

Kristin Alm
Øyvind Carlsen
Dag Arne Høystad

Isolasjon; Trefiber vs mineralull

Sammenlikning og vurdering av måleresultater fra test-hus på Huntonstranda samt livsløpsvurderinger

Bacheloroppgave i ingeniørfag - bygg

Veileder: Eskild Narum Bakken

Mai 2021



Kristin Alm
Øyvind Carlsen
Dag Arne Høystad

Isolasjon; Trefiber vs mineralull

Sammenlikning og vurdering av måleresultater fra test-hus på Huntonstranda samt livsløpsvurderinger

Bacheloroppgave i ingeniørfag - bygg
Veileder: Eskild Narum Bakken
Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Oppgavens tittel: Isolasjon; Trefiber vs mineralull <i>Sammenlikning og vurdering av måleresultater fra test-hus på Huntonstranda samt livsløpsvurderinger</i>	Dato: 19.05.21	Antall sider: 87	
	Master-oppgave:	Bachelor-oppgave	X
Navn: Kristin Alm, Øyvind Carlsen, Dag Arne Høystad			
Veileder: Eskild Narum Bakken			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Ralf Paustian, Hunton Fiber AS			

Sammendrag:

Oppgaven undersøker om trefiberisolasjonens hygrotermiske egenskaper vil påvirke varmegjennomgangen og redusere energibehov i bygg. Dette er gjort gjennom litteraturstudie og analyse av måleresultater fra testhus etablert av Hunton Fiber AS. I tillegg sammenliknes potensial for global oppvarming (GWP) og bruk av ikke-biologiske resurser (ADP) for livsløpet til trefiberisolasjon og mineralull.

Litteraturgjennomgangen viser at hygrotermiske egenskaper med lagring av varme, -fukt og sorpsjonsvarme kan gi energibesparelser i bygg. Det er imidlertid manglende dokumentasjon fra praktisk bruk. Prosessene er komplekse, og mulighetene for energibesparelse i konvensjonelle bygg er marginale. Potensialet er større i semi-arid klima og i diffusjonsåpne konstruksjoner. Måleresultatene fra testhusene viser ingen signifikante forskjeller mellom isolasjon basert på trefiber og mineralull på årsbasis. Trefiber presterer bedre ved store temperaturforskjeller over døgnet, da endringene påvirker trefiberhuset langsommere. Her peker september seg spesielt ut med mindre oppvarmingsbehov på kalde netter.

Miljødeklarasjonene (EPD) som følger produktene er ikke standardisert nok for direkte sammenlikning. Produsentene bruker ikke de samme forutsetninger og avviker noe fra produktkategorireglene (PCR). Viktige forutsetninger og inngangsverdier er ikke offentlig tilgjengelig. Etter en justering av de mest opplaget forskjellene får innblåst trefiberisolasjon fra Hunton lavest GWP mens glassullplater fra Glava har lavest forbruk av ikke fornybare energiressurser (ADPE).

Stikkord:

Trefiberisolasjon
Hygrotermiske effekter
Livsløpsanalyse LCA

 (sign.)

Forord

Denne bachelor-oppgaven ser nærmere på egenskapene til trefiberisolasjon og sammenligner med mineralull.

Vi har fått tilgang til måledata fra tre testhus som Hunton Fiber AS har satt opp på Gjøvik. Husene har samme teoretiske u-verdi, men er isolert med henholdsvis trefiberisolasjon, mineralull (glassull) og massivtre supplert med et lag av trefiberisolasjon. Målinger av energibruk, fukt og temperatur har pågått fra 2017 frem til i dag, uten at måleresultatene har blitt systematisert og analysert.

Vi undersøker om Hunttons in-situ forsøk kan vise andre resultater enn hva som kan forventes ut fra energiberegninger basert på varmetapstall utledet i laboratorieforsøk.

Trefiberisolasjon har en liten men økende markedsandel. Naturfiber blir hjulpet frem av en positiv holdning til naturlige produkter. For å dokumentere miljøegenskaper må det gjøres livssyklusvurdering fra vugge til grav. Vi sammenlikner isolasjonsproduktene miljøprofil gjennom produsentenes egne miljødeklarasjoner (EPD) og beskriver svakheter ved en slik sammenlikning.

Bacheloroppgaven er skrevet av tre byggingeniør-studenter ved NTNU Gjøvik i tidsrommet januar til mai 2021. Vi vil takke Hunton Fiber AS ved Ralf Paustian for tilgang til måledata fra testhusene og inspirasjon i arbeidet med oppgaven. Videre vil vi takke Eskild Narum Bakken for veiledning og et kritisk blikk på oppbygging av oppgaven.

Asker, Bærum, Drammen 19.05.2021

Kristin Alm, Øyvind Carlsen, Dag Arne Høystad

Abstract (engelsk)

Introduction

The construction-/building- industry is taking measures to reduce its large environmental impact. External walls are constructed with higher grade insulation materials to reduce the heat exchange to the environment. The development of solutions that can reduce buildings energy needs in operation, at the same time as greenhouse gas emissions and energy use in production are reduced, has received increased attention.

Hunton Fiber AS has made three test houses at Gjøvik, which are insulated to the same theoretical U-value. Two of the houses are insulated with different insulation products; wood fiber insulation and mineral wool (glass wool). The third house is constructed using CLT (cross laminated timber) adding a layer of wood fiber insulation to match the other two houses U-value. We have had access to logged measurement data for energy consumption, humidity and temperature for the houses. These measurements have been ongoing since 2017 without being analyzed by a third party.

The purpose of this bachelor thesis is to compare the energy- and environmental -properties for wool fiber insulation and mineral wool. The study answers research questions:

1. Is there support in experiments and research work, that hygrothermal effects in wood fiber insulation will have significant effect on energy needs for a building?
2. Can measurement results from Hunton Fiber AS' test houses support the assumption that the hygrothermal properties of wood fiber insulation will affect the energy requirement for heating, compared to mineral wool?
3. How is the total environmental impact from wood fiber insulation compared to mineral wool in a life cycle perspective?

Method

The methods used for this thesis are literature search, analysis of measurement data from the test house setup and comparison of life cycle assessments (LCA) based on environmental product declarations (EPD).

Results

The literature search has documented possibilities for energy savings due to the hygrothermal effect of wood fiber insulation. These are processes that absorb and emit energy. The practical energy savings will depend on a design with exposure to hygrothermal materials, usage patterns, external heat sources as solar, ventilation and not the least, how the processes are regulated and interact. In the Norwegian climate, the potential seems to be negligible for conventional buildings given the complexity and interaction between different processes necessary to realize energy savings. In the Mediterranean climate and in constructions that allows moisture penetration, the potential may be greater.

The analysis of test data from the Hunton setup, showed that in periods with a stable heating demand, November to March for Gjøvik, the test houses had no significant difference in the insulation capacity between wood fiber and mineral wool. During milder periods, the wood fiber house had a marginally lower heating demand, with September as the month with significant difference. The indoor temperature was better kept during cold nights in the wood fiber house. The reverse effect reduced and delay heat-peaks during summer.

For energy consumption during production, the EPDs show lower GWP and fossil energy consumption (ADPE) for mineral wool from Glava. After correction of the most striking differences in input values, Hunttons blown wood fiber and Glavas mineral wool slabs produced in Norway, are almost identical in terms of global warming potential (GWP), with Hunton marginally better before and 13 % better after correction. Glava's slabs still have a better footprint in terms of fossil energy consumption (ADPE) after corrections.

Innholdsfortegnelse

Forord	iii
Abstract (engelsk)	iv
Innholdsfortegnelse	vi
Figurliste.....	ix
Tabelliste	x
Ordliste/begrepsforklaring	xi
Forkortelser:	xi
Begrepsforklaringer:.....	xii
1 Innledning.....	1
1.1. Bakgrunn	1
1.2. Problemstilling.....	4
2 Teori	5
2.1. Hygrotermiske effekter.....	5
2.1.1 Varmelagring.....	5
2.1.2 Fuktlagring	6
2.1.3 Sorpsjonsvarme	8
2.2. Beregning av U-verdi	8
2.3. Miljøberegning for produkter	10
2.3.1 Sirkulærøkonomi.....	10
2.3.2 Miljødeklarasjon (EPD)	10
2.3.3 Livssyklusanalyse - LCA	11
2.3.4 Biogent karbon	13
2.3.5 Energimiks	14
2.3.6 Allokering.....	14
2.3.7 Materialer, kort beskrivelse av tilvirkning	15
2.3.8 Funksjonell enhet	16
3 Metode.....	17
3.1. Litteraturstudie hygrotermiske effekter	17
3.2. Metode energibehov Hunton testhus	18
3.2.1 Beregning av relativ U-verdi.....	18

3.3.	Metode for å sammenlikne miljøpåvirkning av trefiber- og mineralullisolasjon.....	20
4	Resultater.....	22
4.1.	Resultat fra forskning og andre testhus	22
4.1.1	Varmelagring i materialet.....	22
4.1.2	Utnyttelse av sorpsjonsvarme ved fuktbufring.....	24
4.1.3	Sorpsjonsvarme ved diffusjonsåpen løsning	26
4.1.4	Dynamisk isolasjon	28
4.1.5	Erfaringer fra andre testhus	29
4.2.	Resultater energibehov Hunton testhus	32
4.2.1	Målt relativ U-verdi.....	32
4.2.2	Målt relativt fuktinnhold i isolasjon	33
4.2.3	Forskjeller i relativ U-verdi mellom trefiber og mineralull	35
4.2.4	Døgnvariasjoner i september.....	35
4.2.5	Døgnvariasjoner sommer	36
4.2.6	Valg av måleperiode Hunton testhus	37
4.3.	Miljøpåvirkning trefiber- og glassull-isolasjon	39
4.3.1	Input-verdier i produsentenes EPD	39
4.3.2	Resultat fra sammenligning av produktenes LCA	42
5	Diskusjon og analyse.....	47
5.1.	Forutsetninger for at hygrotermiske egenskaper skal påvirke energibehovet	47
5.1.1	Magasinering og døgnvariasjoner	47
5.1.2	Diffusjonsåpne løsninger.....	49
5.2.	Sammenlikning energibehov Hunton testhus	50
5.2.1	Signifikansnivå for relativ U-verdi	50
5.2.2	Forskjeller i relativ U-verdi mellom trefiber og mineralull	51
5.2.3	September med størst forskjell i relativ U-verdi	52
5.2.4	Fukt og relativ U-verdi	53
5.2.5	Huntons testhus-resultater opp mot annen forskning.....	56
5.3.	Sammenligning av miljøpåvirkning for trefiber- og mineralull-isolasjon.....	57
5.3.1	Gir EDP et godt sammenligningsresultat?	58
5.3.2	Sammenligning av GWP og ADPE i LCA	61
6	Konklusjoner og perspektiver for videre arbeid.....	62
6.1.	Funn mot innledende problemstilling.....	62

6.2. Forslag til videre arbeid	65
Litteraturliste	67
7 Vedlegg	70
7.1. Måledata testhus	70
7.2. Strømforbruk testhus, første sammenlikning.....	71
7.3. LCA	72
7.3.1 LCA verdier uten omregning	72
7.3.2 LCA verdier med omregning	72
7.3.3 Totalverdier for GWP og ADPE	73
7.3.4 Andel av miljøpåvirkningsfaktorer for de forskjellige produsentene	73

Figurliste

Figur 1 Varmekapasitet for døgnvariasjoner (DHC) ulike materialer og tykkelser (Høseggen, 2008).....	6
Figur 2 Kapasitet for lagring av fuktighet (MBV) (Rode, 2007)	7
Figur 3 Kapasitet for fuktopptak for ulike isolasjonsmaterialer av naturfiber. WW er treull og WF trefiber (Palumbo, 2016)	7
Figur 4 Temperaturfordeling i yttervegg (Byggforsk, 2020b)	9
Figur 5 Visning av de forskjellige modulene som inngår i LCA(EPD_Norge, 2017).....	12
Figur 6 Energikilder og GWP (Rønning).....	14
Figur 7 Test-hus. Foto: Hunton	19
Figur 8 Termisk kapasitet for isolasjonsmaterialer (Steico, 2020).	23
Figur 9 Temperatur og fukt på bad med overflate av henholdsvis tre og fliser (Nore, 2014). ..	24
Figur 10 Energisparing avhengig av overflatens materialer og areal i Paris klima (Zhang, 2017).....	25
Figur 11 Dynamisk U-verdi for isolasjonssjiktet som funksjon av tykkelse og lufthastighet (Byggforsk, 1986)	28
Figur 12 Målt trefiberisolasjon U	32
Figur 13 Målt mineralull U	33
Figur 14 Målt fuktinnhold trefiberisolasjon	34
Figur 15 Målt fuktinnhold mineralull.....	34
Figur 16 Differanse i relativ U-verdi.....	35
Figur 17 Utetemperatur og variasjon i innetemperatur 13 – 20 mai 2018.	37
Figur 18 Totalen for midtpunktverdiene i LCA	42
Figur 19 GWP i de forskjellige modulene for de ulike produsentene før korreksjon	43
Figur 20 ADPE i de forskjellige modulene for de ulike produsentene før korreksjon	44
Figur 21 GWP i de forskjellige modulene for de ulike produsentene etter korreksjon	45
Figur 22 ADPE i de forskjellige modulene for de ulike produsentene etter korreksjon	46
Figur 23 Trend for differansen i relativ U-verdi	51
Figur 24 Trender trefiberisolasjon.....	54
Figur 25 Trender mineralull	55

Tabelliste

Tabell 1 Isolasjonsmaterialenes tykkelse ved oppfylt funksjonell enhet (FE).....	16
Tabell 2 Oversikt over produkter som sammenlignes i denne oppgaven	20
Tabell 3 Utetemperatur og timesmålt energiforbruk 11-17 september 2018	36
Tabell 4 Sammenlikning input-verdier, energimiks og allokering	40
Tabell 5 Sammenligning av inputverdier i LCA	41
Tabell 6 Måledata trefiberisolasjon.....	70
Tabell 7 Måledata Mineralull.....	70

Ordliste/begrepsforklaring

Forkortelser:

ADP Abiotic Depletion Potential, Abiotisk uttømmingspotensial, ADP angir forbruk av ikke-biologiske ressurser og inkluderer ADPM og ADME (LCA.no, 2021)

ADPM Abiotic Depletion Potential Mineral, som er forbruk av mineraler og oppgis i antimonekvivalenter i forhold til hvor sjeldent mineralet er (LCA.no, 2021).

ADPE Abiotic Depletion Potential Energi, er forbruk av ikke fornybare energiresurser og males i MJ, mega joule. ADPE kvantifiserer det totale potensielle direkte og indirekte forbruket av energiresurser brukt både som energibærer og som råvare for produktsystemet (LCA.no, 2021).

DHC Diurnal Heat Capacity, Varmelagringsevne over døgnet

EPD European Product Declaration, Miljødeklarasjon

FU Funktional Unit

GWP Global Warming Potential, Globalt oppvarmings potensial GWP angir akkumulert oppvarmingseffekt i forhold til CO₂ over et valgt tidsrom (LCA.no, 2021).

KMD Kommunal- og Moderniseringsdepartementet

LCA Life-cycle assessment, Livssyklusanalyse

LCI Life-cycle inventory, Livsløpsinventar

PCR Product Category Rules. Produktkategoriregler

TEK Byggeteknisk forskrift

Begrepsforklaringer:

Allokering er fordelingen av inngangsfaktorer til eller utgangsfaktorer fra en enhetsprosess til produktsystemet som undersøkes. Allokering brukes i LCA når råmaterialene i et produkt deles med et annet produkt, eller det er det i en annen livsløp. Utslippene fordeles da mellom produktene (Østlandsforskning, 2021).

Dynamisk isolasjon / ventilasjon består av et permeabelt isolert bygningselement som er påtvunget en kontrollert luftstrøm (Byggforsk, 1995)

Fornybar ressurs ressurser som har utviklet seg ved naturlig fornying i løpet av menneskehetens tidsskala (Standard_Norge, 2011).

Energiforbruk brukes i betydningen **tilført energi** til oppvarming og kjøling. Dette er nødvendig tilført energi for å dekke byggets behov for oppvarming og nedkjøling av rom der man også tar hensyn til hygrottermiske effekter.

Energisparing referer i denne oppgaven til reduksjon i behovet for tilført energi som følge av hygrottermiske effekter.

Gjenvinning behandling av avfall som tjener formålet å erstatte andre ressurser, eller som tilbereder avfallet for slik bruk (Standard_Norge, 2011).

Hygroskopisk materiale utveksler fukt i takt med endringer i fuktinnholdet i omgivelsene/luft. Tre er et hygroskopisk materiale

Hygrottermiske effekter er effekt av bruk av hygroskopiske materialer med varmelagring, fuktlagring og sorpsjonsvarme (Nore, 2014).

Hygrottermiske materialer er materialer som kombinerer gode hygroskopiske egenskaper med relativt høy varmelagringsevne som gjør at det kan lagre varme. Materialer med en sammensatt virkning av disse to fenomenene kalles hygrottermiske materialer.

Klimavennlig er i denne oppgaven definert som materialer og løsninger som gir relativt lavt utslipp av klimagasser

Klimagasser er CO₂, metan, lystgass og f-gasser og andre som bidrar til global oppvarming og listet av FNs klimapanel med effekt på global oppvarming (UNFCCC, 2021).

Livsløp fortløpende og sammenkjedete faser i det aktuelle objektets levetid (Standard_Norge, 2011)

Masseallokering baseres på massestrømmen gjennom enhetsprosessen. Prosentandelen av en gitt masse som bidrar til et gitt produkt (Østlandsforskning, 2021).

Miljøaspekt aspekt, del av byggverk, prosesser eller tjenester knyttet til deres livsløp, som kan forårsake endring i miljøet (Standard_Norge, 2011).

Miljøpåvirkning endring i miljøet, uansett om den er ugunstig eller gunstig, som helt eller delvis er et resultat av miljøaspekter ved produktet eller løsningen (Standard_Norge, 2011).

Mineralull er fibermateriale dannet ved å spinne smeltede mineral- eller bergmaterialer. Vanligst er steinull og glassull.

Naturfiber er isolasjonsmaterialer laget av bio-baserte materialer. Dette omfatter trefiberisolasjon, isolasjon fra ulike landbruksprodukter som strå og lin, resirkulerte produkter som celluloseisolasjon laget av papir og animalske produkter som saueull.

Passiv energidesign søker å løse eller redusere energi- og ventilasjonsbehov ved hjelp av tiltak knyttet til materialvalg, disponering av funksjoner samt formgivning av rom og bygningskropp (passive grep).

Passivhusnivå er bygg med et energiforbruk som tilsvarer bygg som er utført etter passivhusstandarden (NS3700 og NS3701) uten at tiltakene nødvendigvis følger denne standarden.

Relativ U-verdi brukes her som en varmegjennomgangskoeffisient beregnet fra målt energiforbruk og temperaturdifferanse mellom varm og kald side av en bygningskonstruksjon.

Resirkulering enhver operasjon med gjenvinning der avfallsmaterialer produseres om til produkter, materialer eller stoffer, hva enten det er for det opprinnelige formålet eller for andre formål (Standard_Norge, 2011).

Sekundært materiale ethvert materiale gjenvunnet fra tidligere bruk eller avfall som erstatter primære materialer (Standard_Norge, 2011).

Systemgrense grensesnitt i vurderingen mellom en bygning og miljøet eller andre produktsystemer (Standard_Norge, 2011).

U-verdi (varmegjennomgangskoeffisient) er et mål på hvor lett en bygningskomponent slipper gjennom varme. U-verdien angir hvor mye varme per tidsenhet, målt i watt (W), som kan strømme gjennom et areal på 1 m^2 ved en konstant temperaturforskjell på 1 K ($1 \text{ Kelvin} = 1 \text{ }^\circ\text{C}$) mellom omgivelsene på varm og kald side av konstruksjonen (Byggforsk).

Økonomisk allokering baserer seg på utsalgsprisen til de respektive produktene (Østlandsforskning, 2021).

1 Innledning

1.1. Bakgrunn

Byggsektoren er ofte omtalt som 40 % sektoren, da den i mange land står for 40 % av ressursbruk, energibruk og avfall (Bjørndal, 2015). Utvikling av løsninger og materialer som kan redusere bygningers energiforbruk i drift, samtidig som klimagassutslipp og energiforbruk i produksjon reduseres, har fått stadig større oppmerksomhet. I skrivende stund forbereder Kommunal- og Moderniseringsdepartementet (KMD) neste generasjon teknisk forskrift (TEK). Klimaforliket på Stortinget ga KMD i oppdrag å legge til rette for «nesten 0-energi nivå» som standard for fremtidige bygninger. I tillegg til å se på energi til drift, må KLD vurdere om det for første gang skal tas med krav til energi og klimagassutslipp i anleggsperioden og byggematerialer i TEK. Store aktører i byggenæringen har tatt til orde for at det må stilles TEK-krav om å dokumentere bygningers totale klimagassutslipp gjennom hele deres livssyklus (Eiendom, 2016).

Etter hvert som bygningene nærmer seg 0-energi i drift, får energiforbruk og miljøpåvirkning i fremstillingen av materialer en relativt større betydning. På denne bakgrunn blir det viktig å finne frem til materialer og metoder som kan dokumentere lavt energiforbruk og klimagassutslipp knyttet til fremstilling av materialene. En rekke studier har vist at veggene og isolasjonsmaterialet står for en stor del av utslippet, og det er derfor viktig å velge isolasjon som gir mindre utslipp (Schlanbusch et al., 2014).

Bio-baserte naturlige materialer antas ofte, uten nærmere dokumentasjon, å ha liten miljøpåvirkning i et livsløpsperspektiv sammenliknet med andre materialer. Som et eksempel viser en gjennomgang av de åtte relevante fagartiklene om hygrotermiske egenskaper ved naturlige isolasjonsmaterialer i referanselisten for denne oppgaven. Fem av disse innleder med utsagn om liten miljø- og klima-påvirkning uten belegg eller referanser. To omhandler ikke saken og kun en belegger utsagnet med referanser.

I 2014 gjorde SINTEF en LCA sammenlikning av isolasjonsmaterialer for Husbanken. I denne undersøkelsen kom Glavas glassull best ut (Schlanbusch et al., 2014). En av forfatterne, Selamawit Mamo Fufa, sier i et intervju i Fremtidsbygg i august 2020, at nå som det har kommet til flere nye isolasjonsmaterialer med EPD, bør det gjøres nye sammenlikninger.

