksempel, i en yttervegg av bindingsverk av tre, vil en tynn isolasjonsplate gi smalere i-profiler. Et annet eksempel er bruk av såkalt «edge spacer construction» for å tilføre mekanisk styrke til vakuumisolasjonspanelet (Grynning mfl., 2009). Dette er eksempler på at materialbruken i den tilstøtende konstruksjonen kan variere fra isolasjonsmateriale til isolasjonsmateriale. Slike forskjeller blir ikke gjenspeilet i den funksjonelle enheten. I avsnitt 4.3.2 er dette problemet diskutert.

Ulike isolasjonsmaterialer har ulike brannegenskaper, som også påvirker bygningen. Brannklassifiseringen til isolasjonsmaterialene som inngår i denne analysen er inkludert i den tekniske datatabellen i Tillegg A. I Byggforskserien (SINTEF Byggforsk, 2009) blir det beskrevet hvordan man kan bruke brennbar isolasjon uten at det får uakseptable konsekvenser for brannsikkerheten, blant annet ved hjelp av puss, platekledning eller tildekking med ubrennbar isolasjon. Dette gjelder først og fremst de meget brennbare plastisolasjonsmaterialene. Tiltak i form av tildekking med et lag ubrennbar isolasjon kan brukes i tak. Når brennbar isolasjon brukes i yttervegger, avviker ikke nødvendigvis bruken av puss og plater fra en konstruksjon med et ikke-brennbart isolasjonsmateriale. I lette trekonstruksjoner og bindingsverksvegger er det uvanlig å bruke brennbar plastisolasjon. Det er et godt eksempel på antakelsen om at materialene i denne studien likevel ikke helt fyller nøyaktig det samme markedssegmentet.

Det er ingen veldig tydelige forskjeller i tilleggsmaterialer (for eksempel dampsperre) eller tiltak for å hindre fukt på tvers av de isolasjonsmaterialene som er inkludert i denne analysen. Slike forskjeller er derfor ikke tatt hensyn til. Det samme gjelder vindsperring. Materialer med åpen porestruktur trenger vindsperre, men det er også nødvendig for materialer med lukket porestruktur for å unngå at luft skal lekke for eksempel mellom isolasjon og bindingsverk (SINTEF Byggforsk, 2004). Det har derfor liten påvirkning i LCA-sammenheng i de fleste tilfeller. Det er likevel viktig å være klar over at i tilfeller der ekstra tiltak mot lyd, fukt eller vind er nødvendig, må man regne inn dette tillegget i en eventuell livsløpsanalyse av bygningen. Se også avsnitt 2.2.6 om andre tekniske egenskaper.

### 3.4 Antakelser og begrensninger

Forutsetningene som ligger til grunn for sammenlikningsgrunnlaget, kan i stor grad påvirke de endelige resultatene av LCA. De viktigste forutsetningene og antakelsene i studien er sammenfattet nedenfor.

- Systemgrensene er begrenset til vugge-til-byggeplass-LCA (A1–A4).
- Effekten av transport fra fabrikk til byggeplass A4 er basert på forenklede beregninger og antakelser beskrevet i Tillegg B.
- Studien ble utført basert på EPD-data fra ulike land og produsenter.
- Levetiden til isolasjonsmaterialer ble ikke vurdert, ettersom det ikke er relevant for vugge-til-port/-byggeplass-LCA.
- Konsekvensutredningen er begrenset til miljøpåvirkningskategoriene global oppvarming (uttrykt i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter) og akkumulert energibehov (uttrykt i MJ).
- Forenklede vurderinger og eksempler fra materialene i bruk er tatt opp i avsnitt 4.3.2. Disse vurderingene er basert på tidligere studier fra SINTEF Byggforsk og tilhørende antakelser beskrevet i kildematerialet.

At EPD-ene i analysen er sammenliknbare i den sammenhengen de her er satt inn i, er en viktig antakelse i studien. Miljødeklarasjoner (EPD-er) fra Norge og Tyskland er brukt i studien. EPD-Norge og Institut Bauen und Umwelt (IBU) i Tyskland følger samme standarder for miljødeklarasjoner, EN-NS 15804 (European Committee for Standardization, 2012), ISO 21930 (International Organization for Standardization, 2007) og ISO 14040/44 (International Organization for Standardization, 2006a og 2006c), og legger i stor grad de samme forutsetningene og antakelsene til grunn for sine EPD-er. Derfor er EPD-er godkjent av henholdsvis EPD-Norge og IBU ansett å være sammenliknbare. EPD-en fra Microtherm avviker fra de andre EPD-ene ved at den ikke er tredjepartsgodkjent (Microtherm, 2013). At Microtherm-EPD-en er oppgitt å være i tråd med de samme standardene, og er utført av det anerkjente forskningsinstituttet Flemish Institute for Technological Research (VITO), støtter likevel antakelsen om sammenliknbarhet.

Et viktig avvik er at EPD-datasettene for XPS-materialene inneholder den bromerte flammehemmeren HBCD (Dow, 2013; Exiba, 2010). Under norske forhold er denne tilsatsen normalt fjernet. Derfor skulle miljøpåvirkningen fra denne tilsatsen ideelt sett vært fjernet i analysen. Dette har ikke vært mulig, ettersom de rådataene som ligger til grunn for EPD-ene på XPS, ikke er tilgjengelige. Tilsatsen av bromerte flammehemmere oppgis å være 0,5–3 masseprosent av materialinnholdet i produktet, og kan føre til en viss forøkelse av miljøpåvirkningen sammenliknet med et materiale for det norske markedet som ikke inneholder HBCD. Dette er ikke tatt hensyn til i denne analysen.

I beregningene ble det gjort antakelser om termisk ledningsevne basert på informasjon i EPD-ene. Tykkelsen og de påfølgende miljøresultatene er derfor snittverdier for produkter som kan variere noe seg imellom.

Den funksjonelle definisjonen av sammenlikningsgrunnlaget som ble gjennomgått i avsnitt 3.3 legger til rette for en rettferdig sammenlikning, men den fjerner ikke all usikkerhet knyttet til resultatet. At analysen ikke har tatt grundigere hensyn til tekniske forskjeller er en viktig begrensning ved studien. De ulike isolasjonsmaterialene kan også ha ulike behov for innfesting og liknende. Vi vet også at isolasjonsmaterialene vi sammenlikner ikke nødvendigvis har helt identiske markedssegmenter selv om de alle brukes i yttervegger. Det vil alltid være slik at det kan variere fra situasjon til situasjon hvilken løsning som er den mest miljøvennlige. Dette er viktig å vite for brukere av EPD-resultater generelt.

## 4 Sammenliknende energi- og klimagassanalyse

### 4.1 Mål og omfang

#### 4.1.1 Mål

Målet med studien ble definert i avsnitt 1.2. Vi ønsker å sammenlikne innebygd energibruk og klimagassutslipp for isolasjonsmaterialer.

#### 4.1.2 Funksjonell enhet

Begrepet funksjonell enhet (FE) ble beskrevet i avsnitt 3.1. FE i denne analysen definert som:

**1 m<sup>2</sup> isolasjonsmateriale med en tykkelse som gir en deklarerert termisk motstand lik  $R = 1 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$**

Denne FE-en samsvarer med norske produktkategoriregler (PCR) for isolasjon (EPD-Norge, 2007), som brukes når en miljødeklarasjon (EPD) på et isolasjonsprodukt skal lages. Den funksjonelle enheten kan bli uttrykt ved:

$$FE = R \times \lambda \times \rho \times A \text{ [kg]} \quad (5)$$

hvor R er termisk resistans ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ),  $\lambda$  er termisk konduktivitet ( $\text{W}/\text{mK}$ ),  $\rho$  er tettheten ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) og A er arealet ( $\text{m}^2$ ) (ibid.).

De norske EPD-ene benytter seg av denne funksjonelle enheten. Det samme er ikke tilfelle for alle de utenlandske EPD-ene. Noen bruker volum som funksjonell enhet. Derfor har det i denne studien vært nødvendig å regne om noe av datagrunnlaget til den riktige enheten, ved hjelp av formel 1, avsnitt 2.2.2. I omregningen ble det gjort antakelser om termisk ledningsevne basert på informasjon i EPD-ene. Tykkelsen og de påfølgende miljøresultatene er derfor snittverdier for produkter som kan variere noe seg imellom. Tabell 4.1.2 viser isolasjonsmaterialenes ulike tykkelse ved oppfylt funksjonell enhet.