Cellulose- og trefiber -isolasjon har eksistert i mange tiår som små nisje-produkter fremstilt og markedsført av lokale produsenter. Produktene har kommersielt vært i skyggen av globale giganter som Saint-Gobian (glassull) og Rockwool (steinull). Tyskland er det markedet med størst andel for isolasjonsmaterialer av naturlig fiber. I 2019 var andelen 9 % av totalmarkedet, opp 2 % poeng fra 2011. Lenge var celluloseisolasjon størst blant de naturlige fibrene, men i Tyskland har veksten vært stor for trefiber som nå utgjør nå 58 % av markedet for naturlig fiber (Fachagentur, 2021, Bozsaky, 2019). I Norge har isolasjonsmarkedet en verdi på ca 2,5 milliarder kroner. Hunton Fiber har en liten, men økende markedsandel på 1-1,5 % (Paustian, 2021).

Markedsføringsloven og Forskrift om sammenliknende reklame setter klare begrensninger for hvordan en produsent kan omtale egne og konkurrenters produkter. En sammenlikning skal være objektiv, konkret og dokumenterbar, samtidig som det ikke skal sette konkurrentenes varemerke eller produkter i vanry (Familiedepartementet, 2001).

Påstander om isolasjon med naturfiber har ikke alltid vært like godt dokumentert og blir imøtegått av de store mineralull-produsentene. I USA har motsetningene vart i ti-år (Gobson, 2017). Noe av bakgrunnen for diskusjonen er at bruken av resultatene fra et forsøk gjort ved University of Colorado School of Architecture and Planning (Boonyartikarn S, 1990) der de fant ut at en bygning med celluloseisolasjon brukte 26 % mindre energi til oppvarming enn en bygning med mineralull, samt at isolasjonen hadde magasinerende egenskaper slik at det tok lenger tid før temperaturen sank når oppvarmingen var slått av. Dette forsøket er my bruk i markedsføringen og har blitt kjent som Colorado-studien.

Uenighet om hvordan isolasjonens egenskaper kan omtales er ikke begrenset til USA. I Sverige ble Hunton Fiber AS stevnet av mineralull-produsentenes forening Swedisol og en dom i "Patent- och marknadsdomstolen" i oktober 2020 forbyr bruk av utsagn som "Hunton Nativo Träfiberisolering är en miljövänlig isolering" og en rekke andre

beskrivelser knyttet til miljø, energi, fukt, helse og brannsikkerhet (marknadsdomstolen, 2020). Utsagnet om at det ikke kan hevdes at trefiberisolasjon er miljøvennlig, er påanket av Hunton.

Som premiss for dommen ligger tolkning av hvordan påstandene oppfattes av et publikum med begrenset kunnskap og mulighet til å vurdere påstandene;

Dessa påståenden kan enligt domstolen ge genomsnittskonsumenten intrycket att Hunttons träfiberisoleringsprodukter och framställningsprocess är bra för miljön, dvs. att den inte har någon (eller endast en positiv) miljöpåverkan (marknadsdomstolen, 2020) .

Sentralt i Hunttons bevisførsel var produktets EPD og at verdien av bundet karbon i produktets levetid ikke kan overses, selv om det på et tidspunkt i fremtiden kan frigis når isolasjonen energi-gjenvinnes eller råtner.

Med inspirasjon fra Colorado-studien har Hunton Fiber AS etablert sitt eget forsøk og utstyrt tre små testhus med ulike måleinstrumenter for å kunne sammenlikne trefiberisolasjon og mineralull. Det gjøres kontinuerlig måling av energibruk til oppvarming, temperatur og fuktighet både i husene og i vegger og tak i tillegg til uteklime. I arbeidet med denne oppgaven har vi fått tilgang til måledata og undersøker mulige forskjeller i energibehov som følge av endringer av miljøfaktorene som omgir isolasjonen.

1.2. Problemstilling

Formålet med bacheloroppgaven er å undersøke om valg av trefiberisolasjon eller mineralull kan påvirke energiforbruket i bygg samt sammenlikne miljøpåvirkningen fra de to materialvalgene. Spørsmålene som undersøkes er:

1) Finnes det støtte i forsøk og forskningsarbeider, for at den hygrotermiske effekten i tre/trefiber-isolasjon har signifikant betydning for energiforbruket i et bygg?

- I. Underbygger forskning på området at hygroskopiske isolasjonsmaterialer vil påvirke energiforbruket i et bygg?
- II. Er det gjennomført andre tilsvarende forsøk med testhus og hvilke funn er gjort?
- III. Under hvilke forhold og vilkår kan hygrotermiske egenskaper eventuelt ha betydning for energiforbruk i bygg?

2) Kan måleresultater fra Hunton Fiber's testhus underbygge antagelsen om at trefiberisolasjonens hygrotermiske egenskaper vil påvirke energiforbruket?

- I. Hva viser en sammenlikning av målt energiforbruk for trefiber- og mineralull-huset?
- II. Hvordan samsvarer måleresultatene fra Hunton med andre forsøk og forskning?
- III. Er test-oppsettet i Hunton-forsøket hensiktsmessig for å fange opp eventuell effekt av ulike hygrotermiske egenskaper?

3) Hvordan er den totale miljøpåvirkningen fra trefiberisolasjon i et livsløpsperspektiv sammenlignet med mineralull?

- I. I hvilken grad er produsentenes egne miljødeklarasjoner (EPD) egnet til sammenlikning av produkter?
 - a) Hvordan påvirker allokering og energimiks resultatet i LCA?
 - b) Hvordan påvirker og behandles biogent karbon i organiske materialer i LCA?
 - c) Er inputverdier i produktenes EPD i samsvar med produktkategorireglene (PCR) for isolasjonsprodukter?
- II. Hva viser en sammenlikning av produktenes Life-Cycle Assessment (LCA)?
 - a) Hvordan er påvirkningen på globalt oppvarmingspotensiale (GWP) og abiotisk uttømmings-potensiale for fossile ressurser (ADPE) for trefiberisolasjon og mineralull?

2 Teori

2.1. Hygrotermiske effekter

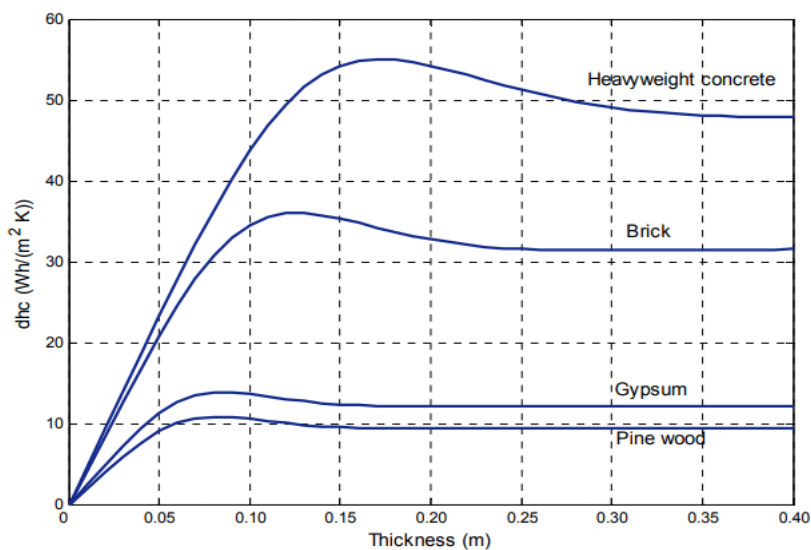
Bio-baserte materialer har noen viktige egenskaper når det kommer til varme og fukt. I det følgende tar vi for oss tre og trefiber brukt i klimaskall i bygninger.

2.1.1 Varmelagring

Tre (gran) har en spesifikk varmekapasitet på ca. 2800 J/(kg · K) og en volumetrisk varmekapasitet på ca. 1,4 MJ/(m³ · K). Til sammenligning har betong en spesifikk varmekapasitet på ca. 950 J/(kg · K) og en volumetrisk varmekapasitet på ca. 2,2 MJ/(m³ · K) (Thue, 2016).

For å utnytte varmekapasiteten har også materialets ledningsevne betydning. Tre har lav varmeledningsevne. Det vil si at det går langsomt å varme opp materialet og å kjøle det ned igjen.

Det er flere metoder for å beregne varmelagringsevnen for et rom eller en bygning. En er «Diurnal Heat Capacity» (DHC), utviklet spesielt for passivt soloppvarmede hus. DHC måler en bygnings kapasitet til å absorbere varme fra rommet på dagtid og frigi tilbake til rommet på nattetid. DHC for et materiale er en funksjon av tetthet, spesifikk varme kapasitet, varmeledningsevne og tykkelse (Balcomb, 1992). Den samlede DHC effekten er kalkulert for ulike materialer (Høseggen, 2008).



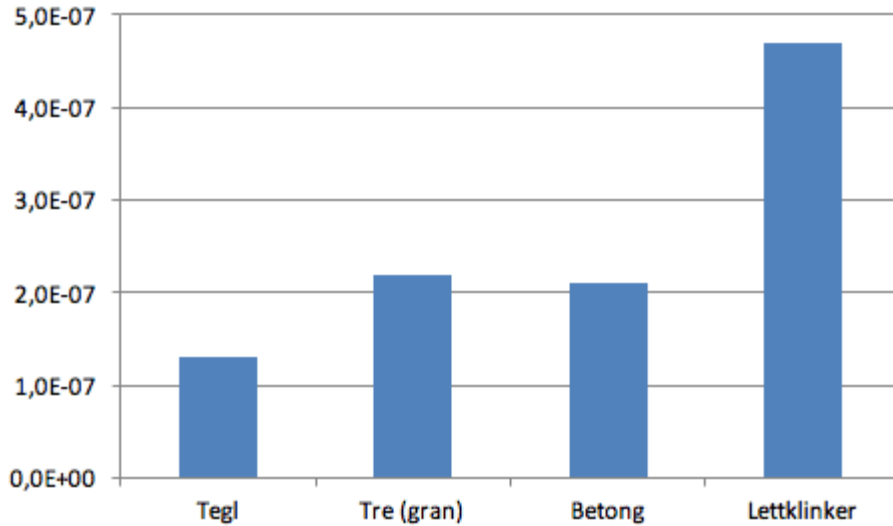
Figur 1 Varmekapasitet for døgnvariasjoner (DHC) ulike materialer og tykkelser (Høseggen, 2008)

Selv om tre har høy varmekapasitet per kg vil varmemotstanden bety at det tar lang tid før varmen trenger inn og at det dermed bare er det ytterste laget som kan utnyttes som varmelager i en situasjon med temperatursvingninger over døgnet.

2.1.2 Fuktlagring

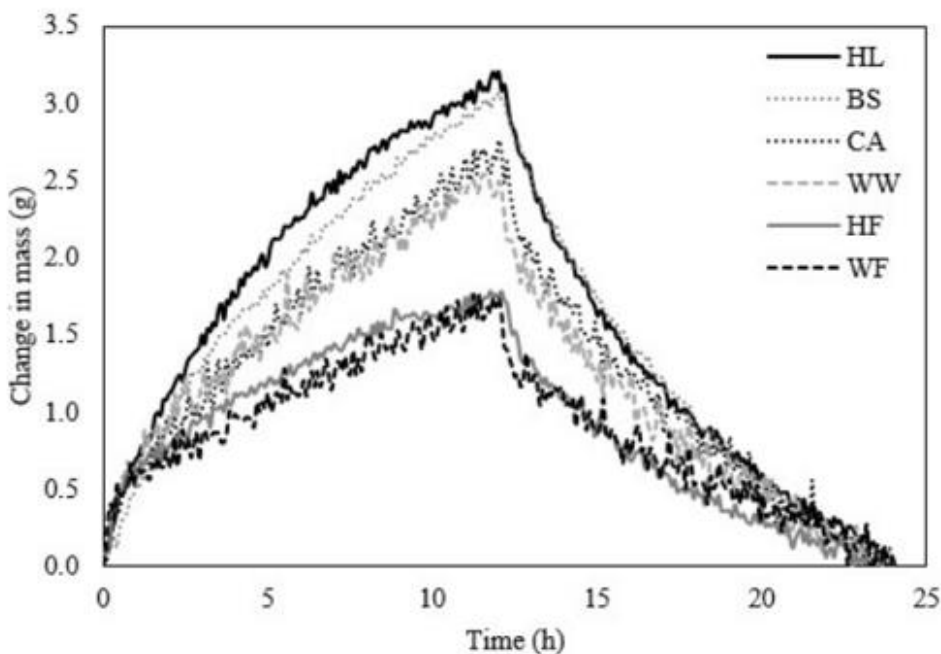
Med fuktlagring menes et hygroskopisk materiales evne til å ta opp og avgi fuktighet (vanndamp fra lufta) når luftas fuktinnhold varierer med tiden. Det er en velkjent og dokumentert effekt at fuktbufring i overflater, interiør, tekstiler og kledninger kan dempe/utjevne svingninger i inneluftas relative fuktighet. (Palumbo, 2016).

Når vanndamp absorberes i et materiale (for eksempel i en pore), oppstår en faseendring og energi frigis. Denne energien kalles sorpsjonsvarme. Tilsvarende vil samme mengde energi kreves ved tørking/desorpsjon.



Figur 2 Kapasitet for lagring av fuktighet (MBV) (Rode, 2007)

Rode beskriver et materiales vannbufningsverdi (Water Buffer Value) som den vannmengden som transporteres ut og inn av et material som utsettes for sykliske svingninger i relativ luftfuktighet. Dette er en verdi som påvirkes av miljøfaktorer som vindhastighet og overflatemotstand. Verdien viser endring for hver %-poeng endring i relativ luftfuktighet målt i $\text{kg}/(\text{m}^2 \Delta\%RH)$ (Rode, 2007). Tre og trefiberisolasjon (løs ull) har stor bufningskapasitet for fukt (Palumbo, 2016).



Figur 3 Kapasitet for fuktoptak for ulike isolasjonsmaterialer av naturfiber. WW er treull og WF trefiber (Palumbo, 2016)

2.1.3 Sorpsjonsvarme

Frigitt bundet energi som kan frigis ved faseovergang fra damp til vann utgjør 2450 J/kg ved romtemperatur. Vanninnholdet i trevirke påvirkes av fuktigheten i lufta. Trevirkes evne til å ta opp luftfuktighet beskrives som sorpsjon og den frigitte energien som sorpsjonsvarme. Gran har en fuktkapasitet på 400 kg/m³ ved kapillær metning (Thune, 2002).

Kraniotis og Nore har vist at i en massivtre-konstruksjon med trefiberisolasjon med U-verdi 0,17 (vegg) og 0,13 (tak) og innvendig luftfuktighet varierende fra 40 til 50 % RH vil sorpsjonsvarmen kunne kompensere for varmetapet i konstruksjonen fra 3,9% til 46%. Lavest verdi er for vegg på kalde dager, og høyest verdi for tak på mindre kalde dager (Kraniotis, 2017).

Når treverket senere tørker ut, vil sorpsjonsvarmen reverseres. For at effekten skal resultere i praktisk energisparing må den derfor kombineres med andre tiltak, som at ventilasjon reduseres eller at opptørking skjer på tider med overskuddsvarme. Om oppfukning skjer på kveld/morgen, kan opptørking skje på dagtid med tilskudd av solvarme gjennom vindu.

2.2. Beregning av U-verdi

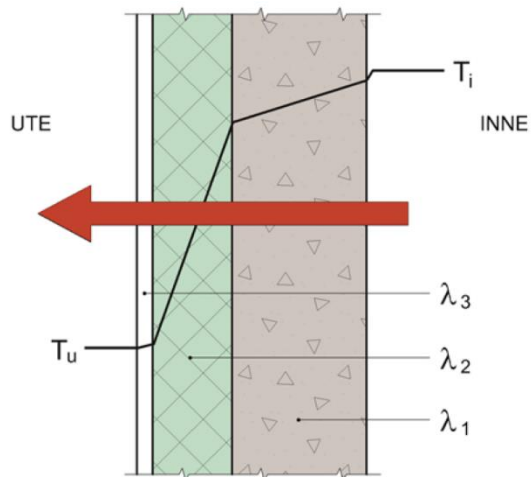
Sentrale termiske egenskaper for bygningsmaterialer er varmemotstand; R (m²K/W) og varmekonduktivitet; λ (W/(mK))

Varmemotstanden er et mål på den evne materialer har for å isolere mot varmegjennomgang, mens varmekonduktivitet er et mål på hvilken evne materialer har for å lede varme.

Varmemotstanden - R uttrykkes gjerne som:

$$R = d / \lambda$$

hvor d er tykkelsen (i meter) på materialet utsatt for varmegjennomgang.



Figur 4 Temperaturfordeling i yttervegg (Byggforsk, 2020b)

Et standardisert mål for termisk isolasjonsegenskap i bygninger er U-verdi.

U-verdien er et mål på hvor lett eller vanskelig en bygningskomponent slipper gjennom varme. Den angir hvor mye varme per tidsenhet, målt i Watt (W), som kan strømme gjennom et areal på 1 m^2 av konstruksjonen ved en konstant temperaturforskjell på 1 Kelvin ($1 \text{ K} = 1 \text{ }^\circ\text{Celsius}$) mellom omgivelsene på varm og kald side av konstruksjonen.

$$U = 1/R, (\text{W}/(\text{m}^2\text{K}))$$

Produsenter av bygningsmaterialer dokumenterer denne verdien basert blant annet på laboratorie-tester. Den dokumenterte U-verdien brukes så i prosjektering som underlag for å beregne en konstruksjons energibehov.

Samme betraktninger kan benyttes for å beskrive varmetapet gjennom en konstruksjon når R-faktoren i formelen over er kjent fra målte effektverdier til oppvarming, overflate på bygningen og målt temperaturforskjellen mellom ute og inne. Vi refererer til denne som "relativ U-verdi".

I denne oppgaven, brukes relativ U-verdi ved utregninger for sammenligning av isolasjonsmaterialene for de forskjellige test-husene i Hunton oppsettet.

2.3. Miljøberegning for produkter

2.3.1 Sirkulærøkonomi

Sirkulærøkonomi handler om å gjenbruke avfall til ny produksjon, slik at forbruket av nye råvarer går ned og avfallet blir mindre. Sirkulær økonomi er et system hvor ressurser i minst mulig grad skal gå til spille, og så mye som mulig skal gjenvinnes til nye varer, energi eller materialer.

Sirkulærøkonomiens tre prinsipper (MacArthur, 2013) (Howard et al., 2019)

1. Bevare og forsterke naturkapital ved å begrense bruken av ikke-fornybare ressurser som mineraler, metaller og fossilt brennstoff, og balansere ressursflyten av de fornybare ressursene.

2. Kvalitetsnivået på produktene skal holdes høyt slik at de kan gjenbrukes, repareres og oppusses. På denne måten vil produktets levetid forlenges.

3. Fjerne negative eksternaliteter, dvs. i mindre grad benytte seg av knappe ressurser, fjerne giftige substanser og designe for gjenbruk.

2.3.2 Miljødeklarasjon (EPD)

Environmental Product Declaration (EPD) er en kortfattet miljødeklarasjon som oppgir miljøbelastningene til de enkelte produktene. Det er produsentenes LCA beregninger som ligger til grunn for våre miljø-sammenlikninger.

The Norwegian EPD Foundation, er en programaktør for miljødeklarasjon, type 3 etter ISO 14025. Målet for det norske EDP-programmet er å veilede virksomheter i å kommunisere miljøprestasjoner for produkter slik at de blir sammenlignbare for kunder, spesielt business to business. De har utviklet et system for verifisering, registrering, publisering og vedlikehold av EPD'er som følger EN 15804 (EPD_Norge, 2021).

Før utvikling av EPD for et produkt, er utarbeidelse av Produktkategoriregler (PCR) obligatorisk. Kravet om PCR kommer fra Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner (Rønning, 2011). Produsenter av isolasjonsmaterialer har utarbeidet PCR sammen med The Norwegian EPD Foundation som har blitt godkjent av Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner (EPD_Norge, 2021). I PCR for isolasjonsprodukter, som både Hunton

Fiber AS, Glava As og Saint Gobain har vært med å utvikle, spesifiseres blant annet som et minimum at modulene A1-A4, C1-C4 og D må være med i LCA modellen som ligger til grunn for EPDen (Se figur nr. 5). Den funksjonelle enheten skal være $R=1m^2$ og transport fra fabrikk til byggeplass skal være 300km for innenlands transport og 300km + avstand fra fabrikk til lager i Norge for utenlandsk produksjon (Standard_Norge, 2011).

2.3.3 Livssyklusanalyse - LCA

Livssyklusanalyse er en standardisert metode for å estimere og vurdere miljøkonsekvenser og miljøpåvirkning etter ISO 14040. Metoden kartlegger all materialbruk, energi og miljøpåvirkning som kan knyttes til et produkt, en prosess eller en tjeneste. Formålet er å gi en helhetlig oversikt over total miljøpåvirkning og å hjelpe beslutningstakere til å ta bærekraftige og miljøvennlige valg, samt identifisere forbedringspotensialer (Klöpffer, 2014) Innenfor LCA-modellering gis det muligheter til store variasjoner i beregningsmetoder, og en vil kunne få ulike resultater med hensyn til miljøbelastninger (Østlandsforskning, 2021).

LCA-metoden består av fire hovedaktiviteter;

1. mål og omfang
2. livsløpsinventar
3. miljøpåvirkningsanalyse
4. diskusjon og tolkning

Mål og omfang tar for seg systemgrensene og definerer en funksjonell enhet slik at produktet/systemet blir sammenlignbart.

Livsløpsinventar (LCI) viser til hvilken input som blir brukt i analysen.

Miljøpåvirkningsanalysen kan ha miljøpåvirkningskategorier og miljøindikatorer på midtpunkt- og slutt punkt-nivå. Midtpunkt-nivået er mest brukt i Norge og kan måles med vitenskapelige tester. Dette nivået skal ifølge NS-EN 15804 være med i norske miljødeklarasjoner (Standard_Norge, 2012).

Miljøindikatorerne i midtpunktnivået er;

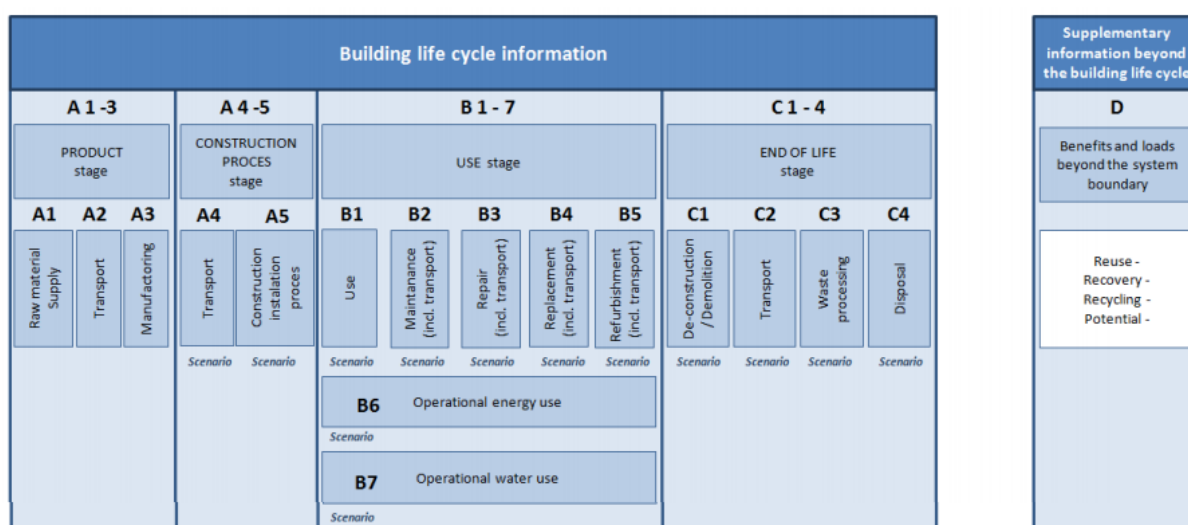
- Globalt oppvarmings-potensiale (GWP) som sier noe om hvordan produktet påvirker klimaendringer

- Potensial for nedbryting av stratosfærisk ozon (ODP)
- Potensial for fotokjemisk oksidantdannning (POCP)
- Forsurningspotensial for kilder på land og vann (AP)
- Overgjødslingspotensial (EP)
- Abiotisk uttømmingspotensial for ikke-fossile ressurser (ADPM)
- Abiotisk uttømmingspotensial for fossile ressurser (ADPE)

Vi ser i denne oppgaven på blant annet globalt oppvarmingspotensial (GWP) som er en referanseverdi for å måle forskjellige drivhusgassers effekt på den globale oppvarmingen og ADPE som viser energiforbruk av ikke fornybare kilder.

Systemgrenser

Systemgrensene bestemmer prosessene det skal tas hensyn til og som skal vurderes i analysen.



Figur 5 Visning av de forskjellige modulene som inngår i LCA(EPD_Norge, 2017)

Omfanget av vurderingen i denne oppgaven vil være en vugge til grav analyse, A-D. Modulene A1-A3 og A4, er en vugge til byggeplass-analyse. A1 råstoffutvikling og prosessering av råmaterialer, A2 transport av råmaterialer til fabrikk, A3 produksjon og produkt-emballasje, A4 transport fra fabrikk til byggeplass og A5 er montering og byggeprosess. Modul B, bruk, er regnet til null hos alle produsentene i sammenligningen. Modulene C1-C4, som gjelder demontering vil bli diskutert, samt modul D som gjelder

avfallshåndtering. C1 er rivning av bygningen og første sortering på byggeplassen. C2 er transport av avfall til avfallsanlegg. C3 er håndtering av avfall i materialstrømmer som er beregnet på gjenbruk, resirkulering eller energigjenvinning. Materialer som skal kunne gjenvinnes må ha en effekt på 60% eller mer. C4 er avhending av avfall som inkluderer håndtering på avfallsstedet og utslipp ved avhending av avfallet (Standard_Norge, 2011)

NS-EN 15804:2012+A2:2019 spesifiserer; «All construction products and materials shall declare modules A1-A3, modules C1-C4 and module D» Det er dog mulig med unntak dersom følgende punkter er innfridd;

- produktet er fysisk integrert i andre produkt gjennom montering og ikke mulig å separere ved livstidsslutt (modul C)
- en kan ikke lenger identifisere produktet ved livstidsslutt og produktet inneholder ikke biogent karbon.

Standarden sier videre at sammenligning mellom forskjellige produkter er mulig dersom de har samme funksjon, ekskluderer de samme materialene og prosessene, og en tar hensyn til biogent karbon.

2.3.4 Biogent karbon

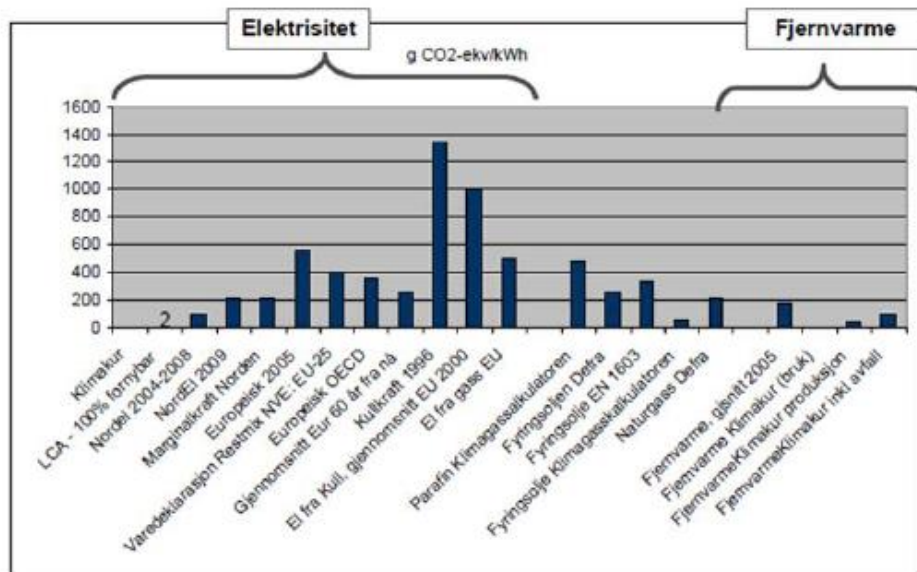
EPD'er for tre og tre-baserte materialer til bruk i bygninger skal ta med biogent karbon, dvs CO₂ som tas opp i treets vekstfase og CO₂ som avgis i avfallsfasen. Tre er klimanøytralt sett over hele livsløpet, dersom det kommer fra en bærekraftig skog (Standard_Norge, 2014). Klimagassutslippet fra vugge til port kan bli negativt i en slik beregningsmodell, og tre-produkter vil fremstå som meget klimavennlige. Sammenligning med ikke-trebaserte produkter vil dermed bli skjev, og dersom biogent karbon skal regnes inn i analysen må en se på hele livsløpet.

Klimapåvirkningen av lagret biogent karbon er avhengig av to faktorer; netto gjenvekst av planter og tidsperioden før plantene kommer inn i atmosfæren igjen (Magwood, 2019).

Det vil si at lagret biogent karbon i tre er mindre miljøvennlig enn i strå for eksempel pga. gjenvekstperioden. Det kan hevdes at norsk gran ikke har meningsfull totallagring av karbon på flere årtier, ca. 25 år. Levetiden for vår vugge til grav studie antar levetid på 60 år, og vil derfor ha betydning for lagringen av biogent karbon.

2.3.5 Energimiks

Ifølge Østlandsforskning kan valg av energimiks ha stor innvirkning på resultatet av klimagasser i LCA. Figuren under viser variasjon for noen av elektrisitetmikser og klimagassutslippene til de enkelte (Rønning, 2011).



Figur 6 Energikilder og GWP (Rønning).

2.3.6 Allokering

Allokering refererer til tildelingen av inputverdier og outputverdier til et produkt, prosess eller system mellom produktet som studeres og andre produksystemer ifølge NS-EN 14044:2006 (ISO, 2006). En svakhet med allokering er at det er lite gjennomsiktig, og kan være meget komplekst, og utfall ved forskjellige valg kan gi store variasjoner og forskjellige resultater (ISO, 2006)

Både Hunton og Glava benytter seg av allokering i LCA. De allokerer energibruk, vann og avfall ved produksjon til de forskjellige produktene. Hos Glava er det resirkulerte glassets utslipp tildelt opprinnelsesproduktet, og ikke i Glavas glassull (EPD_Norge, 2019a) Hos Hunton er det i verdikjeden til trevirke benyttet økonomisk allokering (EPD_Norge, 2020). I henhold til standard NS-EN 15804 skal miljøpåvirkning fra prosesser ved samproduksjon av

flere produkter allokeres etter økonomiske verdier ved en stor verdiforskjell, som blir definert som høyere enn 25%.

Økonomisk allokering=Salgsinntekter sortimentet/salgsinntekter på alle sortimentgrupper for materialet

Ifølge Lars Tellnes fra Norsk treteknisk institutt er økonomisk allokering ugunstig for trelast, men er standardisert for EPD, så endring av dette er vanskelig og diskusjonen er ansett som ferdig internasjonalt (Tellnes, 2015).

2.3.7 Materialer, kort beskrivelse av tilvirkning

Mineralull

Mineralull er den mest brukte typen isolasjonsmateriale på det norske markedet, og er en fellesbetegnelse for glassull og steinull. Glassull blir fremstilt av glass, som varmes opp til 1400 grader celsius, og massen dras ut til fibre i en spinner. Det blir tilsatt bindemiddel og andre tilsetningsstoffer for å forbedre produkttegenskapene (Byggforsk, 2020a). Glassull fra Glava har deklarerert varmeledningsevne, $\lambda = 0,035$ W/mK og densitet, $\rho = 29$ kg/m³ (EPD_Norge, 2019). Steinull produseres av stein (diabas) som smeltes ved 1500 grader celsius og slynges ut fra et hjul eller en skive og omdannes til fibre. Bindemiddel og andre tilsetningsstoffer blir tilsatt. Steinull kan materialgjenvinnes til ny steinullisolasjon (Byggforsk, 2020a). Steinull fra Rockwool har varmeledningsevne, $\lambda = 0,032-0,047$ W/mK og densitet, $\rho = 25$ kg/m³ (EPD_Norge, EPD_Norge, 2019b).

Trefiber

Trefiber produseres ved å vaske/rene sponflis og så utsette flisen for vanndamp slik at den mykner. Flisen males deretter til fibermasse. For å lage plater, blir fibermassen blandet med vann og fylt i former og deretter tørket. Tilsetningsstoffer som ammoniumfosfat og polyolefin blir tilsatt for å bedre produkttegenskapene (Byggforsk, 2020a) Trefiber fra Hunton har deklarerert varmeledningsevne, $\lambda = 0,038$ W/mK og densitet, $\rho = 50$ kg/m³ (EPD_Norge).

2.3.8 Funksjonell enhet

Den funksjonelle enheten definerer hva som skal studeres, og er en referanseenheter som inn- og utgangs-faktorer relateres til. Den funksjonelle enheten kvantifiserer funksjonen som utføres av materialet som vurderes.

Den funksjonelle enheten = 1m² isolasjon med en tykkelse som gir termisk motstand, R=1 Km²/W og referanselevetid 60 år.

Dvs. 38 mm trefiberisolasjon og 34 mm glassullisolasjon. Det er ikke tatt hensyn til bjelkelag, evn. festemidler eller vind/fuktreducerende lag.

$$FE = R * \lambda * \rho * A$$

FE er funksjonell enhet, R er termisk resistans (m²K/W), λ er termisk konduktivitet (W/mK), ρ er tettheten (kg/m³) og A er arealet (m²)

EPD-ene benytter seg av denne funksjonelle enheten og sammenligningsgrunnlaget er derfor likt. Dette samsvarer med det de har blitt enige om i produktkategorireglene (PCR) for isolasjonsmaterialer (EPD_Norge, 2012).

Tabell 1 Isolasjonsmaterialenes tykkelse ved oppfylt funksjonell enhet (FE)

Materiale	Tykkelse ved R=1 m ² K/W
Hunton trefiberisolasjon	38 mm
Glava glassull	34 mm
Saint Gobain glassull (Glava)	34 mm
Rockwool steinull	40 mm

3 Metode

3.1. Litteraturstudie hygrotermiske effekter

Det er gjort en litteraturstudie for å finne frem til teori og forsøk som belyser hvordan de hygrotermiske egenskapene i tre og andre naturfiber kan påvirke energiforbruket i bygninger.

Det er foretatt omfattende søk i aktuelle og tilgjengelige søkemotorer og databaser som kan lokalisere eller inneholde vitenskapelig litteratur om temaet, f.eks. Google Scholar, ScienceDirect, Semantic Scholar og Researchgate. Søkene har vært basert på et bredt spekter av saksrelevant terminologi på norsk og engelsk. Noen eksempler på brukte søkeord er (på engelsk) «wood fiber insulation», «natural fiber insulation», «bio-based insulation», «hydrothermal», «hygroskopisk bygning materiale», «dynamic insulation», «dynamic ventilation» og kombinasjoner av slike søkeord. For å finne mer informasjon på spesielle områder som forsinket varmegjennomgang ved bruk av trefiberisolasjon og dynamisk ventilasjon er det også søkt på svensk og tysk, ut fra forhåndskunnskap om fagrelevant aktivitet og publisering i disse landene. I tillegg er det gjort gjennomgang av informasjon som er publisert på nettsider hos produsenter og deres bransjeforeninger.

I tillegg har Referanselister i artikler og rapporter tilført nye kilder som ikke kom frem i søkene beskrevet over.

Det er lagt særlig vekt på få finne frem til fagfelleverderte artikler publisert i anerkjente tidsskrifter.

En ikke-fagfelleverdert, men saksrelevant artikkel, om et forsøk i Colorado (omtalt i innledningen) ble sammen med rapporten «Absolutt passiv energidesign» (helTreEnkelt, 2014) innledningsvis delt av Hunton Fiber AS. Problemstillinger i disse dokumentene dannet utgangspunkt for utforming av litteraturstudien.

Enkelte rapporter fra Treteknisk Institutt er kjent gjennom nyhetsartikler, men originaltekst har ikke vært tilgjengelig da oppdragsgiver ikke har tillatt offentliggjøring.

3.2. Metode energibehov Hunton testhus

Det beregnes en U-verdi for sammenligning av isolasjonsmaterialene for de forskjellige testhusene.

Denne betegnes her som "relativ U-verdi" og kalkuleres fra målte effektverdier, beregning av overflate på bygningene og den målte temperaturforskjellen mellom ute og inne.

3.2.1 Beregning av relativ U-verdi

Siden husene er bygget opp med formål å ha samme U-verdi, skulle i teorien innetemperaturen holde seg lik, gitt at regulatorene som kontrollerer varme-elementene styrer / styres likt.

Det kan imidlertid oppstå ulik innetemperatur som resultat av flere forhold;

- Produksjonsavvik i temperatur regulatorene
- Feil / ulik innstilling av regulatorene
- Feil ved regulatorene
- Toleranser generelt

For å korrigere for faktorene nevnt over, kan ikke totalt strømforbruk i de enkelte husene brukes som sammenligningsgrunnlag direkte.

Vi sammenlikner prestasjonen til isolasjonen ved å kalkulere en relativ U-verdi for husene basert på måldata. Denne U-verdien vil ta utgangspunkt i den elektriske energien brukt til oppvarming. I tillegg til denne energien, vil husene varmes opp grunnet utvendig påvirkning, typisk – sol, og denne vil påvirke den relative U-verdien. Den eksterne energitilførselen antas imidlertid være relativt lik for de tre test-husene, siden;

- De står forholdsvis fritt plassert i forhold til hverandre
- De er plassert geografisk "på samme sted" som gjør at de utsettes for sammenliknbar mengde sollys, vind og andre miljøfaktorer.

Den målte relative U-verdien vil i større deler av året, ikke være lik, eller i nærheten av, den teoretiske U-verdien husene er prosjektert for. På solfattige dager på vinteren

uten ekstra tilført (sol-)energi, kan vi derimot forvente at forskjellen er liten, spesielt siden husene ikke har vinduer som tillater solinnstråling inn i konstruksjonen.



Figur 7 Test-hus. Foto: Hunton

Konstruksjonen av test-husene er enkel, ved at det kun er en dør i tillegg til vegger, gulv samt pulttak.

Grunnflaten er på 2x3 meter og vegg-høyder er på 2 og 3,15 meter. Alle flater har 20cm isolasjonstykkelse og oppbygging er i henhold til dagens bygge-mønster med innvendig dampsperre og luftet kledning og tak over asfalt-plater brukt som vindsperre og avstivning. Vi regner dermed totalt 40m² ytterareal for et hus.

Kalkulasjon relativ U-verdi:

$$U = K / \text{areal}$$

hvor koeffisienten K (Watt/Kelvin) er effekt/temperatur = Tilført effekt / Δt

Delta t, er temperaturforskjellen i Kelvin / Celsius mellom ute og inne.

Grunnlagsdata er relativt hyppige målinger (logget flere ganger per time) av temperaturen ute og inne. Denne midles og brukes sammen med gjennomsnittlig effekt (kalkulert fra målt effekt) for å kalkulere relativ U-verdi.

Vi har brukt følgende metode for analyse av testoppsett og måleresultater:

- Dokumentere toleranser for sensorer og målere basert på data-blad fra leverandører av utstyret
- Sjekke kvalitet på måleserier
- Bestemme sammenlikningsmåter for energiforbruk
- Beregne et "toleranse-vindu" for måleresultater for å kunne konkludere om forskjeller er signifikante

Følgende kalkulasjoner og undersøkelser er utført fra måledata:

- Beregnet relativ U-verdi per beregningsperiode per hus
- Søkt eventuell sammenheng mellom isolasjonsevne og fuktighet i isolasjonen
- Sammenliknet nedkjøling (kalde netter) og oppvarming (varme dager) utenom “fyrings-sesongen”

3.3. Metode for å sammenlikne miljøpåvirkning av trefiber- og mineralullisolasjon

Målet med problemstillings spørsmål nummer tre, er å sammenligne miljøpåvirkning fra isolasjonsmaterialene trefiber fra Hunton og glassull fra Glava. Metoden vi bruker er litteratursøk og sammenligning av EPD'er. Litteratursøk er gjennomført som beskrevet over med en større klasse søkeord relatert til saksområdet og problemstillingen, eksempelvis søkeord som «LCA», «Livssyklusvurderinger», «Life Cycle assessment», «allokering», «biogent karbon», «EPD» og «produktkategori regler»

I den sammenliknende studien er EPD'er fra tabellen under studert.

Tabell 2 Oversikt over produkter som sammenlignes i denne oppgaven

Type	Produsent	Produkt	EPD-organ	Deklarasjonsnummer	Referanse
Trefiber	Hunton Fiber AS	Trefiber-plate	EPD-Norge	NEPD-2287-1041-NO	Hunton Fiber, 2020
Trefiber	Hunton Fiber AS	Trefiber innblåst	EPD-Norge	NEPD-2286-1401-NO	Hunton Fiber, 2020
Glassull	Glava AS	Glassull	EPD-Norge	NEPD-1696-683	Glava Isolasjon, 2019
Glassull	Saint-Gobain Sweden AB	Glassull	EPD-Norge	NEPD-2075-936-EN	Glava isolasjon, 2020
Rockwool	Rockwool Nordics	Steinull (B-plate)	EPD	NEPD-1762-738-EN	Rockwool stone wool thermal insulation

Det er vurdert flere EPD'er enn bare Hunton og Glava, for å få et videre sammenligningsgrunnlag. Det er interessant å se om det var forskjeller på glassull produkter

produsert i Sverige og Norge, da begge selges på det norske markedet. En annen stor produsent av mineralull er Rockwool, derfor er denne også tatt med. I tillegg er produktkategorireglene (PCR) for isolasjonsmaterialer og en rekke standarder om LCA som NS-EN 14044:2006, NS-EN 15804:2012, NS-EN 15978:2011 og EN 16485:2014 vurdert.

De relevante resultatene foreligger i produktenes EPD, og det er derfor ikke påkrevet å sette resultatene inn i f.eks. SimaPro eller tilsvarende software for kalkulasjon av vugge-til-grav miljøpåvirkning (LCA). EPD'ene er fra EPD-Norge og skal være sammenlignbare.

EPD- sammenligningen er basert på metoden LCA og sammenligner resultater fra tidligere utførte LCA'er gjennom bruk av EPD'er. Den funksjonelle enheten, 1 m² isolasjon med en tykkelse som gir termisk motstand, $R=1 \text{ Km}^2/\text{W}$, angir hva som skal studeres, og alle påfølgende resultater relateres til denne.

En LCA kan gi resultater innenfor mange miljøindikatorer. I analysen settes det søkelys på midtpunktverdier, og spesielt på klimagassutslipp (CO₂-ekvivalenter) og energiforbruk, uttrykt i MJ. En LCA forutsier ikke absolutte eller nøyaktige miljøpåvirkninger, men mulige miljøpåvirkninger, da det er usikkerhet av integrering av miljøpåvirkning over tid og rom og i modelleringen (ISO, 2006).

Det brukes EPD'er fra EPD Norge for å minimere forskjellene i sammenligningsgrunnlaget. Det ligger ulike forutsetninger og systemgrenser til grunn for LCA'ene, og det kan derfor være problematisk å sammenligne resultatene. Målsettingen til EPD Norge er at produktene skal kunne sammenlignes da de bruker standardiserte metoder for miljødeklarasjonene, NS-EN 15804 og PCR for produktgruppen. Et par EPD'er ikke fra Norge, men de skal følge de samme standardene som EPD Norge.

NS-EN 15804 påpeker at byggevarer ikke nødvendigvis er sammenliknbare dersom de ikke samsvarer med NS-EN og ses i en bygningskontekst. Det er tatt hensyn til at materialene har samme bruksområde, men det er ikke tatt hensyn til at de forskjellige materialene har forskjellig tykkelse og trenger reisverk med forskjellig tykkelse, og andre beskyttende sjikt rundt. De har videre forskjellige brannegenskaper og lydisoleringsegenskaper. Disse er sett bort fra i studien.

4 Resultater

4.1. Resultat fra forskning og andre testhus

Dette kapittelet oppsummerer funn fra litteratur som beskriver hvordan **hygrotermiske effekter** (varmelagring og sorpsjonsvarme) påvirker energiforbruket i bygg.

Som nevnt i innledningen er Hunttons etablering av testhus blant annet inspirert av et liknede forsøk beskrevet i Colorado-studien (Boonyartikarn S, 1990). I det følgende går vi gjennom dette og andre liknende forsøk.

4.1.1 Varmelagring i materialet

Trefiberisolasjon har sammenliknet med mineralull høyere tetthet og dermed større termisk masse. Langsommere temperaturendringer i trefiber kan også påvirkes av endring i fuktinnhold (Palumbo. M, 2018).