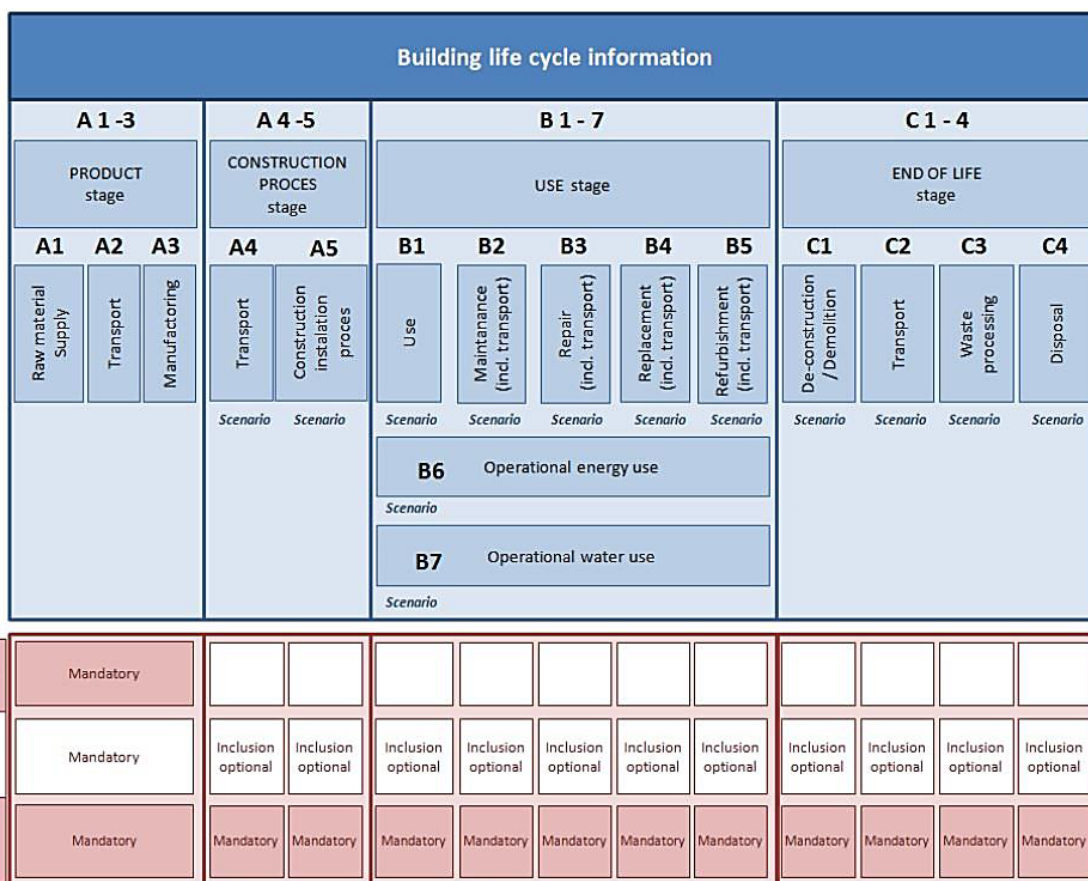
Tabell 4.1.2

Isolasjonsmaterialenes ulike tykkelse ved oppfylt funksjonell enhet

Materiale	Tykkelse ved oppfylt krav til $R= 1 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
Glava glassull	35 mm
Isover glassull	35 mm
Rockwool	37 mm
Exiba XPS	35,5 mm
Dow XPS	31 mm
EPS	34 mm
Microtherm VIP	7 mm
Dow Corning VIP	4,6 mm

#### 4.1.3 Systemgrenser

Systemgrensene etablerer hvilke deler av verdikjeden og livsløpet som studien omfatter og hvilke prosesser som inkluderes og utelates. Omfanget av denne studien begrenser seg til en vugge-til-byggeplass-analyse. I EN 15804 (European Committee for Standardization, 2012) brukes betegnelsen A1–A4 på en vugge-til-byggeplass-LCA, jamfør figur 4.1.3, som generisk viser de ulike fasene i en bygnings livsløp (ibid.). A1–A4 omfatter: (A1) råstoffutvinning og prosessering av råmaterialer, (A2) transport av råmaterialer til fabrikk, (A3) produksjon og produktemballasje og (A4) transport fra fabrikkport til byggeplass. Dermed ender LCA-studien ved byggeplassen.



Figur 4.1.3  
Utsnitt av systembeskrivelse av bygg med hensyn til livsløpsfaser basert på standard NS-EN 15084 (European Committee for Standardization, 2012)

Noen av isolasjonsmaterialene er produsert i Norge, men mange er produsert i utlandet og må fra et norsk utgangspunkt importeres. Import betyr lengre transportetapper. Hovedresultatene i avsnitt 4.3 er vist både med og uten transport til byggeplass i Norge lagt inn i beregningene. Forutsetningene for beregningene av energiforbruk og klimagassutslipp fra denne transporten fins i Tillegg B.

## 4.2 Livsløpsinventar

Miljødeklarasjoner (EPD-er) fra Norge og Tyskland ble brukt til å lage en vurdering av de miljømessige konsekvensene av de valgte isolasjonsmaterialene. Datagrunnlaget er derfor å finne i EPD-ene. Detaljert informasjon om EPD-datakildene er gitt i tabell 4.2. Ved å ekstrahere resultater fra EPD direkte fra EPD-er som er offentlig tilgjengelige, er analysen presentert her svært transparent.

Energisammensetningen og elektrisitetmiksen som er brukt i produksjonsprosessen av de ulike materialene, er ikke modifisert. Perspektivet i denne studien har vært et reelt norsk utgangspunkt der utenlandske materialer må importeres fra de respektive stedene hvor de faktisk er produsert. Informasjon om energisammensetning skal finnes i de respektive EPD-ene. Dessverre varierer det i praksis hvorvidt elektrisitetmiks og energikilder er rapportert i disse.

Hver produsent har en portefølje av ulike versjoner av hvert produkt. Eksempelvis fins det en rekke forskjellige Rockwool-plater. Versjonen som er tatt inn i denne analysen, er referanseproduktet i de respektive EPD-ene. Følgelig er EPD-resultatene for CO<sub>2</sub>-ekvivalenter og energibruk ekstrahert direkte fra EPD-ene uten at noe er lagt til eller trukket fra. Noen av EPD-ene, for eksempel Glava og Rockwool,

inneholder omregningstabeller med faktorer som tillater brukeren å regne ut miljøbelastningen til andre produkter i produsentens portefølje.

Som beskrevet i avsnitt 4.1.2, har det i denne studien vært nødvendig å regne om noe av datagrunnlaget til den riktige enheten, ved hjelp av formel 1, avsnitt 2.2.2.

Miljødata og tilhørende informasjon er hentet fra kildene som oppgis i tabell 4.2.