Det er generelt antatt at stor termal masse i en bygning er en ulempe i oppvarmingssesongen i kaldt klima om man ikke samtidig har store svingninger i energitilførsel. Mitchell hevder at energilagring i konstruksjonen (termisk masse) bare har en signifikant effekt om temperaturforsjekkningen inne/ute er mindre enn 9 grader C. (Mitchel, 1989)

Stor termisk masse gjør det vanskeligere å raskt tilpasse temperatur og utnytte muligheten til å senke temperatur i kortere perioder uten tilstedeværelse, slik som nattsinking.

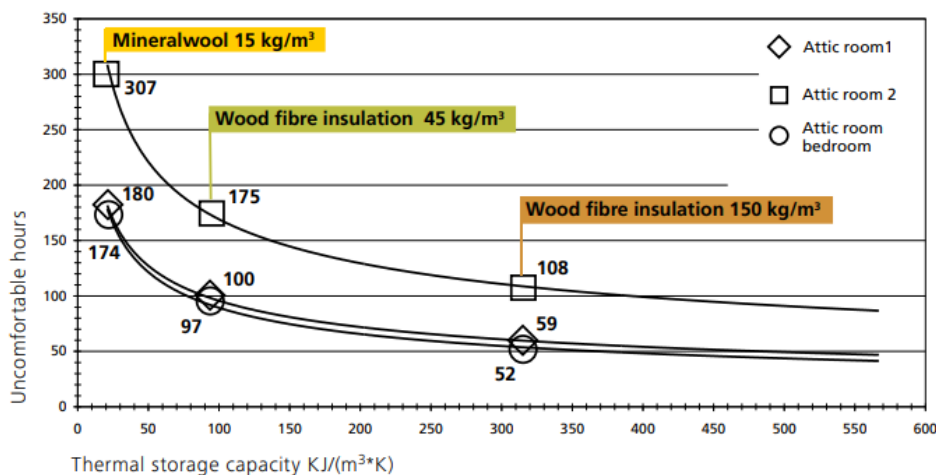
Fordeler kan være muligheten til å utjevne temperaturtopper fra for eksempel vedfyring og solinnstråling. Samtidig kan det gi mulighet til å slå av varmen i periode uten at temperaturen synker raskt. Dette kan vise seg å være en fordel med økende døgnvariasjoner på strøm og nettleie.

Det vil ta tid å varme opp en bygning og ideelt sett vil romtemperaturen ikke overstige komfortnivået før temperaturen synker på kvelden og bygget igjen kan nedkjøles uten bruk av kjøleanlegg. Økt termisk masse kan gi et bidrag til å unngå overoppheting i godt isolerte bygninger i sommersesongen.

I et praktisk forsøk i Italia ved rehabilitering av to hus i Turin, ble ett tak isolert med trefiberisolasjon og ett med XPS. Målinger og simuleringer viste liten forskjell i vintersesongen, men det var målbare forskjell på sommeren med nesten en grad lavere toppetemperatur og nesten to timer forsinkelse av temperatur-toppen (Biancoa, 2016). Det er her verdt å merke seg at husene ellers hadde en betydelig termisk masse i vegg og gulv.

Den tyske produsenten av trefiber Steico refererer undersøkelser av en loftsleilighet gjort av professor Gerd Hauser om varmegjennomgang i tak og antall dager med overoppheting. I et gitt tilfelle ville et tak isolert med mineralull medføre en reduksjon av temperaturtoppen innendørs på 6 C og en forskyving av varme-toppen med 6,8 timer. Tilsvarende ville isolering med trefiber redusere toppen med 12 grader C og forskyve varme-toppen 11 timer (Steico, 2020). Større termisk masse og varmeabsorpsjon i trefiber er spesielt nyttig i klima med varme dager og kjølige kvelder, der varme i akkumulert på dagtid kan fjernes naturlig med lufting på kveld og natt.

Figuren nr. 8 viser simulering av antall dager med overoppheting i loftsleilighet gitt isolering med samme U-verdi (0,18), men ulike isolasjonsmaterialer (Steico, 2020).

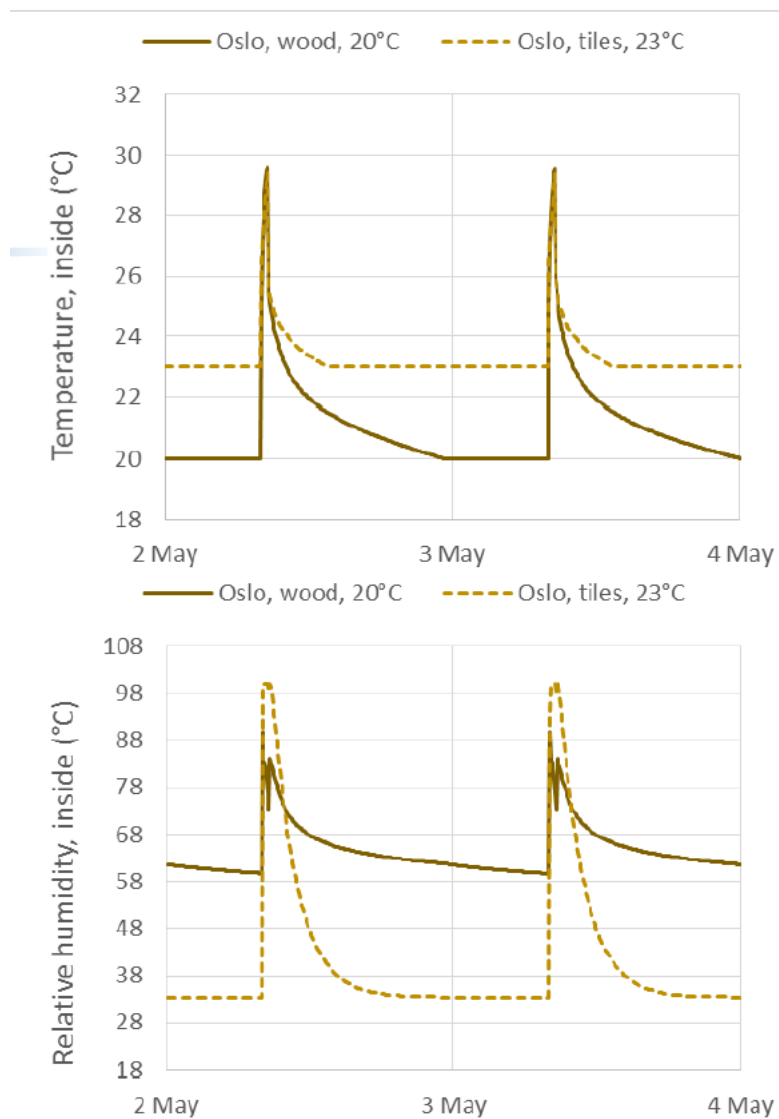


Figur 8 Termisk kapasitet for isolasjonsmaterialer (Steico, 2020).

På samme måte som for utnyttelse av latent varme- og fukt-bufring er lagring av varme i bygningskroppen et relativt lite utforsket område og vanligvis ikke inkludert i beregninger av kjøle-behov.

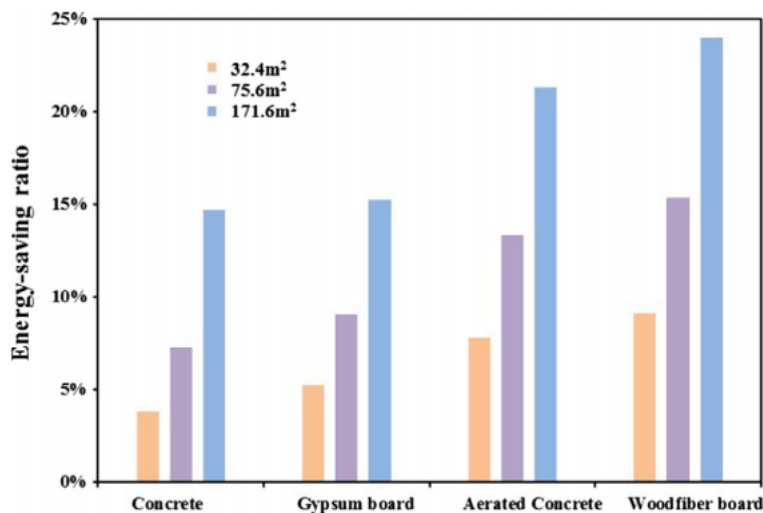
4.1.2 Utnyttelse av sorpsjonsvarme ved fuktbufring

I en studie av et badrom med tre-overflater viser at sammenliknet med et flislagt bad, øker romtemperaturen med 3 C, angivelig fra sorpsjonsvarme. Denne varmen kan utnyttes til komfortvarme etter dusj slik at temperaturen kan holdes jevnt over lavere resten av døgnet. Dette antas å resultere i en årlig energisparing på 296 kWh/år i Oslo-klima (Nore, 2014).



Figur 9 Temperatur og fukt på bad med overflate av henholdsvis tre og fliser (Nore, 2014).

Canadiske studier konkluderer med at utnyttelse av damp-lagring i hygroskopiske materialer har et potensial for direkte energisparing for oppvarming på 2-3 % av totalt energiforbruk for oppvarming. Samtidig pekes det på et betydelig større potensial i bygg med mekaniske kjøleanlegg. Om disse blir optimalt regulert vil integrasjon med hygroskopiske materialer kunne gi en energisparing på 5 – 20 % (Osanyintola, 2006).



Figur 10 Energisparing avhengig av overflatens materialer og areal i Paris klima (Zhang, 2017)

Figuren nr. 10 viser sammenlikning av energisparing ved bruk av ulike materialer og areal i et Paris-klima. For trefiber kan 10 - 24 % spares i en typisk bolig avhengig av overflateareal (Zhang, 2017).

Resultatene indikerer at materialer med stor hygrottermiske masse kan ha en vesentlig innvirkning på energiforbruket i en situasjon hvor det er stor forskjell i relativ luftfuktighet mellom natt og dag. Det er nødvendig for at uteluften skal kunne tørke opp fuktighet i veggen i løpet av dagen uten varmetilskudd fra bygget. Dette betyr at effekten vil være lettest å realisere i tempererte og semi-arid klima soner, selv om energisparing kan oppnås i alle klimasoner ved bruk av et godt tilpasset og styrt ventilasjonssystem (Zhang, 2017).

Simulering av en enebolig bygd etter TEK10 med massivtre (200 mm) og utvendig trefiberisolasjon (150 mm), viser størrelsen på sorpsjonsvarme som vil frigjøres i summen av døgnvis oppfuktings-sykluser i løpet av en oppvarmings sesong vil være i størrelsen 500 til

1.000 kWh/år (Kraniotis, 2017). Hvor mye av dette som kan utnyttes i praksis, vil avhenge av hvor energien til opptørking kommer fra og hvordan ventilasjon påvirker fuktvariasjonen.

Målinger som er gjort på varmeledningsevne for trefiberisolasjon med varierende fuktighetsnivå viser at fuktnivå har en neglisjerbar påvirkning på varmeledningsevne innenfor det hygroskopiske området (Gullbrekken, 2019), (Palumbo, 2016).

En litteraturgjennomgang gjort av ZEB (The Research Centre om Zero Emission Buildings) i 2015, konkluderer med at det er få studier som har undersøkt effekter av sorpsjonsvarme i praksis og at «De få studiene som er gjort, understreker kompleksiteten i varme- og fuktprosessene og behov for mer forskning rundt dynamikken mellom sorpsjon og desorpsjon» (Asphaug, 2015). Vi har heller ikke funnet nyere studier som endrer dette bilde.

4.1.3 Sorpsjonsvarme ved diffusjonsåpen løsning

Mange som er opptatt av godt inn klima, er skeptiske til moderne løsninger med tette bygg og mekanisk ventilasjon. Begrepet «pustende bygg» har en god klang, mens det å «bo i en tett plastpose» gir tilsvarende dårlige assosiasjoner (Drake, 2021).

Å skifte dampsperre med dampbrems vil ikke gjøre en bygning «pustende» i vanlig forstand. Bygget vil fortsatt kunne ha stor lufttetthet, men bruk av hygroskopiske materialer vil fungere fuktighetsregulerende i og med at hygroskopiske materialer som trevirke, tar opp og avgir fukt i takt med endringer i relativ luftfuktighet. Fuktighet i tre vil følge luftfuktigheten, men for variasjoner over døgnet er det bare det ca. 1 cm tykke ytre laget som blir påvirket og som utgjør den praktiske bufferkapasiteten (Kraniotis, 2017).

Fukt kan imidlertid trenge ut i isolasjonen som følge av damptrykk. Sesongvariasjoner kan gjøre at uttørking også kan skje innover.

Latent varme kan også gjøre seg gjeldene ved fuktighetsgjennomgang i vegg. Dette vil være avhengig av isolasjonsmaterialets egenskaper. Mineralull absorberer lite vanddamp sammenliknet med trefiber og har høyere permeabilitet. Under et forsøk i Grenoble-testhuset (se 4.1.5) ble det gjort målinger på en vegg uten dampsperre/dampbrems og innvendig fuktproduksjon med følgende observasjon (Labatabc, 2015):

Because of the highly hygroscopic behaviour of the insulation material, moisture flow was partly adsorbed, releasing latent heat. Somehow, the material was heated on the inside. Therefore, the heat flux coming from indoors to the vertical wall diminished, while the apparent thermal resistance R_{App} increased.

Dette forsøket var imidlertid ikke satt opp for å studere dette fenomenet videre.

Treteknisk institutt har vært involvert i flere forskningsprosjekter for å dokumentere dynamisk U-verdi i vegg av tømmer og massivtre i samarbeid med oppdragsgivere som ønsker å dokumentere at isolasjonsevnen er bedre enn det som fremkommer i statiske beregninger av varmegjennomgang. I nyhetsartikler vises det til lovende funn, men forskningsresultatene er ikke publisert.

I et forsøk med to laftede testhus på NTNU campus Gjøvik (se kapittel 4.1.5) er det gjort målinger der det er gjensvart normalt inneklimate med oppvarming og fuktproduksjon. Bare målinger fra april 2019 er offentliggjort. Disse viser vesentlig lavere U-verdi (0,44 W/m²K) enn det som kommer frem med gjeldende beregningsmetode etter NS-EN 12664:2001 og NS-EN ISO 6946 (0.669 W/m²K) (Treteknisk, 2020)

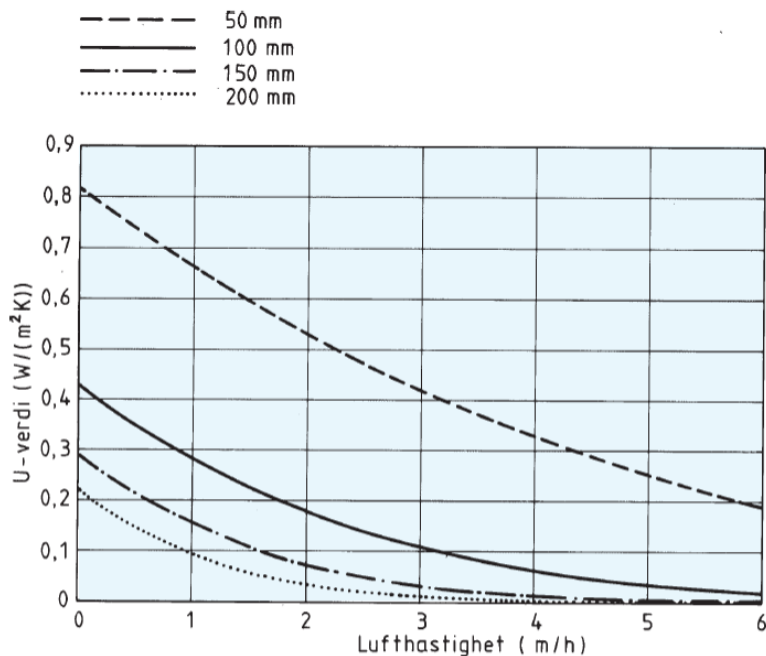
Treteknisk Institutt har også gjort målinger på ett massivtre kontorbygg i Borg Havn. Her påvises det et varmetap på 3-14 % lavere enn referanseverdier uten hygroskopisk masse. Varmetapet varierer med himmelretning, fuktighet og vind. Konklusjonen er at den uisolerte massivtre-veggen har U-verdi som gjennom sesongen varierer mellom 0,3 og 0,4 W/m²K. (Treteknisk, 2020) Testene gjort av Treteknisk institutt, er ikke tilgjengelig da resultatene eies av kommersielle aktører som ikke har publisert rapportene fra forsøkene. En Masteroppgave fra prosjektet indikerer at det er problemer med målemetoden, spesielt på solvendt vegg der den hygrotermiske effekten blir størst. Varmefluks-sensoren av keramikk reagerer annerledes på sol enn treet. Oppgaven konkluderer med at det er en hygrotermiske effekt, men at den ikke er målt til mer enn 0,04 W/m²K over året. Effekten er betydelig større på høsten (Mestad, 2019).

Trefiberisolasjon har noen fordeler sammenliknet med mineralull ved bruk av dampbrems. Materialets bufferkapasitet kan holde på større fuktmengder i fuktige perioder og avgi i tørre perioder (Lunde, 2014). Bruk av trefiberplater som utvendig vindtetting vil redusere relativ luftfuktighet på innsiden av vindspærre. Dette er ofte et kritisk punkt. Trefiberplater har lavere

varmeledningsevne en tradisjonelle rulleprodukter. Med 50 mm Hunton vindtett kan temperaturen på innsiden øke med 2 grader C og dermed redusere den relative luftfuktigheten og faren for kondensering (Lunde, 2014).

4.1.4 Dynamisk isolasjon

Med dynamisk isolasjon (også omtalt som dynamisk ventilasjon) menes et permeabelt isolert bygningselement som er påtvunget en kontrollert luftstrøm. Dynamisk isolasjon kan være en metode for å redusere varmetapet uten å øke isolasjonstykkelsen. Transmisjonstapet i en konstruksjon kan elimineres fullstendig ved riktig lufthastighet gjennom konstruksjonen (Byggforsk, 1995).



Figur 11 Dynamisk U-verdi for isolasjonssjiktet som funksjon av tykkelse og lufthastighet (Byggforsk, 1986)

Dynamisk isolasjon har så langt tapt som konsept mot økt tetthet og isolasjonstykkelse i utviklingen av mer energieffektive bygg. Evalueringer fra 90-tallet, blant annet av Svenske boliger bygd av Skanska, viste at det var vanskelig å oppnå i praksis, de energibesparelsene som var beregnet. Forklaringene ligger i at det var vanskelig å kontrollere trykket i avtrekksvifter, andre bygningselementer som gulv, samt at overgang mellom

bygningselementer var utette og slapp inn utilsiktet luft og avtrekksvarmepumpene var ineffektive (SBUF, 1996, Wallenten, 1998).

Utviklingen i passivhus og generelt strenge krav til tetthet i TEK, sammen med teknisk utvikling i styringssystemer og avtrekksvarmepumper, gjør at det i dag kan være enklere å oppnå gode praktiske resultater med dynamisk isolering. Simuleringer viser at dynamisk isolering kan halvere varmetapet gjennom ytterflatene, eller oppnå ønsket resultat med halvert konstruksjonstykkelse (Imbabi, 2012).

Dynamisk isolering vil kunne motvirke noen av ulempene med store isolasjonstykkelser både når det gjelder kostnad, plass, fare for fuktskader og overoppheting på sommeren. Trefiber-egenskapene som er beskrevet i dette kapittelet gjør denne godt egnet for dynamisk isolering.

4.1.5 Erfaringer fra andre testhus

Colorado-studien

Som omtalt innledningsvis, har University of Colorado School of Architecture and Planning (Boonyartikarn S, 1990) rapportert om energibesparelse på minst 26 % ved bruk av celluloseisolasjon i et forsøk med to testhus, ett med cellulose isolasjon og ett med mineralull. Her ble det bruk glassull-matter i det ene huset og våt-sprayet cellulose i det andre. Det ble gjennomført blow-door tester for å sikre at begge husene var like tett før isolering. Etter isolering og montering av dampsperre og gips i taket ble dør og vindu forseilet. En ny test viste at begge hus var blitt tettere, men i cellulosehuset hadde tettheten økt med 36 % mer enn i mineralullhuset. Økt lufttetthet oppgis i studien som hovedgrunn til redusert energibehov i cellulosehuset.

I og med at «Colorado» studien er mye brukt av cellulose produsenter og forhandlere, spesielt i USA og Canada, har studien også fått mye kritikk. Studien er ikke publisert i et fagfellovurdert tidsskrift, det finnes bare et sammendrag av studien, der flere sentrale opplysninger mangler og sammenlikningsgrunnlaget er mangelfullt beskrevet. Forskjellen i energibruk kan forklares med forskjellen i tetthet. Med korrekt montert dampsperre ville det ikke vært slike forskjeller.

Mineralullprodusentene viser til flere studier, inkludert omfattende tetthetskontroller av amerikanske boliger, som viser at tetthet målt i praksis ikke har sammenheng med isolasjonsmaterialer, men utførelse av damp- og vindsperre (Insulationinstitute.org).

Grenoble testhus

Et testhus i reisverk på 20 m² er bygd i Grenoble i Frankrike for å undersøke ulike kombinasjoner av lag i vegg og validere beregningsmodeller. Huset er instrumentert for å måle temperatur, varmekraft og relativ luftfuktighet i ulike dybder i vegg samt ute og inne. Forsøkene har pågått over flere år og fokusere i hovedsak på varme og fuktgjennomgang i vegg. For å simulere ulike brukersituasjoner er huset utstyrt med varmeovn og tåke-maskin. Oppbygning av veggen ble endret flere ganger for å teste flere kombinasjoner med og uten dampspærre og ulike isolasjonsmaterialer inkludert mineralull og trefiberisolasjon. (Piot, 2011). Noen av resultatene er gjengitt under kapittel 4.1.3.

Massivhus på NMBU på Ås

I 2014, som en del av forskningsprosjektet Wood, Energy, Emission, Experience (WEEE) ble det satt opp to 25 m² testhus av massivtre på MNBU på Ås. Vegger/ tak hadde 100/140 mm massivtre med 100-150/250 mm utvendig isolering av mineralull. Husene var utstyrt med ventilasjon og utstyr for å tilføre fukt. Mens ett av husene hadde åpen trekonstruksjon mot inneklimate var det andre kledd med dampspærre.

Målinger viste at trevirke effektivt jevnet ut selv store fuktbelastninger. Temperaturøkning på overflate vegg i oppvåkingsperioden var på 0,5 – 1 grad C i huset uten dampspærre og ingen registrert temperaturøkning i huset med dampspærre (Katavic, 2014).

Tømmerhus på NTNU campus Gjøvik

Norsk laft og Treteknisk Institutt avsluttet i januar 2020 et forskningsprosjekt på NTNU Gjøvik med energimålinger i to små (15 m²) laftebygg. Formålet var å undersøke oppvarmingsbehovet for hus bygd med maskinlaft og håndlaft. Begge byggene hadde 195 mm tykke vegger uten ekstra isolasjon. Inneklimate ble gjenskapet med realistisk fuktbelastning. I tillegg til energimålinger ble der gjort måling av varmekraft. Forbruket var 11,8 % høyere i huset av håndlaft (Treteknisk, 2020). Treteknisk konkluderer med et vesentlig lavere

oppvarmingsbehov enn forventet i hht til beregning med statisk u-verdi som ligger til grunn i energiberegninger for TEK17. Se resultater gjengitt i kapittel 4.2.3. Det er ikke oppgitt målt U-verdi verdi for hele året. Prosjektet var finansiert av Norsk Laft og Innovasjon Norge. Det er ikke publisert rapport fra forsøket.

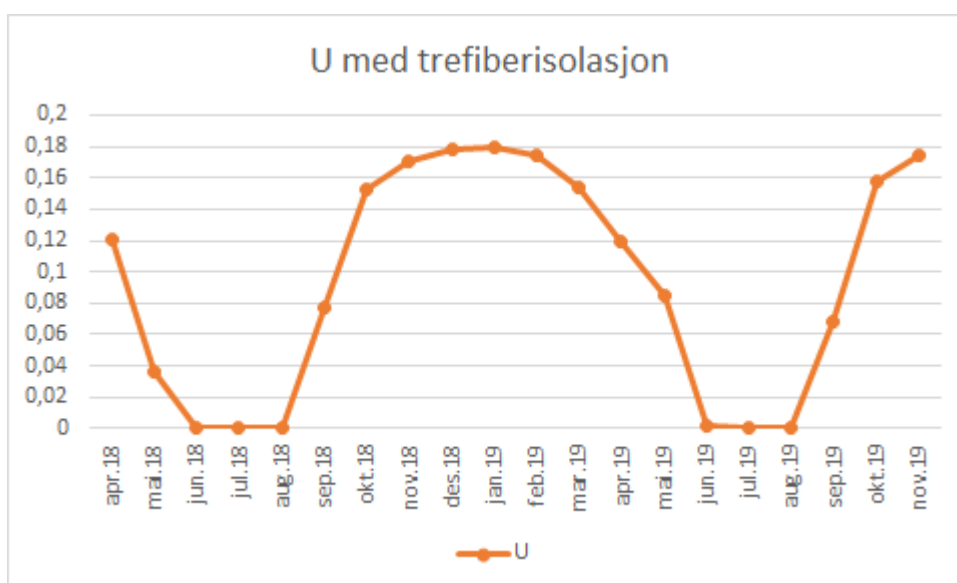
4.2. Resultater energibehov Hunton testhus

Nedenfor følger måleresultater for valgt analyse-periode. Bakgrunn for valg av analyse-periode finnes i kapittel 4.2.6.

4.2.1 Målt relativ U-verdi

Grunnet soloppvarming, måler vi varierende U-verdier gjennom året som forventet og beskrevet i metodekapittelet.

Trefiberisolasjon

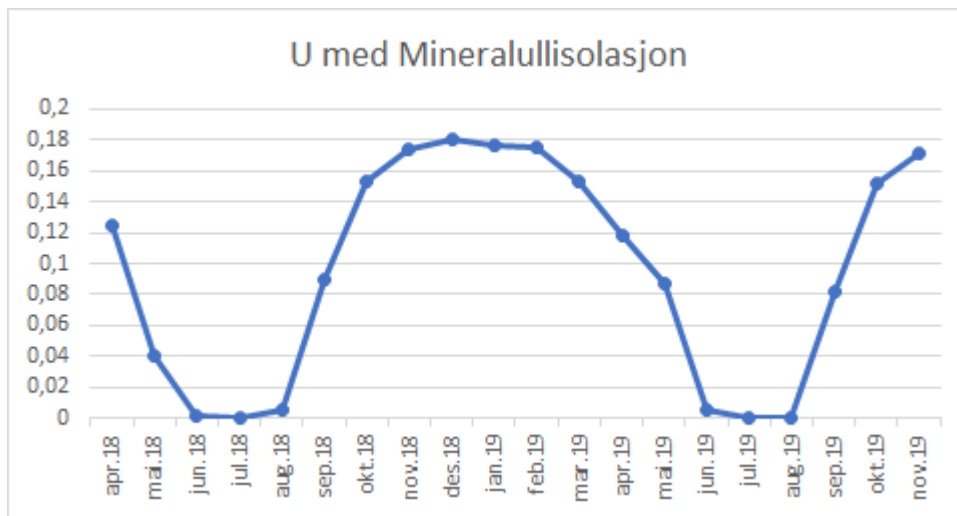


Figur 12 Målt trefiberisolasjon U

Figuren nr. 12 viser den målte U-verdien gjennom analyseperioden.

For månedene med minst solpåvirkning viser den tall som man kan forvente av en normalt oppbygget yttervegg. Verdiene ligger i underkant av 0,18 i måleperioden.

Mineralull



Figur 13 Målt mineralull U

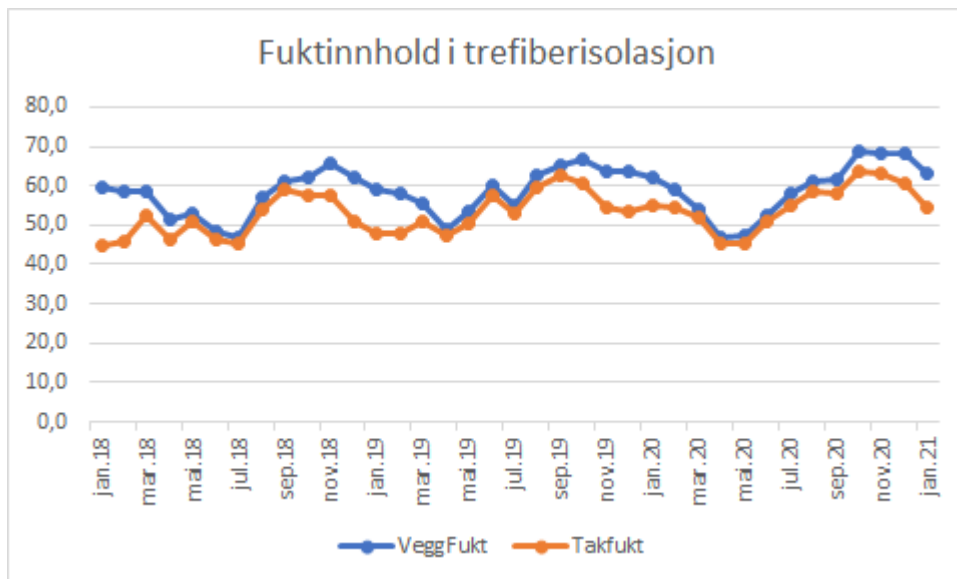
Figuren nr. 13 viser den målte U-verdien gjennom analyseperioden.

Også tallene fra huset isolert med mineralull viser forventede U-verdier for månedene med minst solpåvirkning. Verdiene ligger også her fra cirka 0,18 og nedover i måleperioden.

4.2.2 Målt relativt fuktinnhold i isolasjon

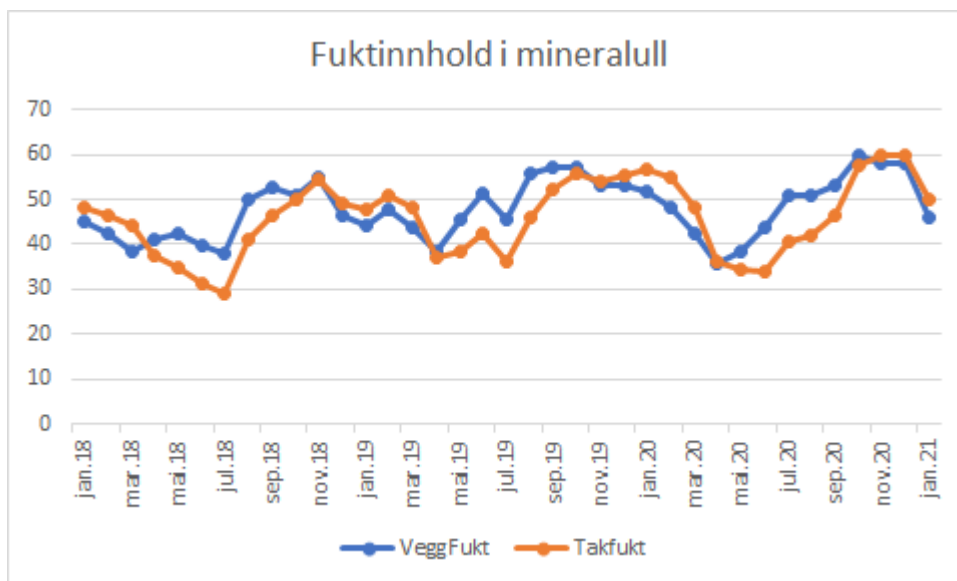
Figurene nr. 14 og 15 viser målt relativt fuktinnhold for isolasjonssiktet i vegger og tak for test-husene.

Trefiberisolasjon



Figur 14 Målt fuktinnhold trefiberisolasjon

Mineralull

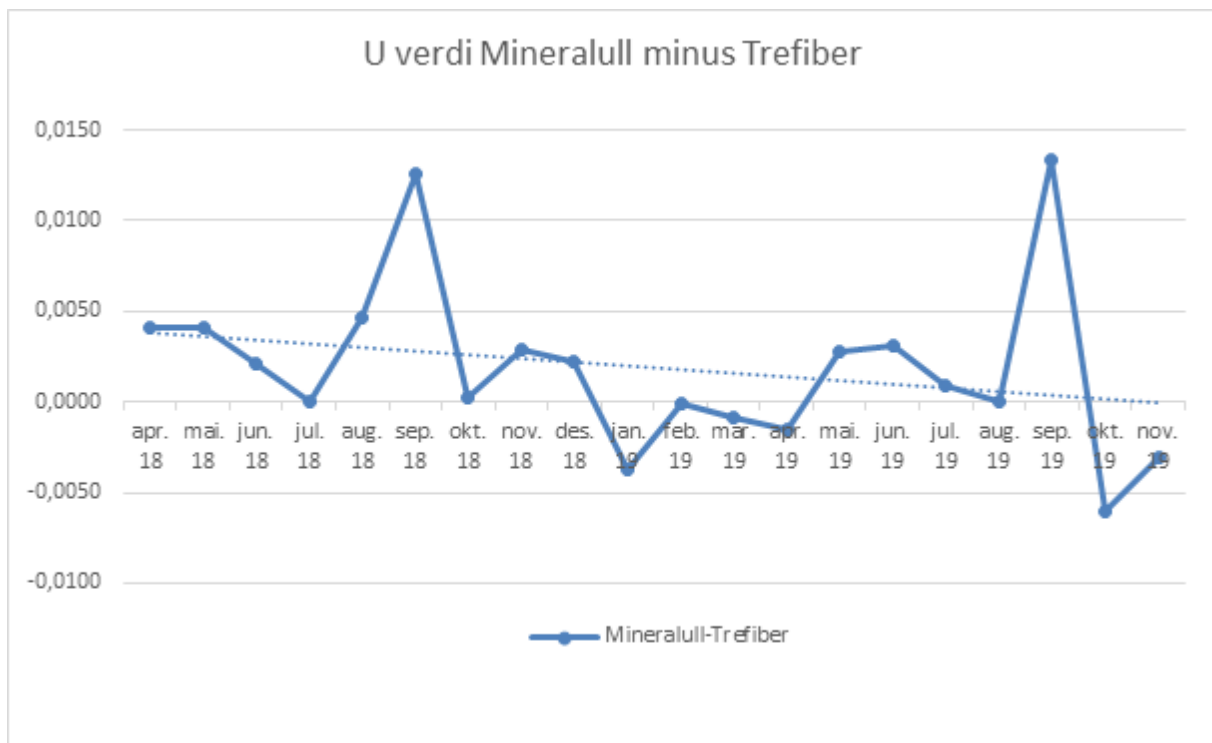


Figur 15 Målt fuktinnhold mineralull

Figurene viser fuktmålinger midlet for hver måned over en periode på tre år.

Dette er en lengre periode enn for energimålingene. Målingene av energiforbruk er begrenset til en kortere periode grunnet utfordringer i grunnlagsdata, men vi har ingen indikasjon på tilsvarende utfordringer knyttet til måledata for fukt gjennom perioden.

4.2.3 Forskjeller i relativ U-verdi mellom trefiber og mineralull



Figur 16 Differanse i relativ U-verdi

Figur nr. 16 viser differansen i relativ U verdi mellom husene bygget med henholdsvis trefiber- og mineralull-isolasjonen for testperioden.

Positive verdier (kurve over x-aksen) indikerer bedre resultat for trefiber-isolasjonen.

4.2.4 Døgnvariasjoner i september

September skiller seg ut som en spesiell måned både i 2018 og 2019 med bedre relativ U-verdi for trefiberhuset.

I september 2018 var samlet mål forbruk for trefiberhuset 8,4 kWh for mineralullhuset 9,8 kWh (18 % høyere). Forbruket er konsertert om noen korter perioder med lave nattemperaturer. Vi har valgt ut perioden 11. til 17. september 2018 for å undersøke med en kortere tidsoppløsning. Dette er en periode med store temperaturforskjeller, spesielt mot slutten av perioden med lave nattemperaturer. I perioden bruker trefiberhuset 1,3 kWh og mineralullhuset 1,9 kWh (45 % høyere). Energimålingen har minste oppløsning 0,1 kWh. Det

er derfor vanskelig å følge nøyaktig forbruket time for time når forbruket er lavt. I tabell 3 er tidspunktet for når måleren «tikker» av 0,1 kWh markert sammen med utetemperaturen. Hver time fylt med farge representerer tidspunkt for når måleren «tikker» forbruk på 0,1 kWh. Ingen målerutslag registrert på dagtid mellom kl. 12 og 23. Heller ikke i dagene før 11. og etter 17. september.

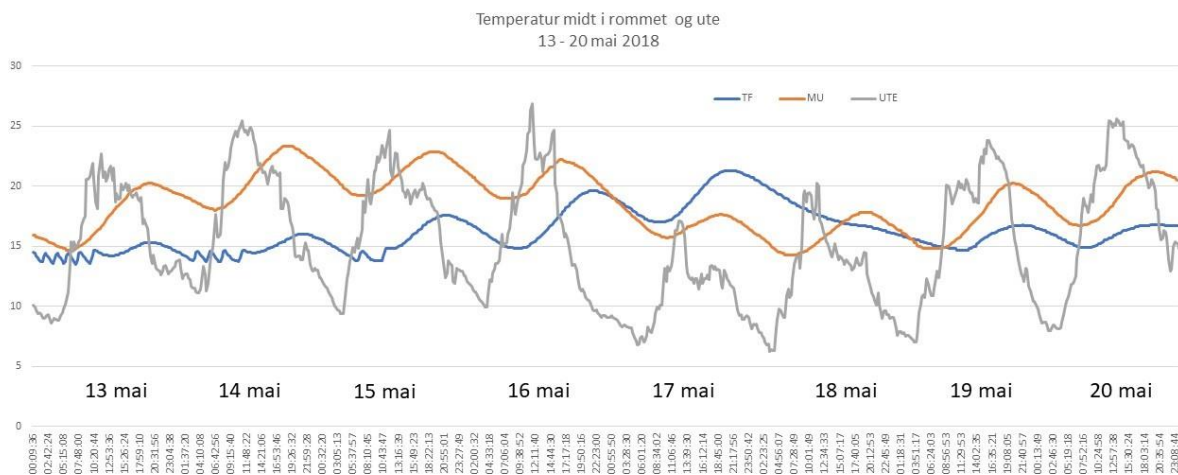
Tabell 3 Ute temperatur og timesmålt energiforbruk 11.-17. september 2018

	Natt										Formiddag					
	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
11.sep																
Ute temp	9,3	8,2	10,9	11	11	10,7	10,6	10,6	10,3	10,7	11,6	12,5	12,6	12,3	12,7	
Mineralull																
Trefiber																
12.sep																
Ute temp	8,4	8,7	7,9	7,9	8,1	7,8	7,8	7,7	7,3	11,2	15,4	15,3	17,3	18,1	18,5	
Mineralull																
Trefiber																
13.sep																
Ute temp	12,2	11,7	9	9,3	9,2	8,9	8,7	8,4	7,9	9,9	9,9	10,9	16,1	17,1	20,3	
Mineralull																
Trefiber																
14.set																
Ute temp	12,2	11,8	11,4	10,7	10,1	10,2	9,9	8,8	9,1	9,7	10,1	11,9	12,6	15,2	15,1	
Mineralull																
Trefiber																
15.sep																
Ute temp	7,6	5,9	10,7	9,5	8,3	7,4	7	6,3	5,4	10,2	14	14	13,1	13,3	12,7	
Mineralull																
Trefiber																
16.sep																
Ute temp	10,5	10,5	6,5	5,8	5,2	4,6	4,4	4,2	3,7	8	10,7	9,4	14,4	16,4	13,8	
Mineralull																
Trefiber																
17.sep																
Ute temp	12,4	12,1	10,5	10,5	10,2	10,3	10,5	10,5	9,6	11,3	11,4	11,7	12,7	12,7	13,3	
Mineralull																
Trefiber																

4.2.5 Døgnvariasjoner sommer

Siste dag med registrert energiforbruk til oppvarming (som følge av at innetemperatur falt under termostat-innslagspunkt) var for trefiberhuset 5. mai og for mineralullhuset 12. mai 2018. Perioden fra 13. til 16. mai har varme dager der innetemperaturen i mineralull-huset stiger opp til 22-23 grader C på dagtid den 14., 15. og 16. mai. Temperaturen i trefiberhuset har i denne perioden et maksimum på 17 grader C. Den 17. mai blir det kaldere

(typisk!) og temperaturen i mineralullhuset faller markant til 17,6 grader C mens innetemperaturen i trefiberhuset fortsetter å stige og når sin topp på 21,3 grader for perioden.



Figur 17 Utetemperatur og variasjon i innetemperatur 13 – 20 mai 2018.

I tillegg til mindre svingning i temperatur for trefiberhuset har dette også en tydelig forsinkelse på min/maks punktet på mer enn to timer sammenliknet med mineralullhuset.

4.2.6 Valg av måleperiode Hunton testhus

Etter en kvalitetsvurdering av måledata har vi kommet fram til at tidsserien mellom april 2018 og november 2019 er mulig å bruke for formålet;

Manglende måledata:

Det mangler måledata for strømforbruk i testhus-trefiber for perioden 25.12.2019 klokken 20:15:00 til 24.09.2020 klokken 15:45:00.

Temperaturvariasjoner:

Det er variasjoner i målt innetemperatur i husene som er uventet i et autonomt regulert system (termostatregulert varme). Dette antas i hovedsak skyldes endringer i regulering av ønsket

temperaturforløp asynkront mellom husene. Variasjoner skal uansett ikke påvirke energisammenlikningene, da disse er basert på relativ U-verdi.

Sensorering:

Hunton har ifølge sin logg over rigging og test, foretatt endringer eller utskifting av sensorer i starten av forsøket som skyldes feil i rigging eller feil på utstyr. I den valgte periode for analyse, har vi ingen indikasjon på feil i oppsettet, ut over hensyntatte forhold som nevnt over. Leverandører av sensorer / målere har bidratt med datablad som dokumenterer de normale toleransene på utstyret.

Utvalg:

Tidsserien mellom april 2018 og november 2019 er mulig å bruke for formålet.

I denne perioden har vi kontinuerlige måledata og det er ikke loggført endringer i oppsett. I perioden før april 2018, vet vi fra Hunttons logg av test-riggingen, at det var noen innkjøringsproblemer og endringer i oppsettet som gjør at vi velger bort denne perioden. I perioden etter november 2019 mangler vi forbruksdata for et av husene inntil september 2020. Denne perioden velges følgelig også bort. Etter september 2020 er det ikke mulig å bruke data for sammenlikning ettersom et av husene har fått en skade i dørisolasjonen. Vi kan ikke tidfeste hendelsen, men observerer i måledata en degradering av isolasjonsevnen for dette huset senhøstes 2020.

4.3. Miljøpåvirkning trefiber- og glassull-isolasjon

4.3.1 Input-verdier i produsentenes EPD

Tabellen under viser forskjeller og likheter i noen av input-verdiene som er lagt til grunn for LCA i EPD'ene. Alle produsentene bruker den samme funksjonelle enhet. De bruker imidlertid ulike databaser for generelle verdier. Databasene er ikke åpent tilgjengelig slik at det kan være vanskelig å kartlegge eventuelle forskjeller mellom inngangsverdiene som tas fra databasen.

Når det gjelder energi brukt til produksjon, får Hunton energi fra vannkraft, mens Glava bruker LNG, olje og elektrisitet i produksjonen ifølge systemgrensene i EPD. Tap for produksjon av overføringslinjer og nett-tap blir regnet inn i LCA-regnskapet.

Glava bruker masseallokering, der 52 % av massen blir allokert til opprinnelsesproduktet for det resirkulerte materialet.

Hunton bruker økonomisk allokering og følger NS-EN 15804. Vi har ikke fått tilgang til denne utregningen, men generelt vil det si at Hunton tar en andel av miljøpåvirkningen ut fra salgsinntektene de har på produktet i forhold til alle salgsinntektene som er på materialet. Skogsmaterialer blir tildelt miljøpåvirkning for skogsmaskiner, frakt av tømmer, bruk av landområder osv.

Glava plater har mindre forbruk av emballasje enn Huntons plater, 0,056 kg mot 0,11 kg for tre-emballasje og 0,012 kg mot 0,03 for plast-emballasje.

Tabell 4 Sammenlikning input-verdier, energimiks og allokering

	Glava P+I	Hunton P	Hunton I	Saint G	Rockwool P+I
Funksjonell enhet	1m2 isolasjon med tykkelse som gir termisk motstand, R=1 Km ² /W og referanselevetid 60 år.				
Input database	Ecoinvent v3.3	Ecoinvent v3.5	Ecoinvent v3.5	Thinkstep	Thinkstep
Gyldighet	28/1-2019 til 28/1-2024	6/7-2020 til 6/7-2025	6/7-2020 til 6/7-2025	28/2-2020 til 28/2-2025	17/4-2019 til 16/4-2024
Energimiks	Nasjonal produksjonsmiks fra import	Nasjonal markedsmiks med import på medium spenning	Nasjonal markedsmiks med import på medium spenning	46 % biomass og 54 % Hydro	GaBi 8.0 norsk og dansk energimiks
Allokering	Masse-allokering (52 % til resirkulert materiale)	Økonomisk allokering	Økonomisk allokering	Masse-allokering (for intern fordeling mellom produkter)	Står ikke, men har regnet med 17,5 % resirkulert materiale
Emballasje	Treemballasje 0,026 kg Plastemballasje 0,012 kg Totalt 0,74 kg	Treemballasje 0,11 kg Plastemballasje 0,03 kg Totalt 2,04 kg	Treemballasje 0,05 kg Plastemballasje 0,01 kg Totalt 1,33 kg		

Tabellen nr. 5 viser at innputverdiene ikke alltid følger produktreglene (PCR). Glava har satt modul C1 og C3 til å være neglisjerbar, men dette er medregnet hos Hunton. Det samme gjelder modul A5. Dersom modulene utgjør mindre enn 1 %, kan de utelates.