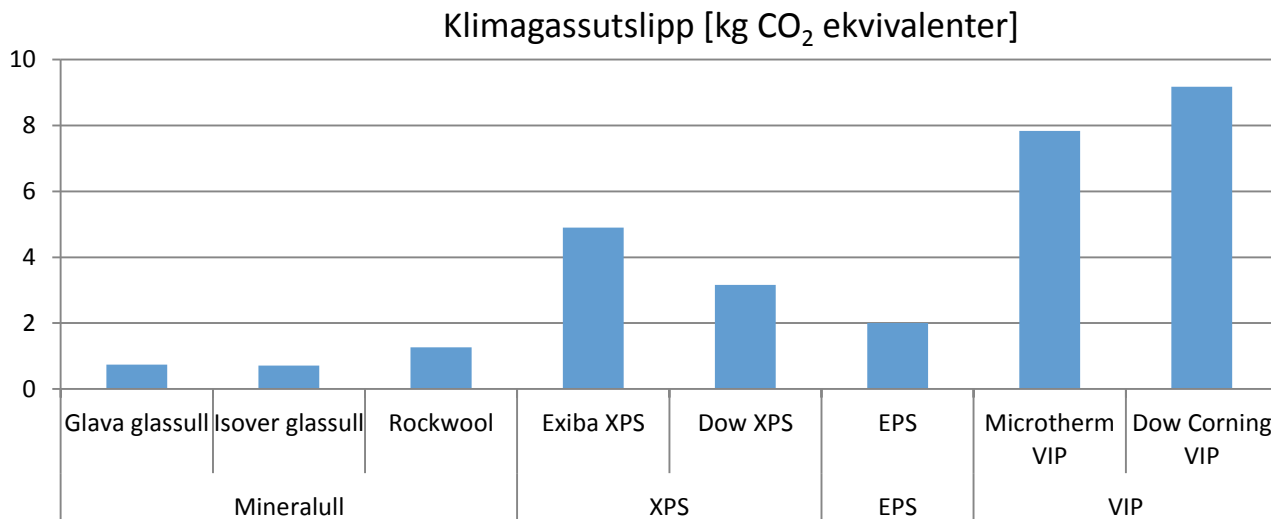
Tabell 4.2  
Kilder og data

Type	Produsent	Produkt	Kilde		Referanse
			EPD-organ	Deklarasjonsnummer	
Mineralull	Glava	Glassull 16,5 kg/m <sup>3</sup> λ <sub>D</sub> = 0,035 W/(m)K	EPD-Norge	NEPD 221N versjon 2	Glava, 2013
	Saint-Gobain Isover	Glassull Isover UNI skiva 35	EPD-Norge	NEPD 00244E	Isover, 2014
	Rockwool	Rockwool 29 kg/m <sup>3</sup> λ <sub>D</sub> = 0,037 W/(m)K	EPD-Norge	NEPD 00131 revisjon 1	Rockwool, 2013
XPS	Exiba	Exiba XPS snitt	IBU	ECO-XPS-010101-1007	Exiba, 2010
	Dow Deutschland	Dow XENERGY XPS foam insulation snitt	IBU	EPD-DOW-2013111-D	Dow, 2013
EPS	EUMEPS	EUMEPS EPS u/flammehemmer snitt	IBU	EPD-EPS-20130078-CBG1-EN	EUMEPS, 2013
Vakuumisolasjonspanel (VIP)	Microtherm	Microtherm SlimVac	Microtherm i samarbeid med VITO. Ikke nummerert av offisiell EPD-programoperatør. Kan lastes ned fra: <a href="http://www.constructionenvironment.com">www.constructionenvironment.com</a>		Microtherm, 2013
	Dow Corning	Dow Corning VIP	IBU	13CA24184.104.1 MR-ULE-EPD-DWC-20130200-CBA1-EN	Dow Corning, 2013

## 4.3 Resultater og diskusjon

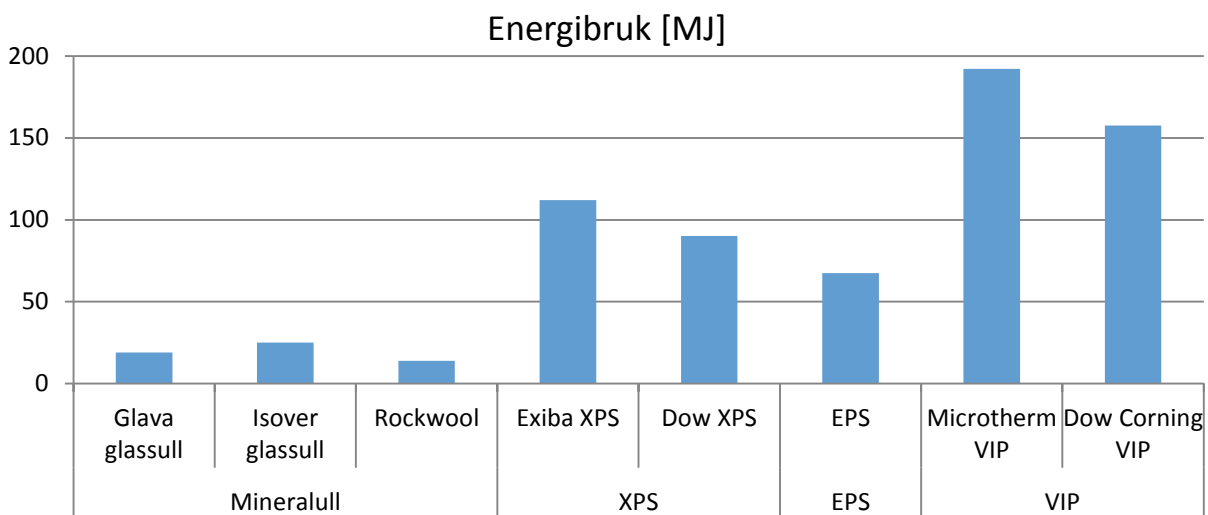
### 4.3.1 Vugge-til-port og vugge-til-byggeplass energibruk og klimagassutslipp

Figur 4.3.1 a og b viser A1–A3-resultatene fra studien. Bundet CO<sub>2</sub> og bundet energi er oppgitt for hvert isolasjonsmateriale.



Figur 4.3.1 a

Klimagassutslipp, vugge til port (A1–A3) for ulike isolasjonsmaterialer. Funksjonell enhet er 1 m<sup>2</sup> isolasjonsmateriale med en tykkelse som gir en deklarerert termisk motstand lik  $R = 1 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ .



Figur 4.3.1 b

Akkumulert energibruk, vugge til port (A1–A3) for ulike isolasjonsmaterialer. Funksjonell enhet er 1 m<sup>2</sup> isolasjonsmateriale med en tykkelse som gir en deklarerert termisk motstand lik  $R = 1 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ .



I figur 4.3.1 a kommer det fram at klimagassutslippet varierer fra under 1 kg til nesten 10 kg CO<sub>2</sub> for den funksjonelle enheten. I figur 4.3.1 b kommer det fram at energibruken varierer fra ca. 14 MJ til ca. 160 MJ for den funksjonelle enheten. Det viser seg at isolasjonsmaterialene basert på mineralull har mindre energibruk og klimagassutslipp enn XPS, EPS og VIP. Materialet med det aller laveste klimagassutslippet er glassull. Materialet med den laveste energibruken er Rockwool. Figurene viser at EPS har noe lavere miljøpåvirkning enn XPS og at XPS igjen har lavere miljøpåvirkning enn VIP.

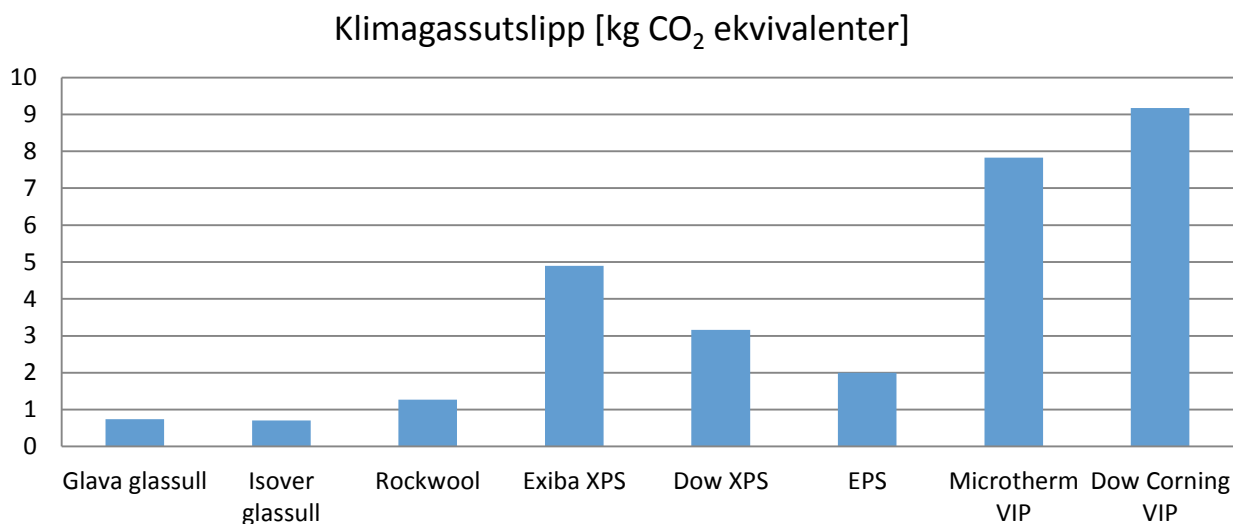
Resultatene i figurene 4.3.1 a og b inkluderer ikke transport til norsk sentrallager. Mange EPD-er setter systemgrensa ved fabrikkport (A1–A3), og det har vært debattert hvorvidt det er riktig å sammenlikne produkter uten å ta med A4 (Eldegard, 2013). Tabell 4.3.1 viser hvilke land produksjonsstedene for de enkelte materialene ligger i, og hvilken effekt transport til norsk sentrallager har på energi- og klimagassregnskapet. Antakelsene som ligger til grunn for transportanalysen (transportmiddel, avstander osv.), er beskrevet i Tillegg B.