Transportavstand i A4 avviker hos Glava og Rockwool. Også i C2 er transportavstanden satt ulikt for de forskjellige produsentene.

Tabell 5 Sammenligning av inputverdier i LCA

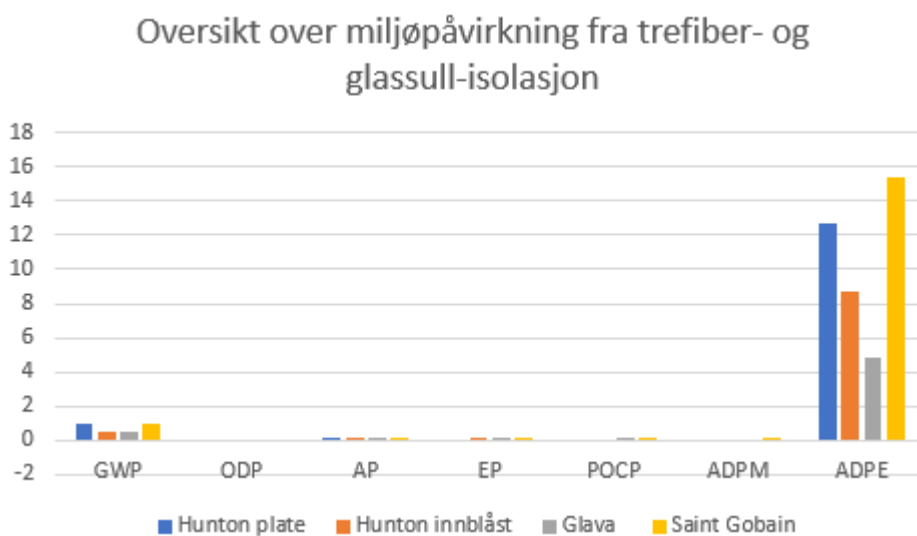
Modul	Glava P+I	Hunton P	Hunton I	Saint G	Rockwool P+I	Skal være ifølge PCR
A4 Avstand fra fabrikk til byggeplass	230 km	300 km	300 km	300 km +200 km	225 km	300 km+ avstand til lager i Norge
A5 Energiforbruk ved installasjon	antatt neglisjerbar	medregnet	medregnet	antatt neglisjerbar	antatt neglisjerbar	Skal være med
A5 Materialsjinn ved installasjon	antatt neglisjerbar	2 %	2 %	5 %	2 %	2 %
A5 Avfallsbehandling fra emballasje	inkludert	inkludert	inkludert	inkludert	inkludert	Skal være med
C1 Energiforbruk ved rivning	antatt neglisjerbar	Medregnet	Medregnet	antatt neglisjerbar	antatt neglisjerbar	Skal være med
C2 Transport til avfallsbehandling	25 km	85 km	85 km	25 km	50 km	Skal være basert på representative data som eks. nasjonal statistikk
C3 Avfallsbehandling	Ikke medregnet	Medregnet	Medregnet	Ikke medregnet	Ikke medregnet	Skal være med
C4 Sluttbehandling av avfall	ikke farlig avfall	blandet treavfall	ikke farlig avfall	ikke farlig avfall	ikke farlig avfall i LCA, men kan resirkuleres 100 %.	Skal være med
D Nytte ved gjenvinning	medregnet	medregnet	medregnet	medregnet	medregnet	Skal være med

Huntons produkter er laget på Gjøvik, og de har egne EPD'er for trefiberplatene og trefiber innblåst. Rockwool har laget en samlet LCA fra fabrikkene i Moss og Trondheim i Norge og Vamdrup og Doense i Danmark. De har også samlet alle isolasjonsproduktene og gitt en multipliserings-faktor for de forskjellige. Det samme gjelder for Glava med produksjon i

Moss. Saint-Gobains EPD tar utgangspunkt i et produkt som er produsert i Billesholm i Sverige.

4.3.2 Resultat fra sammenligning av produktenes LCA

Figuren nr. 18 viser alle midtpunktverdiene fra EPDene til Huntons trefiberisolasjon og Glavas glassullisolasjon i et stolpediagram. Ut fra diagrammet kan en se at midtpunktverdiene for global oppvarmings-potensiale (GWP) og abiotisk forbruk av fossilt brensel (ADPE) er faktorer med størst betydning for isolasjonsproduktene som sammenlignes. Derfor konsentrerer vi oss om disse to i det videre arbeidet. Andre miljøfaktorer som beregnes i LCA som forsurening av vann (AP), overgjødning (EP) og fotokjemisk oksidantdannning (POCP) viste seg å være minimale og neglisjerbare i sammenligningen mellom trefiber-isolasjon og mineralull-isolasjon. Figur viser at Glava har lavest GWP og ADPE i sammenligningen ut fra LCA i miljødeklarasjonene.



Figur 18 Totalen for midtpunktverdiene i LCA

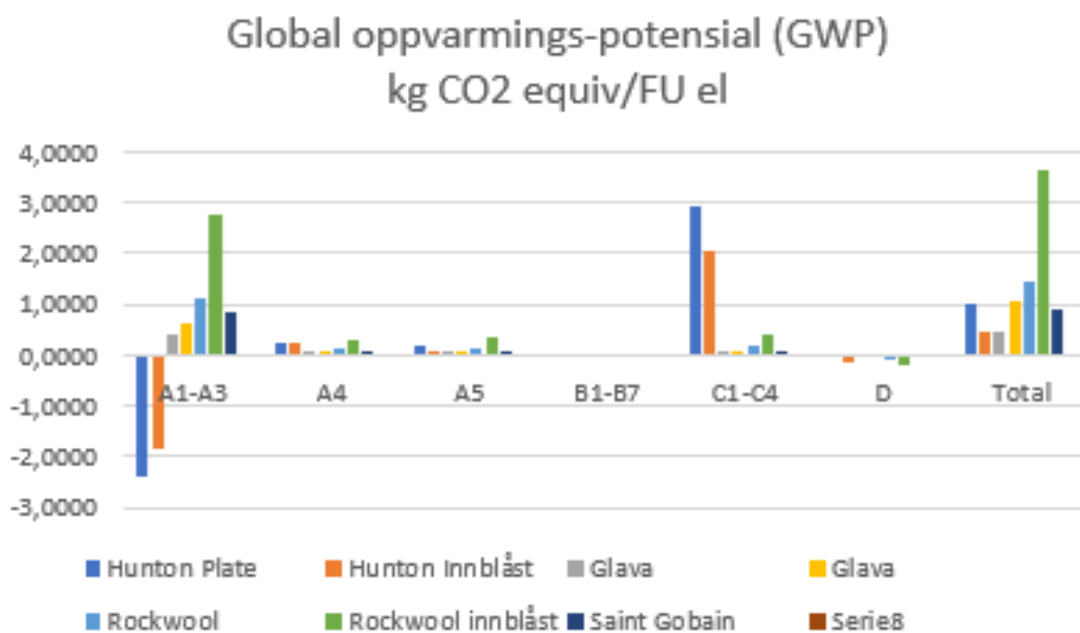
Resultat av GWP og ADPE gitt i EPD

Fra figur 19 kan en se at Hunton starter med negativ klimapåvirkning målt i global oppvarmings potensiale, pga. treets opptak av karbondioksid. En kan videre lese at modul C1-C4 som er demontering, avfallshåndtering og frakt til avfallshåndtering, er den modulen Hunton påvirker miljøet vesentlig mer med, enn de andre produsentene av isolasjon da det

biogent karbonet bundet i A1 frigjøres igjen ved forbrenning av trefibrene i C3. Øvrige produsenter har ikke tatt med modul C3, - avfallshåndtering, i sin LCA.

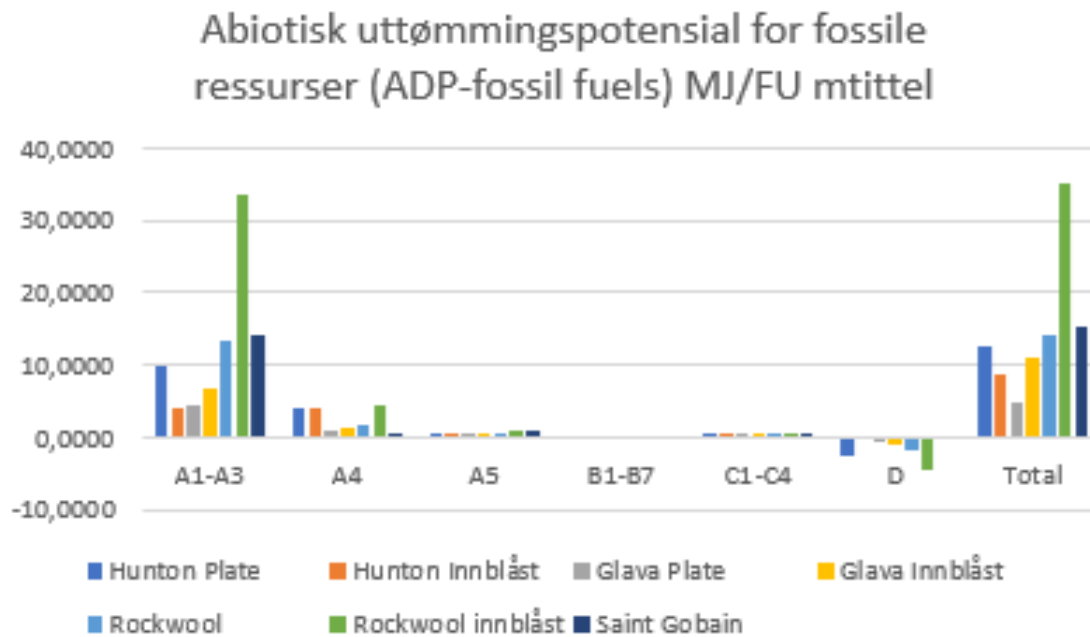
Hunton har i EPD'en begrenset opptak og utslipp av karbondioksid fra biologisk opphav basert på NS-EN 16485 og basert på modularitetsprinsippet i EN-15804:2012.

Karbondioksidmengden er beregnet etter EN 16449:2014. De viser en tabell over klimapåvirkning beregnet etter umiddelbar oksidasjon av biogent karbon og netto opptak og utslipp av biogent karbon fra materialene i hver modul (EPD_Norge, 2020).



Figur 19 GWP i de forskjellige modulene for de ulike produsentene før korreksjon

I figur nr. 20 ser en at Rockwool innblåst har høyest bruk av fossile ressurser (ADPE) og Glava Plate har lavest påvirkning på ADPE.



Figur 20 ADPE i de forskjellige modulene for de ulike produsentene før korreksjon

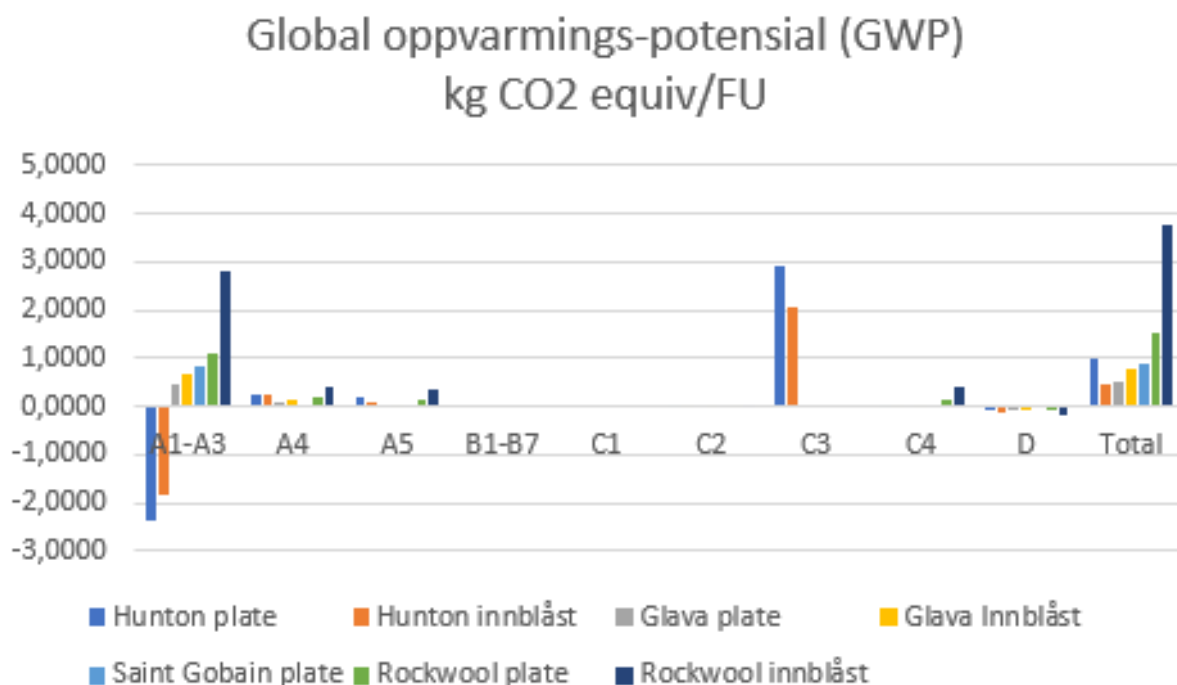
Resultat av GWP og ADPE etter omregning

Som beskrevet i kapittel 4.3.1 er sammenligningsgrunnlagene litt forskjellige. Det har derfor vært nødvendig å regne om inputverdiene og kompensere for ulikheter.

I denne omregningen har vi gitt alle produktene lik transportavstand på 300 km fra produksjonssted til byggeplass, i samsvar med produktkategori-reglene for isolasjonsmaterialer i Norge. Vi har gitt alle produktene svinn på 2 % og litt energiforbruk ved installasjon. For dette har vi lagt sammen verdiene til Glava som opprinnelig hadde 0% svinn med Saint Gobain som hadde 5 % svinn, og så delt på to. 0,5 % som har vi antatt kan utgjøre energiforbruk ved installasjon i A5, slik at dette også blir dekket. Dette er uansett små verdier som ikke vil ha avgjørende utfall på det sammenlagte regnskapet. For C1, rivning av bygningen og første sortering, er her antatt neglisjerbar også for Hunton. For C2, transport fra bygning til avfallsdeponi, har vi regnet om til 50 km for alle, slik det er anbefalt i PCR. C3, avfallsbehandling, er antatt neglisjerbar for alle unntatt Hunton, som her regner inn igjen det

biogene karbonet. Modul C4, sluttbehandling av avfall, og modul D, nytte ved gjenvinning, er med for alle, og vi lar disse være slik de opprinnelig var.

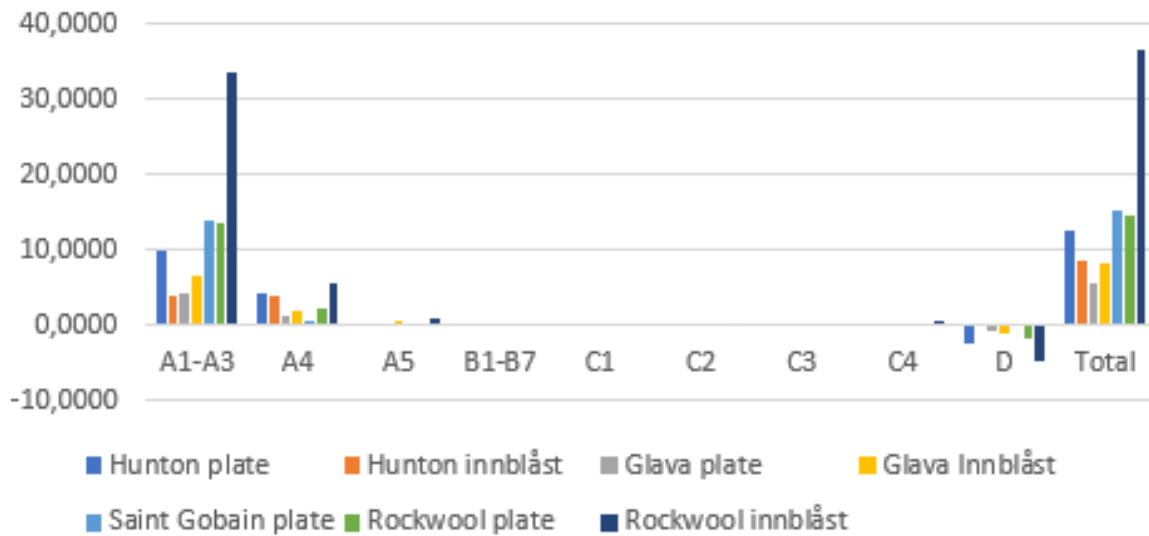
Figur nr. 21 under viser at etter at inngangsverdiene er gjort sammenliknbare, har Hunton innblåst totalt sett minst påvirkning på global oppvarming (GWP). Påvirkningen er 13 % mindre enn Glava plate og 41 % mindre enn Glava innblåst. Hunton plate har dobbel så stor påvirkning som Glava plate og 22 % større en Glava innblåst. Hunton plate har tilnærmet dobbelt så stor påvirkning som Hunton innblåst. Glava plate fra Saint Gobain har 42 % mer påvirkning på GWP enn Glava plate fra Glava Norge. Rockwool plate har 34 % mer påvirkning enn Hunton plate og Rockwool innblåst har over 8 ganger så stor påvirkning på GWP som Hunton innblåst.



Figur 21 GWP i de forskjellige modulene for de ulike produsentene etter korreksjon

Figur nr. 22 viser at Glava plate har lavest forbruk av fossil energi. Forbruket er 36 % lavere enn Hunton innblåst og 33 % lavere enn Glava innblåst som er nest lavest i sammenligningen. Forbruket for Rockwool plate er 4 % lavere enn Saint Gobain plate og 14 % høyere enn Hunton plate. Rockwool innblåst har klart høyest forbruk i sammenligningen.

Abiotisk uttømmingspotensial for fossile ressurser (ADP-fossil fuels) MJ/FU



Figur 22 ADPE i de forskjellige modulene for de ulike produsentene etter korreksjon

Hunton innblåst kommer best ut med tanke på GWP etter korreksjon. Hunton innblåst har 41 % mindre påvirkning på GWP enn Glava innblåst og Rockwool innblåst har over 8 ganger så stor påvirkning på GWP. I forhold til ADPE har Hunton innblåst 33 % større påvirkning enn Glava innblåst og Rockwool har 3 ganger så stor påvirkning som Hunton.

Sammenligner vi Hunttons plate med Glava og Rockwools plate ser vi at Glava har tilnærmet halvparten så stor påvirkning på GWP og ADPE som Hunton og en tredjedel av Rockwool.

Vi har ikke tatt hensyn til allokering og forskjellig energimiks i sammenligningen, noe som kan ha stor betydning for utfallet.

5 Diskusjon og analyse

5.1. Forutsetninger for at hygrotermiske egenskaper skal påvirke energibehovet

Det er energi involvert i endring i fuktighetsnivå og temperatur i materialer med hygrotermisk kapasitet. Når slike energieffekter skal vurderes, er det to grunnleggende forutsetninger som må være til stede;

For det første må en betydelig del av bygningens indre flater ha høy hygrotermisk kapasitet og være åpent eksponert. Bruk av dampsperre og andre tette sjikt vil sterkt redusere de hygrotermiske mulighetene.

Dernest er det nødvendig å inkludere tilpasset ventilasjon og regulering av innneklima.

Vi står dermed over for et komplisert samspill av flere elementer som går utover det som vanligvis omfattes av energiberegninger for bygg. Temaet spenner over flere fagfelt med mange angrepsvinkler og medfører metodiske utfordringer (Asphaug, 2015).

5.1.1 Magasinerings- og døgnvariasjoner

Magasinerings-effekten kan brukes til å lagre fukt og varme over kortere perioder, som svingninger over et døgn. For at dette skal kunne gi energisparing i et bygg, må det tillates svingninger i temperatur og relativ luftfuktighet. Dette er nødvendig for at bufferkapasiteten skal kunne utnyttes til å lagre overskuddsvarme, redusere ventilasjonsbehov eller utsette varme-/kjøle-behov, til en tid på døgnet dette kan gjøres med naturlig ventilasjon.

Variasjoner og fuktighet trenger ikke gå utover opplevd komfort, men styring av oppvarming, kjøling og ventilasjon må tilpasses slik at de optimaliserer og ikke motvirker magasineringsmulighetene i bygget.

Energisparing vil være størst i et klima med betydelig forskjell i relativ luftfuktighet mellom natt og dag slik at akkumulert fukt på natt tørkes ut på dagtid. Det vil si at potensialet er størst

i temperert og semiaride klimasoner, som Middelhavsklima. For norske forhold, vil i hovedsak perioder med lavt oppvarmingsbehov som vår og høst gi gode forhold for utnyttelse av hygrotermiske effekter. Dette vises også i målingene i Hunttons test hus der det var størst virkning i september.

I perioder med et stabilt oppvarmingsbehov, som for Gjøviks vedkommende vil gjelde for tidsrommet november til mars, vil vi ikke kunne forvente energisparing fra hygrotermiske effekter. Her samsvarer i all hovedsak måleresultatene fra Hunttons testhus og annen forskning med at det ikke er noen signifikant dynamisk effekt på isolasjonsevnen for hygroskopiske materialer ved konstant oppvarmingsbehov.

Trefiber har en senere respons på temperaturendringer enn mineralull. Dette viser seg i målingene for sommer-situasjon med høye utetemperaturer på dagtid og kjølige netter. Her får trefiberhuset en forsinkelse i oppvarming, som gir mulighet for å dekke mer av et eventuelt kjøle-behov gjennom nedkjøling med naturlig ventilasjon på natten.

Mulighetene for energisparing som er påvist i Hunton forsøket og forskning er i liten grad dokumentert i praktisk bruk. I og med at det er snakk om prosesser som tar opp og avgir energi, vil den praktiske energisparingen være avhengig av bruksmønster, annen varme- og fuktpåvirkning, ventilasjon og ikke minst hvordan alle prosessene samvirker. Selv om det kan dokumenteres effekt for en tom bygning vil påvirkningen i en normal bygning kunne være vesentlig annerledes. Boliger har innredning, møbler og tekstiler med en betydelig hygrotermisk kapasitet. Dermed kan eksisterende innbo allerede ha utnyttet mye av tilgjengelig varme- og fuktoverskudd.

Selv om forsøk viser at hygrotermiske egenskapene kan være med på å redusere energiforbruket i et bygg, må mange faktorer spille sammen for at det skal kunne realiseres i praktisk bruk. Dermed synes potensialet for energisparing ved bruk av hygroskopiske materialer i konvensjonelle bygg å være lite og vanskelig å beregne. I teknisk forskrift (TEK) er krav til U-verdi et minstekrav og det vil være vanskelig å inkludere en dynamisk verdi som avhenger av så mange faktorer som nevnt over. I middelhavsklima, og i bygninger som er spesielt konstruert og driftet, kan potensialet være større.

5.1.2 Diffusjonsåpne løsninger

Flere ønsker “pustende hus” som et alternativ til de konvensjonelle metodene for å oppfylle energikravene i TEK17 med tette bygg og balansert ventilasjon. Et «pustende hus» omtales som en motsetning til «en tett plastpose» (Drake, 2021). I denne sammenheng kan egenskapene til isolasjon av naturfiber utnyttes i diffusjonsåpne løsninger og dynamisk ventilasjon.

Mens det i et konvensjonelt bygg legges stor vekt på innvendig tetting med bruk av dampsperre eller dampbrems, vil det i diffusjonsåpne løsninger legges til rette for en kontrollert luftstrøm og fuktvandring i konstruksjonen. Dette vil gjøre det mulig med mer omfattende utnyttelse av sorpsjonsvarme. I vintersesongen vil et oppvarmet bygg ha høyere damptrykk inne og vi får en fuktvandring innenfra og ut (Thue, 2016).

Vandring av fukt i konstruksjonen er vanligvis uønsket, da det er fare for kondensering og fuktskader i veggen når vanndamp kjøles ned på vei mot kald side. Med bruk av hygroskopisk materiale som massivtre eller trefiberisolasjon, vil det kunne oppstå en faseovergang og sorpsjonsvarme når vanndamp i inneluften gir økt fukt i materialene. Fukten vil ledes gjennom det hygroskopiske materialet uten at det oppstår fritt vann eller vanndamp.

Opptørking på utsiden skjer med varme fra omgivelsen og vil dermed ikke utlikne sorpsjonsvarmen som tilføres bygget. Denne effekten er vist for massivtre i forsøkene utført av Treteknisk institutt. At det også vil gjelde for trefiberisolasjon, er vist i forsøkene med Grenoble-huset. Forsøkene i Grenoble-huset er imidlertid utført i mildere klima slik at det ikke direkte kan utledes at det samme vil gjelde i Norsk klima. Trefiberisolasjon er langt mer diffusjonsåpent enn massivtre. Det kan være en fare for at vanndamp ikke suges opp av trefibrene, men vandrer ut i isolasjonen med fare for kondensering og fritt vann i konstruksjonen. Det er stor usikkerhet knytte til hvordan en slik fuktvandring påvirker mikrobiologisk vekst og fuktskader i diffusjonsåpen konstruksjonen med trefiberisolasjon.

Effekten av en diffusjonsåpen konstruksjon vil variere etter himmelretning og eksponering. Vind og sol har stor betydning for opptørking av konstruksjonen. Antatt størst effekt og minst fare for fuktskader vil være å ha en diffusjonsåpen sørvendt vegg.

Om sør-veggen har en diffusjonsåpen løsning for utnyttelse av sorpsjonsvarme fra fuktvandring, kan andre flater utnyttes til dynamisk ventilasjon. Ved å trekke ventilasjonsluft

gjennom konstruksjonen, vil luftstrømmen fra kald side motvirke varmestrømmen fra varmside slik at varmetapet blir redusert.

Hvor relevant dette er for energiregnskapet, vil avhenge av sammenlikningsgrunnlaget. Sammenliknet med et TEK-17 eller passivhus med god isolasjon, tetting og varmegjenvinning der oppvarmingsbehovet i stor grad er eliminert, er det begrenset mulighet for ytterligere energibesparelser. Konseptet har imidlertid et potensiale for å gi tilsvarende lavt energibehov i «pustende» hus uten dampsperre og balansert ventilasjon.

5.2.Sammenlikning energibehov Hunton testhus

5.2.1 Signifikansnivå for relativ U-verdi

Vi regner forskjeller i relativ U-verdi i størrelsesorden større enn 0,004 for å kunne være signifikant ut fra følgende forutsetninger:

- Temperatursensorer har ifølge leverandør en nominell nøyaktighet på +/- 0,2 grader Celsius.
- Fuktmålere har ifølge leverandør en nominell nøyaktighet på +/- 2 % (relativ fuktighet).
- Strømmålere har en nominell (u)nøyaktighet på +/- 1-1,5 % ved lave strømstyrker.

Strømmålere blir i denne sammenheng et «svakt» ledd. Testhusene er utstyrt med varmekabler med beskjedent strømtrekk og havner i dette nøyaktighetsområdet. Om vi regner med +/- 1 % for energi-målingene vil det resultere i en tilsvarende usikkerhet i relativ U-verdi på +/- 1 %.

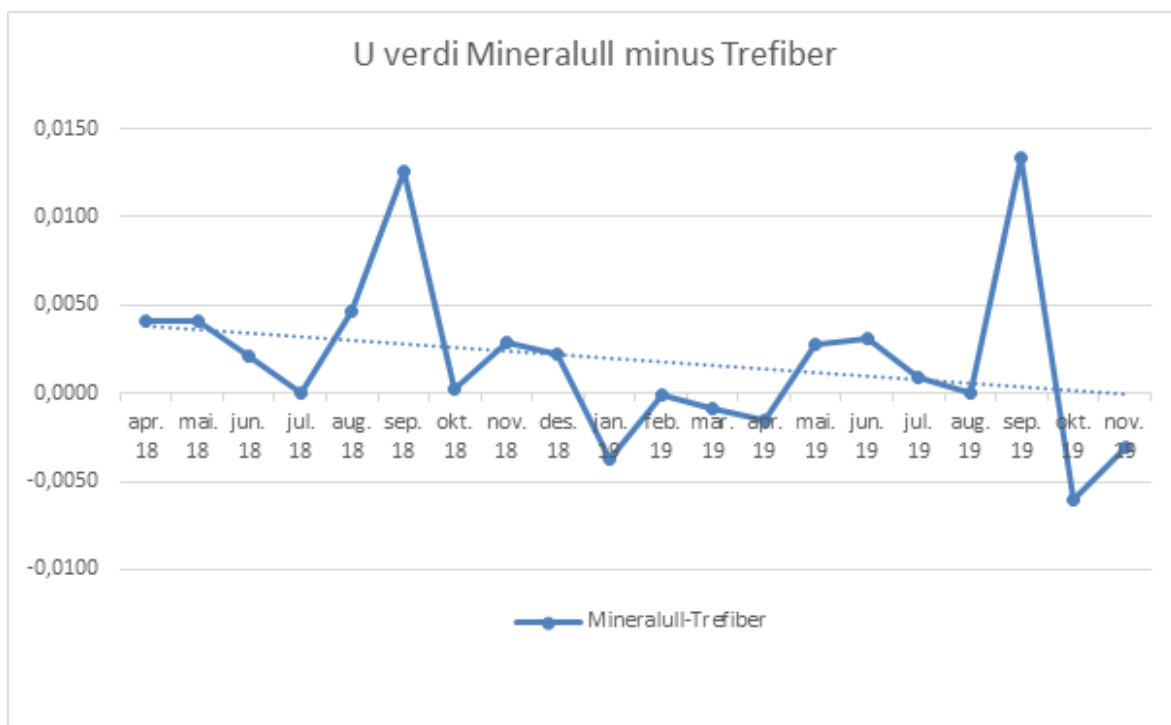
Det forutsettes at det ikke er systematiske forskjeller i materialer eller det håndverksmessige ved husene, og at det vil være minimale forskjeller ved disse, som i sum ikke påvirker måleresultatene.

Med utgangspunkt i unøyaktigheten for strømmålerne nevnt over, kan vi forvente avvik ved maksimalt målt U-verdi (0,18) på 0,0036. Medregnet et lite bidrag fra temperaturmålerne

samt andre tilfeldige avvik, regner vi forskjeller i relativ U-verdi i størrelsesorden større enn 0,004 for å kunne være signifikant.

5.2.2 Forskjeller i relativ U-verdi mellom trefiber og mineralull

Målt relativ U-verdien for månedene med minst solpåvirkning viser tall tilsvarende den statiske U-verdien man kan beregne ut ifra ytterveggen oppbygning. Verdiene ligger i underkant av 0,18 i måleperioden.



Figur 23 Trend for differansen i relativ U-verdi

Figur nr. 23 viser differansen i målte relative U verdier mellom husene bygget med henholdsvis trefiber- og mineralull-isolasjonen for testperioden.

Positive verdier (kurve over x-aksen) indikerer bedre resultat for trefiber-isolasjonen.

Resultatene viser bedre verdier for trefiber-isolasjonen i starten av testperioden enn mot slutten når de sammenliknes med mineralull.

Forskjellene er imidlertid så små at det er vanskelig å betrakte dem som signifikante i et energiregnskap for “fyrings-sesongen” (november til april);

I vintermånedene, er forskjellene i relativ U-verdi innenfor 2 %. Legger vi til grunn en måle- unøyaktighet i sensorer som nevnt over, vil differansene være innenfor den normale toleransen på 0,004 i U-verdi.

Det er tre perioder med målte signifikante forskjeller i relativ U-verdi, dog utenfor “fyrings-sesongen”;

1. September 2018 med en forskjell i favør trefiberisolasjon på 0,013
2. September 2019, også med en forskjell i favør trefiberisolasjon på 0,013
3. Oktober 2019 med en forskjell i favør mineralullisolasjon på 0,006

Det er lagt på en lineær trendkurve for differansen i relativ U-verdi mellom trefiber- og Mineralull-isolasjon. Denne har en differanse på i størrelsesorden 0,004, altså lik den “tillatte” toleransen for måle-utstyret før man kan snakke om signifikans.

Trendkurven antyder et forsprang i isolasjonsevnen til trefiber over mineralull, som blir spist opp i løpet av måleperioden.

Igjen er det ikke mulig å gi en sikker indikasjon på dette, grunnet den valgte toleransen.

Det må likevel anføres at det her forutsetter at toleransen på de to effekt-målerne har beveget seg i hver sin retning fra forskjellige startpunkt. Dette er mindre sannsynlig, for to i utgangspunktet like målere (fra samme produsent).

Det må videre anføres at det ble oppdaget en degradering i dørisolasjonen på test-huset isolert med trefiberisolasjon i vinter (2021). Tilsynelatende hadde en EPS plate som dekket dør-vindu falt ned. Vi kjenner ikke til nøyaktig tidspunkt hvor det har oppstått en forandring i dørisolasjonen. Vi antar imidlertid at dette ikke har skjedd innenfor analyseperioden, da måleresultatene virker relativt konsistente innenfor denne perioden.

5.2.3 September med størst forskjell i relativ U-verdi

September-toppene for forskjell i relativ U-verdi (figur 25) er undersøkt nærmere for en kortere periode. Tabell 3 viser forbrukstall for perioden 11. til 17. september 2018. I perioden før og etter har det ikke vært oppvarmingsbehov, men denne perioden har lavere

nattetemperaturer er det behov for oppvarming. For perioden er forbruket i mineralullhuset 45 % høyere enn i trefiberhuset. Dette skyldes raskere nedkjøling slik at varmebehovet kommer tidligere på natten. I perioden 11. til 15. mai er minimum nattetemperatur mellom 10,3 og 5,4 grader C. Oppvarmingsbehovet oppstår i snitt 7,8 timer senere i trefiberhuset, men varer i snitt 2,2 timer lengere utover formiddagen. Den 16. mai blir det kaldere, med en minimumstemperatur på 3,7 grader C. I denne situasjonen har begge hus samme forbruk, men trefiberhuset har fortsatt en forsinkelse i registret forbruk på fire timer på natten og respektive fem timer på formiddagen.

Det er ikke gjort beregninger av faktisk fuktinnhold i isolasjonen og om opptørking på dagtid er med på å forlenge oppvarmingsbehov for trefiberhuset, samtidig som økt fuktighet utenfra avgir sorpsjonsvarme på kveld/natt. Selv om situasjonen samsvarer med Mitchell som hevder at energilagring i konstruksjonen (termisk masse) bare har en signifikant effekt om temperaturforsjekkene inne/ute er mindre enn 9 grader C (Mitchell, 1989), er det usikkert om det er tilstrekkelig termisk masse i testhuset til å forklare forskjellene.

I og med at det er oppvarmingsbehovet i trefiberhuset helt frem til kl. 12, ville vinduer med solinnstråling kunnet redusert oppvarmingsbehovet på formiddagen.

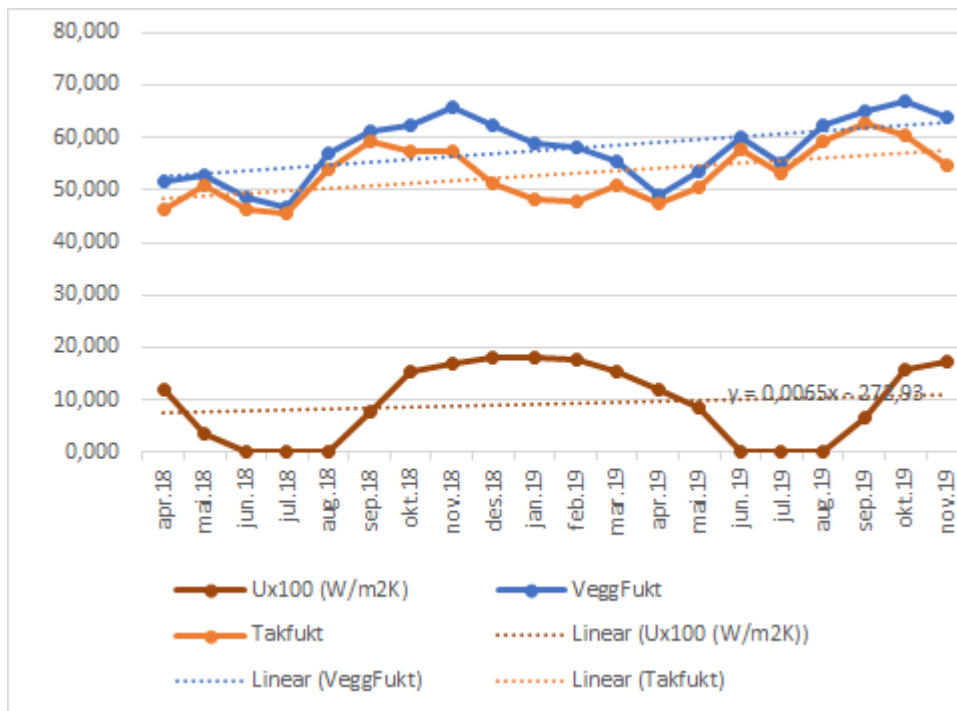
Tilvarende forsinkelse i varmegjennomgang er registrert for oppvarming av testhusene på varme sommerdager. For den varme perioden 13.-20. mai 2018 (Figur 13) har trefiberhuset varmetopper på dagtid som ligger 5-6 grader C lavere enn mineralullhuset samtidig som varmetoppen forsinkes to til tre timer. Dette kan ha betydning for kjølebehov og muligheten for å opprettholde komfortabelt inneklima med naturlig kjøling.

5.2.4 Fukt og relativ U-verdi

I figurene under viser vi de varierende målte relative U-verdier gjennom året kombinert med målinger for fuktinnhold i isolasjonen.

For å vise relativ U-verdier sammen med relativt fuktinnhold i samme figur, er U-verdiene multiplisert med faktor 100.

Trefiberisolasjon

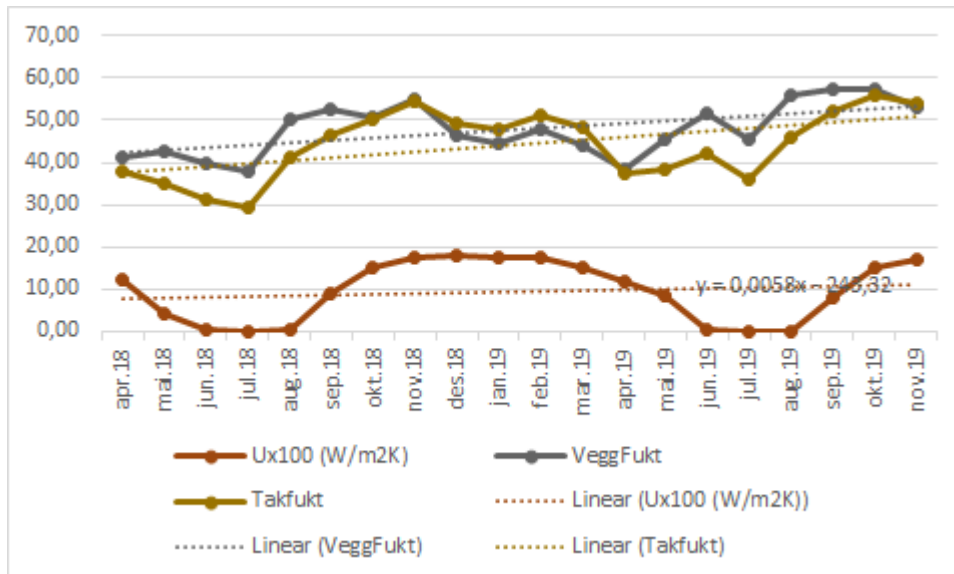


Figur 24 Trender trefiberisolasjon

Det er lagt på en lineær trendkurve for fuktinnhold i isolasjonen. Den viser en akkumulering av fukt i isolasjonen gjennom måleperioden. Trenden bekreftes av per måned (april-november) sammenlikning mellom årene 2018 og 2019.

Det er også lagt på en lineær trendkurve for relativ U-verdi i måleperioden.

Mineralull



Figur 25 Trender mineralull

Det er tilsvarende lagt på en lineær trendkurve for relativt fuktinnhold i mineralull-isolasjonen. Også denne typen isolasjon viser en akkumulering av fukt i isolasjonen gjennom måleperioden. Trenden bekreftes også her av per måned (april-november) sammenlikning mellom årene 2018 og 2019.

Det er også her lagt på en lineær trendkurve for U-verdi i måleperioden.

Vi observerer at fuktinnholdet synes å øke gjennom hele perioden for både trefiber- og mineralull-isolasjonen.

Ut fra trendkurve, kan det synes å være en korrelasjon mellom fuktinnhold i trefiber-isolasjonen og målt relativ U-verdi, men usikkerheten som stammer fra (u)nøyaktigheten i måleinstrumentene gjør dette vanskelig å slå fast med nødvendig grad av konfidens.

Oktober er den måned i året med høyest relativ luftfuktighet (RF) i isolasjonen. Dette sammenfaller med den signifikante forskjellen i målt relativ U-verdi for oktober 2019. Selv om fuktnivået var nesten like høyt i 2018, fikk ikke dette tilsvarende utslag på målt relativ U-verdi. Det er vanskelig slå fast en sammenheng på grunnlag av data fra en måned og uten videre tester.

Om vi sammenlikner trendkurvene for U-verdier for de to isolasjonstypene finner vi at trefiber-isolasjonen har et høyere stigningstall enn tilsvarende for mineralull;

- Trefiber-isolasjon: $y = 0,0065x$
- Mineralull-isolasjon: $y = 0,0058x$

Om det er en korrelasjon mellom isolasjonsevne og fuktinnhold, kan det ut fra disse tallene se ut som mineralullen beholder isolasjonsevnen bedre med økende fuktighet. Forskjellene er dog små, og med unntak av oktober 2019 resultatet, ikke utenfor den normale unøyaktigheten til måleutstyret. Andre studier viser at varmeledningsevne for trefiberisolasjon påvirkes neglisjerbar innenfor det nivået vi har målt (Gullbrekken, 2019), (Palumbo, 2016).

5.2.5 Hunttons testhus-resultater opp mot annen forskning

Hunton-testhusene er bygget likt og med samme varmeledningsevne (λ -verdi). Uten en hygrottermisk effekt, vil det forventes å finne det samme energiforbruket i husene gitt samme innetemperatur. Om energibruk er ulikt, vil det kunne bety at isolasjonen i husene har ulike egenskaper i praktisk bruk enn det som kommer frem ut ifra beregnet statistisk varmeledningsevne.

Forskingen som er gjennomgått i kapittel 4 viser at den forventede dynamiske effekten er minst i den kalde årstiden. Det er heller ikke målt noen effekt av trefiberisolasjonens dynamiske U-verdi sammenliknet med mineralull gjennom vinteren. Da vinterperioden står for det alt vesentlige av oppvarmingsbehovet, er det heller ikke målt vesentlig forskjell på årsbasis i testhusene.

Fra litteraturgjennomgangen vil vi forvente å finne ulikheter gjennom vår og høst i tillegg til på varme sommerdager. Dette stemmer med faktisk målte resultater i testhusene. Her er det september som utpeker seg med forbedret U-verdi for trefiberisolasjon, som det går frem av Figur 23 Trend for differansen i relativ U-verdi . Målt dynamisk U-verdi for trefiber er litt bedre i vårmånedene sammenliknet med mineralull, men vintermånedene viser liten forskjell. Også forsinket oppvarming på varme sommerdager som beskrevet i kapittel 4.1.5 er som forventet. Den målte forbedring i relativ U-verdi sammenliknet med mineralull, kan forklares med trefiberisolasjonens evne til å til lagre varme som omtalt i kapittel 4.2.1 og 4.2.2. Effekten av varmelagring både vår, sommer og høst ville kunne vært forsterket om husene ble

luftet med varm luft på dagtid vår og høst, og kjølt ned med kjølig luft på nattestid om sommeren.

En forbedring av U-verdi som følge av diffusjon som beskrevet i kapittel 4.2.3 kan vi ikke forvente å finne i testhusene. Dette følger av hvordan testhusene og forsøket er satt opp. Testhusene er utført med dampsperre og god tetting slik at det er minimalt med utveksling av fukt mellom rommet og isolasjonen. Det er heller ingen fukt-produksjon i testhusene som kan gjenspeile normal fuktbelastning i en bolig. Det som finnes av innvendig fukt, er et resultat av infiltrasjon.