Tabell 4.3.1

Sammenlikning av miljøresultater med og uten hensyn til transport til norsk sentrallager

Produkt	Land	Transportavstand [km]	Klimagassutslipp [kg CO <sub>2</sub> ]		Energibruk [MJ]	
			Vugge til port (A1–A3)	Inkl. transport til norsk sentrallager	MJ	Inkl. transport til norsk sentrallager
Glava glassull	Norge	50	0,74	0,745	18,9	18,97985
Isover glassull	Sverige	530	0,71	0,762	25	25,87203
Rockwool	Danmark/Norge	Se EPD	1,27	1,282	13,8	13,97000
Exiba XPS	Europa snitt	1970	4,9	5,298	112	118,67193
Dow XPS	Europa snitt	1970	3,16	3,513	90,11	96,02063
EUMEPS EPS	Skandinavia snitt	600	2,00	2,084	67,52	68,93029
Microtherm SlimVac	Belgia	1500	7,83	8,151	192,31	197,61307
Dow Corning VIP	USA	1870 km lastebil og 6410 km skip	9,17	9,491	157,7	163,02790

Figur 4.3.1 c viser klimagassutslippene når transporten er regnet inn, analogt til figur 4.3.1 a. I denne studien var forskjellen på resultatene med og uten transport relativt liten, og den endrer ikke rangeringen fra høyere til lavere miljøpåvirkning. Det tyder på at det er grunnlag for å sammenlikne A1–A3-resultater fra EPD-er på isolasjonsmaterialer. Det er likevel viktig å huske på at miljøpåvirkning fra transport avhenger av vekten på transportmiddelets last. Det som er en liten forskjell når vi sammenlikner på bakgrunn av små dimensjoner, kan utgjøre en større forskjell når vi skal bestille isolasjon til en stor bygning. Det er også viktig å bemerke at transportresultatene er basert på generiske data og enkle antakelser.



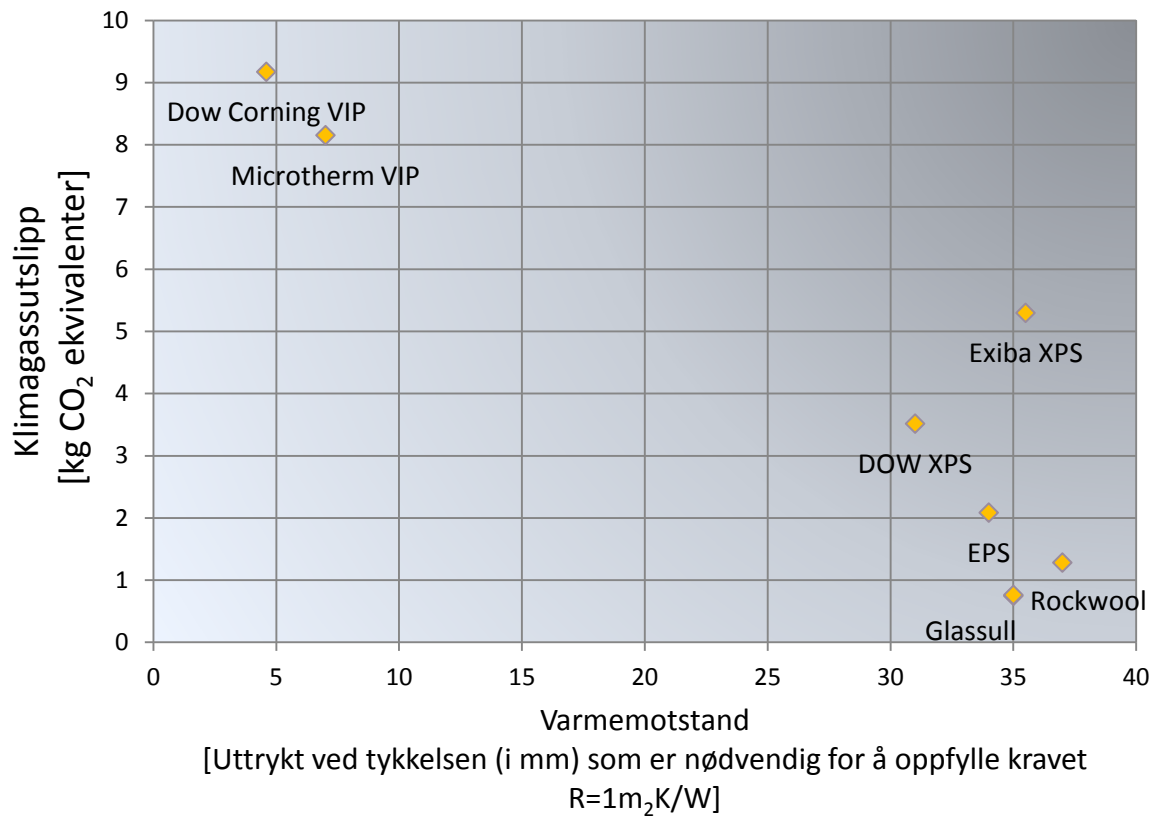
Figur 4.3.1 c

Klimagassutslipp, vugge til byggeplass (A1–A4) for ulike isolasjonsmaterialer, inkludert transport fra fabrikk til norsk sentrallager. Funksjonell enhet er 1 m<sup>2</sup> isolasjonsmateriale med en tykkelse som gir en deklarerert termisk motstand lik  $R = 1 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ .

Det kommer fram at ett av isolasjonsmaterialene i studien skiller seg fra de andre ved å ha betydelig høyere verdier for innbygd CO<sub>2</sub> og energi enn de andre. VIP står i en spesiell stilling fordi det er et relativt nytt og teknologisk avansert produkt. Varmeresistansen i panelet er ekstremt god, og panelene er derfor tilsvarende tynne. Til tross for dette kommer altså produktet ut med en forhøyet miljøpåvirkning sammenliknet med de andre isolasjonsmaterialene. Det er viktig å vite at VIP har spesielle egenskaper som gjør at det blant annet egner seg til rehabiliteringsprosjekter og andre tilfeller der elementtykkelse er avgjørende (Grynning, 2009). Å avgjøre om et produkt er miljømessig egnet eller uegnet vil alltid være kontekstavhenging.

Figur 4.3.1 d kartlegger isolasjonsmaterialenes prestasjon langs to akser, en x-akse som viser varmemotstand og en y-akse som viser klimagassutslipp. Materialenes «miljøprestasjon» og «isolasjonsprestasjon» kan på denne måten vises i samme graf. Legg merke til at enheten langs x-aksen er millimeter. Varmemotstanden er uttrykt ved tykkelsen som trengs for å oppnå kravet om varmemotstand  $R = 1 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ . Figuren sammenstiller informasjonen fra tabell 4.1.2 og figur 4.3.1 a. Det framkommer av figuren at vakuumisolasjonspanelet skiller seg ut fra de andre materialene. Det er den beste isolatoren, men samtidig har vakuumisolasjonspanelet et kraftigere CO<sub>2</sub>-fotavtrykk enn de andre materialene.

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. En viktig grunn til at VIP slår ut med høye verdier er at den porøse matrisen i panelet består av et silikamateriale som er relativt energiintensivt å produsere (Ghose, 2011).



Figur 4.3.1 d


Kart over isolasjonsmaterialenes prestasjon langs to akser, en x-akse som viser varmemotstand og en y-akse som viser klimagassutslipp

### 4.3.2 Resultatene i en bygningskontekst

#### *En isolert yttervegg*

Resultatene presentert i figur 4.3.1 a–d kan fungere som veiledende for valg av isolasjonsmaterialer. Med LCA av byggematerialer er det likevel alltid nødvendig at man er i stand til å se resultatene som relative til sin praktiske sammenheng i hvert enkelt tilfelle, som beskrevet i avsnitt 1.2 og i avsnitt 3.3.2. Det er en god regel at EPD-er skal sammenliknes i bygningssammenheng. I denne delen av analysen ønsker vi å gå et skritt videre med resultatene, som en starthjelp til den prosessen.

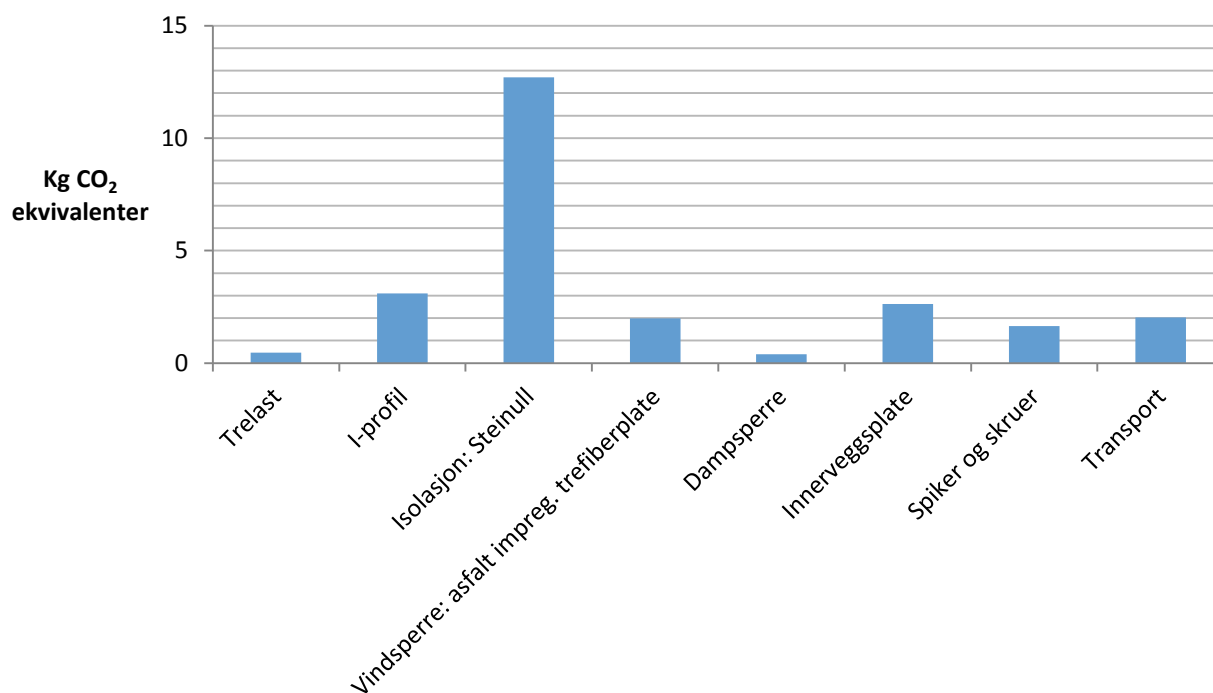
I studien utført av Sørnes og Kristjansdottir (2012) ble ulike ytterveggskonstruksjoner i tre analysert med LCA. Ved å bruke en av veggkonstruksjonene fra den studien kan vi vise den relative klimapåvirkningen det isolerende laget har i forhold til hele veggkonstruksjonen. Den utvalgte casen er en yttervegg til en bolig med passivhusstandard. Spesifikasjonene er opptegnet i figur 4.3.2 a.

Bindingsverksvegg U = 0.13 W/m <sup>2</sup> K, I-profil	Mengde	Enhet	
1 Trelast	10,4	kg	
I-profil: 350mm	2,5	m	
Utlekting: 23 x 48mm			
Trekledning: 19 x 148 mm			
2 Isolasjon: ca 350mm	0,34	m <sup>3</sup>	
3 Vindspærre: 12mm asfaltimpreg. trefiberplate	1	m <sup>2</sup>	
4 Dampspærre: 0.15 mm plast	1	m <sup>2</sup>	
5 Innvendig plate: 12mm sponplate eller trepanel	1	m <sup>2</sup>	
6 Spiker og skruer	0,37	kg	

Illustrasjon: Trefokus, Treteknisk

Figur 4.3.2 a  
Eksempel på yttervegg (ibid.)

I figur 4.3.2 b er klimagassregnskapet for bindingsverksveggen vist. Sørnes og Kristjansdottirs metode er kun modifisert med EPD-data for Rockwool, fordi Sørnes og Kristjansdottir benyttet et annet datagrunnlag for Rockwool. Analysen inkluderer materialer og transport til byggeplass. Den funksjonelle enheten er 1 m<sup>2</sup> av veggsegmentet presentert i figur 4.3.2 a. Metoden og forutsetningene er mer detaljert beskrevet i studien fra Sørnes og Kristjansdottir (ibid.). Figur 4.3.2 b viser at isolasjonssjiktet har en dominerende klimapåvirkning relativt til de andre komponentene i veggsegmentet, ifølge beregningene fra Sørnes og Kristjansdottir (ibid.). Om det antas at veggkonstruksjonen for øvrig ikke endrer seg, er resultatene i figur 4.3.1 a gyldige som alternativ klimapåvirkning fra isolasjonssjiktet i denne konstruksjonen. Under denne antakelsen kan med andre ord resultatene i figur 4.3.1 a, eventuelt tabell 4.3.1, settes rett inn i figur 4.3.2 b.



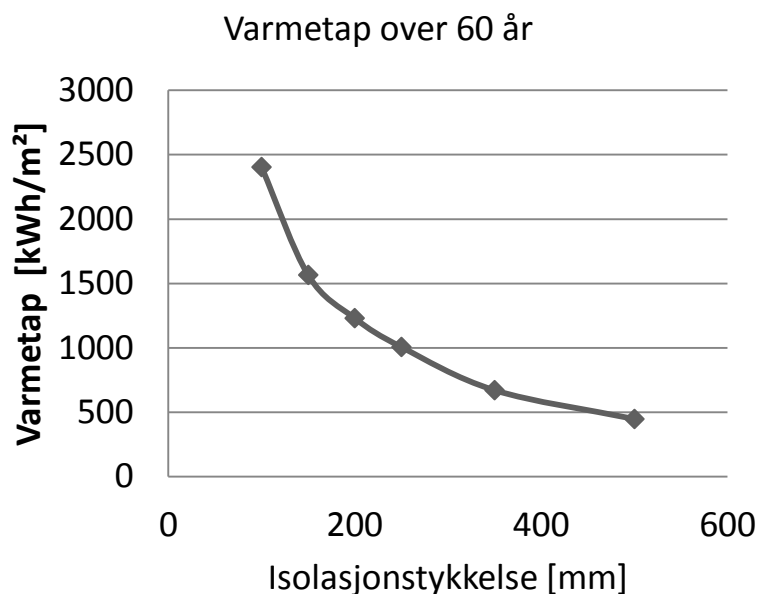
Figur 4.3.2 b  
Modifisert gjengivelse av figur som viser klimagassutslippet fra 1 m<sup>2</sup> av en definert yttervegg (ibid.)

I lys av problematikken rundt sammenlikningsgrunnlaget presentert i avsnitt 3.3 må det legges vekt på at materialbruken i den tilstøtende konstruksjonen kan variere fra isolasjonsmateriale til isolasjonsmateriale. Slike forskjeller blir ikke gjenspeilet i den funksjonelle enheten. For et tynnere materiale kan det for eksempel være tilfelle med mindre dimensjoner på I-profilen og tilsvarende lavere klimagassutslipp fra den komponenten, som i figur 4.3.2 b representerer 3 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Innerveggsplata i eksemplet over (figur 4.3.2 b) er en treplate. I en annen konstruksjon kunne det vært brukt brennbar isolasjon, som for eksempel EPS eller XPS. Da kunne det være nødvendig med en gipsplate for å sikre mot brann. Gipsplater har høyere bundet klimagassutslipp enn treplater. Dette er bare hypotetiske eksempler. Ansvarlige i byggeprosjekter kan gjøre de tilpasningene som er reelle i hvert tilfelle. Dette legger grunnlaget for gode LCA-vurderinger.

#### *Varmetap i bruksfasen og energimessig lønnsomhet*

I studien til Folvik, Holthe og Einstabland (2011) ble det brukt en forenklet varmetapsanalyse for å modellere energiforbruket i bruksfasen til en case. Casen bestod av en enkel bindingsverksvegg med tømmerpanel, vind og fuktspærre og et isolasjonssjikt av glassull, ikke ulik veggen i figur 4.3.2 a. Utgangspunktet for analysen var en vugge-til-port-LCA av 1 m<sup>2</sup> av denne veggcasen. Den forenklete varmetapsanalysen ble brukt til å sammenlikne bespart energi i bruksfasen med vugge-til-port-energiforbruk for ulike isolasjonstykkelser.

Folvik, Holthe og Einstabland (ibid.) studerte ikke ulike isolasjonsmaterialer, men ulike tykkelser av den samme glassulla. Varmetapsanalysen tok utgangspunkt i «the degree days method» med bruk av normal tall for Oslo-regionen. Analysen og dens forutsetninger er nærmere beskrevet i studien (ibid.). En grafisk framstilling av den forenklete varmetapsanalysen er direkte gjengitt i figur 4.3.2 c, oversatt til norsk. Merk at Folvik, Holthe og Einstabland (ibid.) bruker kilowattimer (kWh) som enhet for energiforbruket.



Figur 4.3.2 c

Gjengivelse av figur 4 a) i Folvik, Holthe og Einstabland (ibid.). Varmetap gjennom 1 m<sup>2</sup> yttervegg som en funksjon av isolasjonstykkelse eller veggtykkelse

Ved å sammenlikne varmetapet over seksti år med energiinvesteringen de ulike tykkelsene av glassull representerte, konkluderte Folvik, Holthe og Einstabland (ibid.) med at det er klimagassmessig og energimessig lønnsomt å isolere med tykke lag glassull. Veggen med det tynneste glassullaget, 100 mm – tilsvarende u-verdi 0,43 – har høyere klimagassutslipp akkumulert over hele levetiden enn det tykkeste laget,

350 mm – tilsvarende u-verdi 0,12 (passivhusstandard). Denne konklusjonen er relativ til energimiksen som ligger til grunn i analysen ifølge Haavi (2010). Haavi (ibid.) sammenliknet bundet energi og bundet CO<sub>2</sub> i glassull av forskjellig tykkelse med innsparingene av energi disse isolasjonstykkelsene representerte over bygningens levetid. Konklusjonen var at den tykkeste isolasjonen (500 mm) sparte mest CO<sub>2</sub> når europeisk OECD-elektrisitetsmiks ble lagt til grunn, men den tynneste isolasjonen (235 mm) lønte seg når norsk elektrisitetsmiks ble lagt til grunn. På den annen side har andre argumentert for at bruk av svært tykk isolasjon ikke er ønskelig av økonomiske (reduisert golvareal) og ikke minst arkitektoniske grunner (Jelle, 2011).

I analysen presentert her er det valgt en annen vinkling. Med den funksjonelle enheten  $1 \text{ m}^2$  isolasjonsmateriale med en tykkelse som gir en deklarerert termisk motstand lik  $R = 1 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$  vil de ulike materialene isolere like godt, men ha noe ulik tykkelse. Varmetapet i bruksfasen er i dette perspektivet det samme for alle materialene.

Tykkelser tilsvarende ca. 70 mm Microtherm SlimVac VIP eller ca. 350 mm glassull er aktuelt for isolering av en vegg dimensjonert til passivhusstandard (ca. U-verdi 0,12). I Folvik, Holthe og Einstablands (2011) forenklede varmetapsanalyse tilsvarer dette et varmetap på 11,18 kWh (40,3 MJ) per år gjennom det definerte veggsegmentet. Tabell 4.3.2 a viser tykkelsene til materialene i denne studien, om de skulle vært satt inn i Folvik, Holthe og Einstablands passivhuscase, altså tykkelsene for å oppnå en U-verdi på 0,12. I samme tabell er det også vist tilsvarende tykkelser for tilfellet der U-verdien var 0,43 (bare 100 mm glassull). Tabell 4.3.2 b viser varmetapet i en driftsfase som varer i seksti år, for begge standardene.

Tabell 4.3.2 a

Materialtykkelser for to ulike scenarier: høy og lav standard for varmeisolering i vegg

Materiale	Tykkelse ved U-verdi 0,12 [mm]	Vugge-til port-energibehov [MJ]	Tykkelse ved U-verdi 0,43 [mm]	Vugge-til port-energibehov [MJ]
Glassull Glava	350	189	100	54
Glassull Isover	350	250	100	71
Rockwool	370	138	106	39
XPS Exiba	355	1 120	101	320
XPS Dow	310	901	89	257
EPS	340	675	97	193
VIP Microtherm	70	1 923	20	549
VIP Dow	46	1 577	13	451

Tabell 4.3.2 b

Varmetapet gjennom et veggsegment i en driftsfase som varer i seksti år, for høy og lav u-verdi, ifølge studien fra Folvik, Holthe og Einstabland (ibid.)

U-verdi	Varmetap per år [MJ/m <sup>2</sup> ]	Varmetap seksti år [MJ/m <sup>2</sup> ]
0,43	144,89	8 693,57
0,12	40,25	2 414,92

Vi bruker casen og varmetapsanalysen i Folvik, Holthe og Einstabland (ibid.) til å se på hvorvidt konklusjonen om at tykk isolasjon betaler seg energimessig over levetiden også gjelder for materialene med høyt vugge-til-port-energibehov (bundet energi). I studien presentert her ble det funnet at Dow Corning's VIP var det isolasjonsmaterialet som hadde høyest bundet energi. Ut ifra tabell 4.3.2 b framkommer det at den tykke isolasjonen lønner seg over levetiden også for VIP. Konklusjonen gjelder da følgelig for alle materialene i denne studien. Selv om VIP trenger mye energi i A1–A3, mye mer enn mineralull, så lønner

det seg likevel å bruke VIP framfor å isolere til en lavere U-verdi. Energibesparelsen som skjer i bruksfasen når det isoleres til passivhusstandard, er uansett så stor at isolering lønner seg uansett materialvalg.

Funnene samsvarer i stor grad med Folvik, Holthe og Einstablands (ibid.) konklusjon om det er mindre energikrevende å bruke tykk isolasjon, selv om det krever større materialmengder. Krysningpunktet mellom tynne og tykke alternativet inntreffer innen de første 15 årene for de fleste materialene. Selv de omfattende materialmengdene som kreves for å oppnå U-verdi 0,12, lønner seg sammenliknet med mindre materialbruk og U verdi 0,43. Isolasjon av mineralull dimensjonert til passivhusstandard er den mest energivennlige løsningen.

Mellom de to grensetilfellene (U-verdi 0,12 og U-verdi 0,43) kan det være at noen av isolasjonsmaterialene har et balansepunkt der et tynnere sjikt vil lønne seg. Varmetapsanalysen fra Folvik, Holthe og Einstabland (ibid.) gir ikke tilgang på detaljerte data for sammenhengen mellom U-verdi og varmetap gjennom veggcasen. Dette kan være et tema for videre undersøkelser og arbeid. Et annet tema for videre arbeid bør være en videreføring av Haavis (2010) arbeid der klimagassutslipp står i fokus, spesielt med tanke på konsekvensene av veldig forskjellig energimiks i materialproduksjonen og i bygningens livsfase.

## 5 Konklusjon

Målet med studien var å utrede et bedre beslutningsgrunnlag for miljøvennlig valg av varmeisolasjon.

Studien besto av to deler:

1. Isolasjonsmaterialene som fins på markedet er ulike, når det gjelder både materialsammensetning, bruksområder og tilleggsfunksjoner utover det å være varmeisolerende. I første del av studien ble forutsetningene for at to isolasjonsmaterialer kan sammenliknes utredet.
2. I andre del av studien ble åtte ulike isolasjonsmaterialer til bruk i en ytterveggkonstruksjon sammenliknet med tanke på energibruk, klimagassutslipp og innhold og utslipp av helse- og miljøfarlige forbindelser.

Følgende forutsetninger må være oppfylt for at to isolasjonsmaterialer skal kunne sammenliknes:

- Produktene må ses i forhold til bruk i en bygning. I denne spesifikke studien betyr dette at det nødvendig å vite at isolasjonsmaterialene som sammenliknes er en del av samme grunnleggende type veggkonstruksjon. Hvis ikke kriteriet om sammenliknbare konstruksjoner er oppfylt, er det nødvendig å sammenlikne de alternative veggkonstruksjonene i sin helhet, i stedet for å se på isolasjonsmaterialet isolert.
- Innenfor samme type veggkonstruksjon kan forskjeller i tykkelse på isolasjonsmaterialene føre med seg endringer i materialmengdene i konstruksjonen for øvrig. Dette kan ha en effekt på veggkonstruksjonens totale miljøpåvirkning.
- EPD-er av cellulosematerialer som tar inn biogent karbon kan kun sammenliknes med andre isolasjonsmaterialer i analyser som tar inn hele livsløpet (A–D).
- Ved sammenlikning av norske og utenlandske EPD-er bør det undersøkes om produktene i de utenlandske EPD-ene inneholder stoffer som ikke er akseptert på det norske markedet.

Det ble konkludert med at det er relativt godt grunnlag for å sammenlikne EPD-resultater uten flere forbehold enn de ovennevnte. Dette er til tross for at isolasjonsmaterialene har ulike tekniske egenskaper, som for eksempel ulik brann- og fuktmodstand. Det ble funnet at disse ulikhetene ikke nødvendigvis svekker antakelsen om sammenliknbarhet i LCA-sammenheng. Antakelsen om sammenliknbarhet er gyldig fordi:

- både materialer med åpen og lukket porestruktur trenger damp- og vindsperre
- for brennbar isolasjon kan krav om ekstra brannbeskyttende tiltak ha en effekt på den totale miljøpåvirkningen for konstruksjonen, men i mange tilfeller vil en yttervegg inneholde de samme komponentene selv om isolasjonen ikke er brennbar

Det ble vist at det også er godt grunnlag for å ta i bruk tyske EPD-er i sammenlikningen uten videre forbehold. Samme standarder ligger til grunn i det norske og det tyske EPD-systemet. Transportavstand fra produksjonssted til byggeplass i Norge viste seg i denne analysen å ha relativt liten effekt på den totale miljøpåvirkningen.

Lydkrav og implikasjoner dette kan ha for en sammenliknende livsløpsanalyse av isolasjonsmaterialer ble ikke utredet i denne studien. Det er viktig å være klar over at i de tilfellene der ekstra tiltak mot lyd, fukt eller andre hensyn er nødvendig, må dette tillegget regnes inn i en livsløpsanalyse av ytterveggen og eventuelt hele bygningen.

Energi- og klimagassanalysen er basert på metoden livssyklusanalyse (LCA). Analysen sammenlikner resultater fra tidligere utførte LCA-er gjennom bruk av miljødeklarasjoner (EPD-er). Den funksjonelle enheten i analysen er  $1 \text{ m}^2$  isolasjonsmateriale med en tykkelse som gir en deklartert termisk motstand lik  $R = 1 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ .

De viktigste begrensningene i studien er at:

- systemgrensene er smalnet ned til en vugge-til-byggeplass-analyse (A1–A4)
- transportscenariene fra fabrikk til byggeplass (A4) er basert på enkle antakelser



- konsekvensutredningen er begrenset til miljøpåvirkningskategoriene global oppvarming og akkumulert energibehov
- delen av analysen som omfatter bygningskontekst, er forenklet til å basere seg på tidligere studier, som kan ha forutsetninger for sine LCA-vurderinger som avviker noe fra LCA-analysen presentert her.

Energi -og klimagassanalysen viste at:

- klimagassutslippet varierer fra under 1 kg til nesten 10 kg CO<sub>2</sub> for den funksjonelle enheten
- energibruk varierer fra ca. 14 MJ til ca. 160 MJ for den funksjonelle enheten
- isolasjonsmaterialene basert på mineralull har mindre energibruk og klimagassutslipp enn XPS, EPS og VIP. EPS har noe lavere miljøpåvirkning enn XPS, og XPS igjen har lavere miljøpåvirkning enn VIP.
- miljøpåvirkningen fra transport til norsk sentrallager ble analysert med enkle modeller, og viste seg å utgjøre en relativt liten forskjell

Ved å bygge videre på tidligere studier utført av SINTEF Byggforsk er en analyse av den relative miljøpåvirkningen fra isolasjonsmaterialene i en typisk yttervegg inkludert. I en bygningskontekst ble det vist at isolasjonsmaterialene har en viktig innvirkning på det totale klimagassregnskapet for en yttervegg. Det ble også vist at endringer i materialbruk, som konsekvens av valg av isolasjonsmateriale, potensielt kan påvirke total energibruk og klimagassutslipp for ytterveggen.

Bundet energi i vugge til port ble sammenliknet med energibesparelsen veggkonstruksjonene representerte over en levetid på seksti år, ved hjelp av en enkel varmetapsanalyse. Økt isolasjonstykkelse førte til netto energibesparelse, også for materialene som ble assosiert med det høyeste energiforbruket i vugge-til-byggeplass-analysen.

## Litteraturliste

- Ardente, F., mfl. 2008. Building energy performance: a LCA case study of kenaf-fibres insulation board. *Energy and Buildings*, 40(1), s. 1–10.
- Aschehoug, Ø., mfl. 2007. *Enøk i bygninger*. Oslo: Gyldendal.
- BASF. 2007. *Product safety summary – Styropor® Expandable Polystyrene*. [Lest 11. august 2014]. Tilgjengelig fra:  
[http://www.basf.com/group/corporate/en\\_GB/function/conversions:/publish/content/about-basf/worldwide/northamerica/USA/sustainability/rc/docs/Expandable\\_Polystyrene\\_Product\\_Safety\\_Summary.pdf](http://www.basf.com/group/corporate/en_GB/function/conversions:/publish/content/about-basf/worldwide/northamerica/USA/sustainability/rc/docs/Expandable_Polystyrene_Product_Safety_Summary.pdf).
- Baumann, H. og A.-M. Tillman. 2004. *The hitch hiker's guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Berge, B. 2007. *Isolasjonsmaterialer av trevirke – løsfyll, matter og plater*. Lista: Gaia.
- Curran, M.A. 2006. *Life Cycle Assessment: Principle and practice*. Ohio: National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency.
- Dokka, T.H., mfl. 2013. *A zero emission concept analysis of an office building*. ZEB Project Report 8. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- Dow. 2013. *Umwelt-Produktdeklaration XENERGY(TM) XPS Dämmplatte*. Dow Deutschland GmbH & Co.
- Dow Corning Corporation. 2013a. *Dow Corning®VIP module-USA*. Material Safety Data Sheet. [Lest 11. august 2014]. Tilgjengelig fra:  
[http://www.dowcorning.com/applications/search/msds/default.aspx?Ntt=VIP&N=0&Ntx=mode+MatchAllPartial&DCCD=PRODUCT&Nty=1&DCCT=MSDS&Ntk=ProductFinder\\_en](http://www.dowcorning.com/applications/search/msds/default.aspx?Ntt=VIP&N=0&Ntx=mode+MatchAllPartial&DCCD=PRODUCT&Nty=1&DCCT=MSDS&Ntk=ProductFinder_en).
- Dow Corning Corporation. 2013b. *Environmental product declaration of Dow Corning Corporation vacuum insulation panels*. Berlin: IBU.
- Duijve, M. 2012. *Comparative assessment of insulating materials on technical, environmental and health aspects for application in building renovation to the passive house level*. Master thesis, Faculty of Geosciences, Utrecht University.
- Ecoinvent. 2007. *Ecoinvent data v3.0*. Ecoinvent reports No. 1-25. Zürich: Centre for Life Cycle Inventories.
- Eldegard, J. 2013. Kortreist eller bortreist? I *Byggeindustrien*, 11.03.2013. Tilgjengelig fra:  
<http://www.bygg.no/article/102886>.
- EPA. 2014. *Flame retardant alternatives for Hexabromcyclododecane (HBCD)*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.epa.gov/dfe/pubs/projects/hbcd/about.htm>.
- EPD-Norge. 2013. *NPCR 015 Rev 1. Product category rules (PCR). Wood and wood-based products for use in construction*. u.s.: EPD-Norge.
- EPD-Norge. 2007. *NPCR 012 Product category rules (PCR) for preparing an environmental declaration (EPD) for product group «insulation materials»*. u.s.: EPD-Norge.

- EUMEPS. 2013. *Environmental product declaration of EPS*. Königswinter: IBU.
- European Commission – Chemicals – Endocrine Disruptors. Tilgjengelig fra: [http://ec.europa.eu/environment/chemicals/endocrine/strategy/being\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/endocrine/strategy/being_en.htm).
- European Committee for Standardization. 2007. EN 13501-1 *Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using data from reaction to fire tests*. Brussel: European Committee for Standardization.
- European Committee for Standardization. 2012. EN 15804 *Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core for the product category of construction products*. Brussel: European Committee for Standardization.
- Exiba. 2010. *Environmental product declaration of Extruded Polystyrene (XPS) Foam Insulation*. Brussel: IBU.
- Flåte, P.O. 2013. *Klimatre – trebruk for bedre klima og økt verdiskapning*. FramTre [Lest 8. august 2014]. Tilgjengelig fra: <http://klimatre.no/index.php?page=framtre>.
- Folvik, K., K. Holthe og H. Einstabland. 2011. Life cycle assessment of energy efficient timber frame outer walls – does thicker insulation pay off? *2011 Helsinki World Sustainable Building Conference Proceedings*, s. 236–237. Helsinki: Finnish Association of Civil Engineers RIL; VTT Technical Research Centre of Finland.
- Ghose, A. 2011. *Comparative life-cycle assessment of conventional versus high technology insulation*. Trondheim: NTNU.
- Glava. 2013. *Environmental product declaration of Glava glasswool*. u.s.: EPD-Norge.
- Grynning, S., mfl. 2009. *Vakuumisolasjonspaneler for bruk i bygninger – Egenskaper, krav og muligheter*. Prosjektrapport 31. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Haavi, T. 2010. *Zero Emission Building Envelopes*. Trondheim: NTNU.
- International Organization for Standardization. 2006a. ISO 14040 *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. Geneve: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. 2006b. ISO 14044 *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines*. Geneve: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. 2007. ISO 21930 *Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products*. Geneve: International organization for Standardization.
- ISOVER. 2014. *Environmental product declaration of USOVER UNI-Skiva glasswool*. u.s.: EPD-Norge.
- Jelle, B.P. 2011. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities. *Energy and Buildings*, 43(10), s. 2549–2563.
- TEK10, *Forskrift om tekniske krav til byggverk*. 2010, Kommunal- og moderniseringsdepartementet.

- Korjenic, A., mfl. 2011. Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. *Energy and Buildings*, 43(9), s. 2518–2523.
- Kronotherm. 2013. *Environmental product declaration of Kronotherm wood fibre insulation material*. IBU.
- Lassen, C., mfl. 2008. *Alternatives to the use of flame retarded EPS in buildings*. Oslo: Cowi. [Lest 9. desember 2013]. Tilgjengelig fra: <http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2827/ta2827.pdf>.
- Microtherm. 2009. *Microtherm SlimVac (Vacuum Insulation Panels)*. Material Safety Data Sheet. [Lest 11. august 2014]. Tilgjengelig fra: <http://www.microthermgroup.com/low/EXEN/site/downloads-overview.aspx?k=57&l=8>.
- Microtherm. 2013. *Environmental product declaration of Microtherm Vacuum Insulation Panel*. Sint Niklaas: Micotherm.
- Miljøverndepartementet, *Norsk klimapolitikk, i Stortingmelding 21 (2011-2012)*: [www.regjeringen.no](http://www.regjeringen.no).
- Münzenberg, U. og J. Thumulla. 2003. Raumlufthqualität in Passivhäusern. *Auszug aus dem Tagungsband zur 7. Internationalen Passivhaustagung 2003 in Hamburg*. Tilgjengelig fra: [http://www.baubiologie.net/uploads/media/VDB\\_Raumlufthqualitaet\\_im\\_Passivhaus.pdf](http://www.baubiologie.net/uploads/media/VDB_Raumlufthqualitaet_im_Passivhaus.pdf).
- Pachauri, R.K. og A. Reisinger. 2008. *Climate change 2007. Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report*. Geneve: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Rockwool. 2013. *Environmental product declaration of Rockwool*. u.s.: EPD-Norge.
- Schmidt, A., mfl. 2004. A comparative life cycle assessment of building insulation products made of stone wool, paper wool and flax. Part 2: Comparative assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9(2), s. 122–129.
- Shrestha, S.S., K. Biswas og A.O. Desjarlais. 2014. A protocol for lifetime energy and environmental impact assessment of building insulation materials. *Environmental Impact Assessment Review*, 46, s. 25–31.
- SINTEF Byggforsk. 2013. Byggforskserien 473.015 *Dokumentasjon av passivhus og lavenergibygninger i henhold til NS 3700 og NS 3701*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- SINTEF Byggforsk. 2009. Byggforskserien 520.339 *Bruk av brennbar isolasjon i bygninger*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- SINTEF Byggforsk. 2007. Byggforskserien 520.320 *Brannteknisk klassifisering og dokumentasjon av materialer og bygningsdeler*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- SINTEF Byggforsk. 2004. Byggforskserien 573.344 *Varmeisolasjonsmaterialer. Typer og egenskaper*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- SINTEF Byggforsk. 2003. Byggforskserien 573.430 *Materialdata for vanndamptransport*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- SINTEF Byggforsk. 1998. Byggforskserien 471.008 *Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946*. Oslo: SINTEF Byggforsk.

Spielmann M., Dones R. og Bauer C. 2007. *Life Cycle Inventories of Transport Services*. Report ecoinvent v2.0 No. 14. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Standard Norge. 2013. NS 3700 *Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – Boligbygninger*. Oslo: Standard Norge

Standard Norge. 2014. NS 16485 *Tømmer og skurlast - Miljødeklarasjoner - Produktkategoriregler for tre og trebaserte produkter til bruk i byggverk*. Oslo: Standard Norge

Sørnes, K. og T. Kristjansdottir. 2012. *Life Cycle Assessment on wood based outer walls*, in *Passive House Conference*. 2012: Frankfurt.

Zampori, L., G. Dotelli, og V. Vernelli. 2013. Life Cycle Assessment of hemp cultivation and use of hemp-based thermal insulator materials in buildings. *Environmental science & technology*, 47(13), s. 7413–7420.

## Tillegg A Teknisk datatabell

Tilleggstabell 1: Teknisk datatabell

Type	Produsent	Spesifikt produkt	Kortnavn	Tykkelse ved R=1 [mm]	Varmekonduktivitet $\lambda_D$ [W/mK]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Brannklasse
Mineralull	Glava	Glassull 16,5 kg/m <sup>3</sup> $\lambda_D = 0,035$ W/(m)K	Glava glassull	35	0,035	16,5	A1
	Saint-Gobain Isover	Glassull Isover UNI skiva 35	Isover glassull	35	0,035	17	A1
	Rockwool	Rockwool 29 kg/m <sup>3</sup> $\lambda_D = 0,037$ W/(m)K	Rockwool	37	0,037	29	A1
XPS	Exiba	Exiba XPS snitt	Exiba XPS	35,5	0,0355	34,5	E
	Dow Deutschland	Dow XENERGY XPS foam insulation snitt	Dow XPS	31	0,031	35	E
EPS	EUMEPS	EUMEPS EPS u/ flammehemmer snitt	EPS	34	0,034	25	F
Vakuumisolasjonspanel (VIP)	Microtherm	Microtherm SlimVac	Microtherm VIP	7	0,007	185	A1
	Dow Corning	Dow Corning VIP	Dow Corning VIP	4,6	0,0046	185	A1

I beregningene ble det gjort antakelser om termisk ledningsevne basert på informasjon i EPD-ene. Tykkelsen og de påfølgende miljøresultatene er derfor snittverdier for produkter som kan variere noe seg imellom.

EPD-en på Exiba XPS representerer et bransjesnitt fra fem forskjellige produsenter og representerer flere densiteter uttrykt ved en referansedensitet på 34,5 kg/m<sup>3</sup>.

## Tillegg B Region og transport

Tilleggstabell 2: Miljøbelastning per tonnkilometer<sup>2</sup> (tkm) for transportmidlene som er antatt brukt.

Transportmiddel	CO <sub>2</sub> /tkm	MJ/tkm	Kilde
Lastebil	0,165	2,76527	Ecoinvent v.2.216-32 tonn Euro 4
Fraktskip	0,0107	0,170	Ecoinvent v.2.2 Transoseanisk fraktskip

Tilleggstabell 1: Antatte transportavstander fra produksjonssted (fabrikk) til norsk sentrallager.

Type	Produkt	Produsent	Produksjonsland	Transportavstand
<b>EPD</b>				
Mineral-ull	Glava glassull	Glava	Norge	50 km
	Isover glassull	Saint-Gobain Isover	Sverige	530 km
	Rockwool	Rockwool	Danmark/Norge	Se EPD
XPS	Exiba XPS	Exiba	Europa snitt	1 970 km
	Dow XPS	Dow	Europa snitt	1 970 km
EPS	EPS	EUMEPS	Skandinavia snitt	600 km
VIP	Microtherm VIP	Microtherm	Belgia	1 500 km
	Dow Corning VIP	Dow	USA	1 870 km lastebil og 6 410 km skip

Produksjonsstedet er som regel oppgitt i EPD. For enkelhets skyld er det gjort meget forenklede antakelser om antall kilometer fra produksjonssted til norsk sentrallager. Det er antatt at norsk sentrallager befinner seg i Oslo. Avstandene er estimert med de nettbaserte verktøyene Google Maps og Michelin Driving Directions. I flere tilfeller representerer EPD-dataene et bransjesnitt og dermed også en rekke forskjellige produksjonssteder. Noen av enkeltprodusentene opererer også med et globalt nettverk av produksjonssteder. Der er det gjort forenklede antakelser for å regne ut gjennomsnittlig transportavstand.

Alle produsentene er europeiske og har fabrikker i Europa, med unntak av Dow Corning. Dow Corning har produksjonssteder over hele verden, men flest på USAs østkyst. Det er gjort en enkel antakelse om frakt i lastebil fra Midland, Michigan til New York havn, videre i skip fra New York havn til Hamburg havn, og frakt i lastebil fra Hamburg havn til sentrallager i Oslo. Dette er kun et eksempel basert på det nettbaserte verktøyet SeaRates.

Avslutningsvis er transport fra fabrikk til sentrallager basert på grove antakelser og generiske data. Generiske data for energibruk og klimagassutlipp for transport med lastebil og fraktskip er hentet fra Ecoinvent-rapporten Life Cycle Inventories of Transport Services (Spielmann, Dones og Bauer, 2007). Det foreligger ikke spesifikke transportdata eller informasjon om faktiske transportmidler, transportlengder og fyllingsgrader fra produsentene.

Resultater med og uten transporttillegget kan ses i tabell 4.3.1. Grafisk framstilling av resultatene med transporttillegg kan sees i figur 4.3.1 c, til sammenlikning med figur 4.3.1 a i rapporten.

<sup>2</sup> Vekt i tonn multiplisert med antall kilometer

# Energi- og klimagassanalyse av isolasjonsmaterialer

Rapporten *Energi- og klimagassanalyse av isolasjonsmaterialer* er nyttig for alle som er involvert i miljøvurdering av byggevarer – arkitekter, rådgivere, byggherrer og entreprenører, samt studenter og forskere.

I rapporten er åtte isolasjonsmaterialer sammenliknet med hensyn til energibruk og klimagassutslipp. Studien inkluderer utslipp fra råvarer, produksjon og transport til byggeplass. Innhold av helse- og miljøfarlige stoffer er også beskrevet.

Analysen er basert på miljødeklarasjoner for isolasjonsmaterialer. Å sammenlikne miljødeklarasjoner er sjeldent rett fram – det er mange hensyn å ta. Rapporten *Energi- og klimagassanalyse av isolasjonsmaterialer* imøtekommer behovet for en veiledning for denne typen sammenlikninger av isolasjonsmaterialer.