Disse forholdene gjør at det ikke kan forventes å se noen hygrotermisk effekt basert på transport fra innsiden av husene. I andre undersøkelser, er et slik oppsett (med dampsperre) brukt som referanse ved varmefluksmålinger for å påvise av hygroskopiske effekter i massivtre (Mestad, 2019). Man kan da ikke forvente å finne en hygrotermisk forskjell mellom trefiber og mineralull på vinterstid.

5.3. Sammenligning av miljøpåvirkning for trefiber- og mineralull-isolasjon

Med økt miljøbevissthet i samfunnet, brukes EPD'er oftere for sammenligning i bygningssammenheng. Her vurderes trefiber-isolasjon i forhold til mineralull. Stemmer det at trefiber er mer miljøvennlig enn andre isolasjonstyper, fordi det er laget av et fornybart materiale, eller er mineralull best siden det er laget med mye resirkulert materiale og har lavt materialforbruk (lav egenvekt) per funksjonell enhet (FU)?

Det at Glava bruker 53 % resirkulert materiale og Hunton et restprodukt fra et fornybart materiale, er bra med hensyn på den sirkulærøkonomiske tankegangen.

Begge jobber med gjenbruk av avfall i produksjonen. Glava opplyser at noe svinn fra produksjon går til produksjon av lecauler. Hunton tar svinn fra produksjon inn i ny produksjon. I begge livssyklusanalyser går produktet etter endt livsløp, modul D, til oppvarming, og de får et trekk av miljøpåvirkning i slutfasen for å erstatte annen energi.

Dersom de klarer å utnytte produktene sine bedre til gjenbruk, vil begge komme bedre ut når det gjelder miljøpåvirkning. Jo lengre produktet er i den sirkulære banen før det blir deponert, jo bedre er det for miljøet.

Sirkulærøkonomiens første prinsipp om å bevare og forsterke naturkapital ved å begrense bruken av ikkefornybare ressurser vises i LCA som ADPE. Her viser EPD'ene at Glava har lavest forbruk. Dette er ikke umiddelbart forståelig for oss. Hunton bruker i all hovedsak tre som er et fornybart materiale og vannkraft til produksjon, mens Glava produseres av glass og bruker LNG i produksjonen.

Det andre prinsippet som går på kvalitet, reparasjon og levetid, er likt for begge. Produktet trenger ikke å repareres når de er montert og har minst like lang levetid som bygget og settes til 60 år. Det er enkelt å skifte ut plater og supplere med nye lag.

Når det gjelder prinsipp nummer 3, jobber begge med å fjerne negative eksternaliteter, og de har ingen stoffer som er på REACH kandidatliste eller den norske prioritetslisten over farlige stoffer. Treflis kan ikke sies å være en knapp resurs så lenge tilveksten av norsk skog er større en uttaket. Uttak av stein for produksjon av glass er heller ingen knapp resurs. Et annet relevant spørsmål vil være; hvordan kan trefiberisolasjon og glassull gjenbrukes for å utvide sirkulærbruken og ikke være siste ledd i kjeden?

5.3.1 Gir EDP et godt sammenligningsresultat?

Betydning av valgt allokering og energimiks

Valg av energimiks og allokering er avgjørende for utfallet i en LCA. Dette gjør at Saint-Gobain produktet kommer dårligere ut i sammenligningen, da de har brukt svensk energimiks som ikke er like ren som den norske energimiksen. Det samme gjelder Rockwool, som har en blanding av dansk og norsk energimiks, da de har slått sammen produksjonen i sine danske og norske bedrifter til en LCA. Både Hunton og Glava har brukt nasjonal produksjonsmiks fra Ecoinvent for bruk av elektrisitet i produksjonsfasen. Dette kan virke spesielt, da en del av energien i Glavas produksjon kommer fra LNG (Galaasen, 2019) og Hunttons energi kommer fra vannkraft. Dette burde gi forskjellig uttelling i miljøpåvirkning, spesielt med tanke på abiotisk uttømmingspotensial av fossile resurser. Energimiksen i LCA programmene ser ikke bare på hvor elektrisiteten kommer fra, men tar også med seg utslipp til bygging av kraft-

linjer og vedlikehold av disse. I den norske energimiksen kommer 98 % fra fornybare kilder, mens den svenske energimiksen som er benyttet hos Saint-Gobain er 54 % fra fornybare kilder.

Det som gjør sammenligningen vanskeligst er allokeringen, tildelingen av miljøpåvirkningen til forskjellige produkter. Glava bruker masseallokering og Hunton bruker økonomisk allokering. Kan dette sammenlignes? Glava sier at de har brukt 53 % resirkulert glass, og allokert miljøpåvirkningen til opprinnelsesproduktet. Hunton har brukt økonomisk allokering som går ut på en tildeling av miljøpåvirkninger etter utsalgspris til produktene som deler materialet. Vi har ikke fått tilgang til informasjon om hvordan dette er regnet ut. Rockwool bruker 17% resirkulert materiale i sin LCA. En kritikk mot allokering er at den er lite gjennomiktig og vanskelig å etterprøve. Dette kan ha utfall i resultatet av sammenligningen.

Betydning av biogent karbon i organiske materialer

Et annet viktig og relevant tema i denne sammenligningen, er biogent karbon. Planter tar opp CO₂ fra atmosfæren og binder karbonet. Dette karbonet frigjøres igjen som CO₂ når det organiske materialet brytes ned. Det er diskusjoner om hvordan dette skal behandles. Vi har valgt å ta det med inn i sammenligningen og derfor valgt en vugge til grav sammenligning. Det vil si at trefiber starter med negativ påvirkning på CO₂ i produksjonsfasen, da opptak av CO₂ i vekstfasen til treet er større enn forbruk av CO₂ ved produksjon. Dette karbonet vil bli sluppet ut igjen i avviklingsfasen (C3) og det er derfor denne er så stor for trefiber. Det er ifølge standarden slik en kan sammenligne produkter med og uten biogent karbon. Dersom en bare hadde tatt en vugge til port sammenligning, måtte en sett bort fra det biogene karbonet.

I en situasjon med behov for store og raske kutt i CO₂-utslippene er det er en stor fordel at vi kan lagre CO₂.

Et bygg vil ofte bestå lenger 60 år som er tidsperioden for de sammenlignende LCA'ene og det vil trolig komme mye bedre metoder for behandling sortering, gjenbruk og gjenvinning av bygg avfall i fremtiden. Dette vil gi en saktere øking i klimaendringer, og det er mulig midlertidige lagre kan bli permanente. Det er derfor gode argumenter for at CO₂ som først blir sluppet ut om 60 år burde få bedre gevinst i LCA'ene. Andre mener at et så langt tidsperspektiv er urealistisk, vi skifter ut en stor del av materialet lenge før denne tid. Enkelte studier viser at isolasjonsmaterialer fra saktevoksende materialer som norske trær har mindre

miljøfordel enn isolasjonsmaterialer fra mer hurtigvoksende materialer. En er da avhengig av at isolasjonens levetid er lang for å kunne forsvare miljøgevinsten fra det opptatte CO₂.

Sammenligning av inputverdier i LCA og PCR

Transport og energiforbruk til transport er et vesentlig område i forhold til miljøpåvirkning. Hunttons trefiberplater er tyngre og mindre komprimerbare enn Glavas glassullplater. De krever derfor mer energi i transport per kvadratmeter materiale. En annen faktor som påvirker er at Hunttons isolasjon trenger litt mer materiale per kvadratmeter for å få samme varmeledningsevne.

Når vi studerer inputverdiene til LCA beregningen ser vi at det er en del forskjeller som gjør sammenligningen vanskeligere. De opererer med forskjellige transportavstander både fra produksjon til byggeplass og fra byggeplass til avfallsbehandling (A4 og C2). Hunton har regnet med 300 km fra fabrikk til byggeplass slik PCR for isolasjon i Norge tilsier, mens Glava har brukt 230 km. For transport fra byggeplass til avfallsbehandling har Hunton regnet med 85km mens Glava har regnet med 25 km. PCR sier en skal finne dette fra statistikk, og vi har regnet med 50 km for alle i den omregnende versjonen. Bare Hunton inkluderer energiforbruk ved installasjon. Det krever mer energi å sage til Hunttons trefiberisolasjonsplater enn å skjære til Glavas glassullisolasjonsplater. For innblåst tre-fiber har Hunton regnet med diesel-aggregat som strømkilde for innblåsing av trefiberne på byggeplass, mens Glava har antatt dette som neglisjerbart. Miljøpåvirkningen er trolig regnet inn i multiplikasjonsfaktoren på 1,5. Det samme gjelder ved rivning. Bare Hunton har inkludert alle nivåene i avfallsbehandlingen (mocu C). I en e-post til EPD Norge spurte vi; «Hvorfor regnes et materialsvinn i modul A5 som neglisjerbar for Glava i Askim og på 5 % for Glava Saint-Gobain, Sverige? Det er jo i prinsippet samme produkt?». Svaret fra daglig leder Håkon Hauan var:

Handlingsrommet i EPD systemet og PCR gir denne muligheten. Det kan også være litt forskjellig praksis mellom land. Det mangler fortsatt noe på 100% harmonisering mellom EPDer.

Miljødeklarasjonene må standardiseres bedre for at de skal kunne gi et godt sammenliggs grunnlag for byggherrer. Når det er mulig å benytte forskjellige inputverdier og ikke følge alle produktkategorireglene for produktet blir resultatet usikkert.

Glava og Rockwool har en samlet EPD for sine produkter, dvs. at de har samlet resultatene fra hele produksjonen sin i en EPD og tildelt forskjellige produkter en multiplikasjonsfaktor for å få miljøpåvirkningen til hvert produkt. For Glava innblåst er faktoren 1,5 og for Rockwool er den 2,5. Hunton har en EPD for platene og en EPD for de innblåste fibre. Hos Rockwool og Glava kommer platene best ut, mens hos Hunton kommer innblåst isolasjon best ut. Det kan komme av produksjonsprosessen til Hunton der trefibre i platene igjen fuktes for at de skal bruke treets «eget lim» for å lime seg sammen, og igjen tørkes. En prosess som krever mer energi. Hos Rockwool og Glava vil de innblåste produktene kreve mer i monteringsfasen.

5.3.2 Sammenligning av GWP og ADPE i LCA

Det viser seg at den sirkulære tankegangen har mye å si for utfallet av LCA, da 53 % av Glavas materialforbruk er allokert til tidligere produkter. Skulle de tatt alle miljøpåvirkningene selv, ville de blitt tilnærmet dobbelt så store i modul A1. Hvordan allokeringen har påvirket Hunttons produkter og de andre produsentene kjenner vi ikke til.

Ved første øyekast på produktenes EPD'er som er laget på grunnlag av LCA, ser det ut som glassull kommer best ut både med tanke på utslipp av klimagasser som påvirker global oppvarming og forbruk av ikke fornybare ressurser. Men flere av innputverdiene er forskjellige. Når vi justerte resultatene i LCA beregningen, viser det seg at Glavas mineralullplater fremdeles kommer best ut med tanke på forbruk av fossil energi (ADPE), mens Hunton innblåst leder knapt (13 %) med tanke på global oppvarmingspotensiale (GWP).

Sammenligner vi Glavas plate fra Norge med Glavas plate fra Saint Gobain (Sverige), ser vi at Saint Gobain har nesten dobbelt så stor påvirkning på GWP og tre ganger så stor påvirkning på ADPE. Svensk energimiks er ikke preget av like mye fornybare ressurser som den norske energimiksen. I tillegg har Saint Gobain har lenger transportavstand fra produksjonsbedrift til byggeplass i Norge og har ikke allokert til gjenbrukt glass.

Når vi sammenligner den innblåste isolasjonen med platene, ser vi at Hunttons innblåste produkt kommer bedre ut enn Hunttons plate. Hos Glava og Saint Gobain er dette motsatt. Dette kommer trolig av transport, mens hos Hunton er prosessen med å fukte og presse trefibre sammen igjen for å bruke treets naturlige lim energikrevende og platene kommer derfor dårligere ut enn innblåst trefiber.

6 Konklusjoner og perspektiver for videre arbeid

6.1. Funn mot innledende problemstilling

1) Forsøk og forskningsarbeider viser at den hygrotermiske effekten i tre/trefiberisolasjon kan ha signifikant betydning for energibehovet i et bygg.

Funnene fra Hunttons testhus samsvarer i all hovedsak med andre forsøk og forskning. Den hygrotermiske effekten er størst for et inn klima der varme og luftfuktighet varierer over døgnet. Praktisk realisering av energisparing vil være størst i perioder med store forskjeller i ute-temperatur og relativ luftfuktighet mellom natt og dag, slik at akkumulert fukt på natt tørkes ut på dagtid. Det vil si at potensialet er størst i temperert og semi-arid klimasoner, som Middelhavsklima. For norske forhold er potensialet for energisparing i konvensjonelle bygg neglisjerbart i vinterklima med kontinuerlig oppvarmingsbehov, som utgjør det alt vesentlige av oppvarmingsbehovet gjennom året. Vår og høst vil hygrotermiske effekter kunne medvirke til besparelser.

Det teoretiske grunnlaget for energisparing, på opptil 20 %, er i liten grad dokumentert i praktisk bruk. I og med at det er snakk om prosesser som tar opp og avgir energi, vil energisparingen ved bruk av hygrotermiske materialer kunne reduseres og nulles ut av den hygrotermiske kapasiteten som allerede finnes i inventar, bruksmønster for bygget, lave toleransegrenser for variasjoner i fukt og temperatur, annen varmepåvirkning og ikke minst hvordan alle prosessene samvirker. Det vil være svært krevende og måtte gjøres mange forutsetninger for en beregning av eventuelle besparelser som knyttet til hygroskopisk isolasjonens dynamiske verdier brukt i konvensjonelle bygg.

For bygg med diffusjonsåpne konstruksjoner kan effekten være større og muligheten til å realisere energisparing bedre, ved å ta hensyn til de hygrotermiske effektene i utførelse og drift. Dette kan representere et alternativ som kan gi lavt energiforbruk uten bruk av dampspærre og balansert ventilasjon. Dette er et aktuelt forsknings- og utviklings-tema for

massivtre, men også for trefiberisolasjon, selv om en slik konstruksjon medfører behov for økt oppmerksomhet på faren for fuktskader.

2) Vi har ikke funnet signifikante forskjeller i målt energiforbruk i Hunton Fiber's testhus som underbygger antagelsen om at trefiberisolasjonens hygrottermiske egenskaper vil påvirke energibehovet på årsbasis

Vi finner ingen signifikante forskjeller i målt relativ U-verdi i fyrings-sesongen (november-mars) for test-husene som er isolert med henholdsvis trefiber og mineralull.

Størst forskjell er i september (2018 og 2019) der trefiberisolasjon presterer bedre. Dette skyldes trolig hygrottermiske effekter som bidrar til at temperaturen i huset endres saktere. Energisparing i september kommer som følge av mindre oppvarmingsbehov i kalde netter. På samme måte reduseres og forsinkes varmetoppene på varme dager.

Vi finner bedre verdi for mineralull i oktober og spesielt et signifikant avvik i oktober 2019. Dette er den måneden med høyest fuktnivå i isolasjonen for hele måleserien, men vi har ikke funnet signifikant sammenheng mellom fuktinnhold og isolasjonsevne.

Utover disse 3 månedene er det ikke signifikante forskjeller, og vi konkluderer med at prestasjonen til de to isolasjonstypene er lik på årsbasis for dette test-oppsettet.

Vi konkluderer videre at test-oppsettet ikke er rigget for å kunne fange opp eventuelle forskjeller i energibehov som kan tilbakeføres til hygrottermiske effekter ved isolasjonen.

Dette på grunn av;

- Bruk av fuktsperre gjør at det ikke er fuktopptak fra innsiden til isolasjonen, denne er kun utsatt for svingninger i fuktinnholdet i uteluften
- Det er ikke fuktproduksjon i testhusene som kan skape naturlig fuktbelastning
- Det er ikke ventilasjon som kan, om den styres optimalt, virke forsterkende
- Det er ikke vinduer som kan slippe inn solvarme for opptørking/varmelagring.

3) Miljøpåvirkningen fra trefiberisolasjon i et livsløpsperspektiv sammenliknet med mineralull viser at Hunton trefiber innblåst har lavest GWP mens Glava plater har lavest til ADPE

En sammenlikning av isolasjonsprodukters miljøegenskaper ut ifra produktenes EPD'er gir ikke tilstrekkelig informasjon til å kunne rangere produktene. Produsentene har brukt ulike forutsetninger og lagt inn ulike transportavstander, vurdering av svinn og energi til rivning og avfallsbehandling. Ved å justere dette, vil livsløpsanalysen være noe bedre egnet for sammenlikning.

Produktdeklarasjoner viser at Hunton Trefiber innblåst har lavere globalt oppvarmingspotensial (GWP) og bruk av fossile ressurser enn Hunton isolasjonsplater. For Mineralull, har plater lavere oppvarmingspotensial og fossil ressursbruk enn innblåst isolasjon.

Uten korreksjon har Glava plate og "Hunton innblåst" lavest GWP (Glava plate = 0,4816 og Hunton innblåst = 0,4621 kg CO₂ eq/FU) og Glava plate lavest fossil ressursbruk. Med korreksjon har Hunton innblåst 13 % lavere verdier for GWP sammenliknet med Glava plate og 41 % lavere sammenliknet med Glava innblåst. Også etter korreksjon har Glava plate lavest fossil ressursbruk.

Allokering og CO₂-faktorer for strøm, vil kunne ha avgjørende betydning for det endelige resultatet. Vurderingene er i stor grad opp til konsulenten/bedriftens skjønn, og vurderingene er ikke offentlig tilgjengelig slik at dette ikke har vært mulig å vurdere i denne oppgaven.

Trefiberisolasjon inneholder biogent karbon som lagres i hele byggets levetid. I en EPD forutsettes det at produktet går ut av bruk etter 60 år og at karbonet da frigjøres i forbrenning/nedbrytning. Gitt at trevirke kommer fra bærekraftig skogbruk, blir dette en 0-sum i EPD sammenheng. Om produsenten utvikler metoder for ombruk eller materialgjenvinning vil det kunne medføre en vesentlig lagring av CO₂ fra trefiber brukt i byggeisolasjon.

6.2. Forslag til videre arbeid

Fase to for forsøket på Hunton-stranda

Hunton Fiber AS har i sitt første testoppsett tatt utgangspunkt i tradisjonell konstruksjon med dampsperre med tanke på å kunne justere og videreutvikle forsøket basert på erfaringene som gjøres.

Litteraturgjennomgangen viser at de hygrotermiske effekter har størst potensial for energisparing om det ikke bare magasineres fukt og varme, men også er gjennomgang av fukt i konstruksjonen. Redusert bruk av dampsperre sammenfaller også med en populær oppfatning av kvaliteter knyttet til “pustende” hus. Trefiberisolasjon har god evne til å bufre og lede fukt, men det mangler forsøk og dokumentasjon på diffusjonsåpne konstruksjoner.

En fase to av forsøket på Hunton-stranda bør bygge videre på resultatene fra den noe tilfeldig observerte sorpsjonsvarmen som oppsto ved fuktgjennomgang i Grenoble-huset, som beskrevet i kapittel 4.1.3. Dette kan gjøres ved at dagens trefiber-testhus med dampsperre beholdes som referanse, samtidig som mineralullhuset bygges om til et trefiberhus med en mer diffusjonsåpen løsning. Her bør det også undersøkes effekten av ulik himmelretning. Dette kan gjøres ved å fjerne dampsperre først på sør-veggen og så suksessivt på andre veggene. For å få et realistisk bilde av fukttransport, må husene tilføres fukt i vinterhalvåret. Fuktnivået i konstruksjonen overvåkes og energimålingene videreføres.

Ved lovende resultater fra et slik forsøk, bør tilsvarende forsøk gjøres i fullskala for å verifisere om samme virkning kan oppnås i et normalt bygg med inventar og normalt bruksmønster.

Forslag til forbedret GWP og ADPE for trefiberisolasjon i LCA

I EPD'en til Hunton kommer det fram at de på tidspunktet for LCA beregningen var i en oppstartsperiode for den nye fabrikken med høyt energiforbruk per produserte enhet. Med mer kontinuerlig produksjon bør en ny EPD utarbeides.

Videre undersøkelser rundt allokeringen til Glava og Hunton kan være avgjørende for resultatet i sammenligningen. Produsenter vil ha gevinst i LCA ved å bruke resirkulert

materiale i tillegg til, eller istedenfor, et restprodukt, da en del av miljøpåvirkningen vil gå til opprinnelsesproduktet.

Forslag til forbedring av EPD'er som sammenlikningsgrunnlag

Bare EPD'er som følger PCR bør bli godkjent. Dersom de ikke følger PCR er sammenligningen meget komplisert for bruker, og kan lett misforstås.

Opplysninger om hvordan allokeringen er beregnet, bør inngå da dette har mye å si for resultatet av LCA'en. Det samme gjelder valg av energimiks og CO₂-faktoren som er tillagt elektrisk energi.

Litteraturliste

- ASPHAUG, E. A. 2015. Kunnskapsstatus -Fuktbufring i materialer og påvirkning på energibehov. . *ZEB Project report 22 – 2015*. ZEB Research Centre on Zero Emission Buildings.
- BALCOMB, D. 1992. *Passive Solar Buildings (Solar Heat Technologies)*
- BIANCOA, L., POLLOB, R., SERRAA, V. Wood fiber vs synthetic thermal insulation for roofs energy retrofit: a case study in Turin, Italy. 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, 2016 Turin.
- BOONYARTIKARN S, S. S. R. 1990. Fiberglass vs Cellulose insulation Installed Performance. University of Colorado School of Architecture and Planning
- BOZSAKY, D. 2019. Nature-based thermal insulation materials from renewable sources - A state-of-the-art review. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 27-2019.
- BYGGFORSK 1995. Dynamisk isolasjon Teori og prinsippbeskrivelse. *Byggforskserien*.
- BYGGFORSK 2020a. Varmeisolasjonsmaterialer. Typer og egenskaper.
- BYGGFORSK 2020b. Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer.
- DRAKE, S. 2021. Vi ønsker oss et pustende hus. *Villa Løkke* [Online]. Available from: <https://www.teamdrake.no/hus-som-puster/>.
- EIENDOM, G. B. O. N. 2016. Eiendomssektorens veikart mot 2050.
- EPD_NORGE 2012. PCR – Part B for Thermal insulation products. *PRODUCT CATEGORY RULES, EN 15804*.
- EPD_NORGE 2017. NPCR Construction products and services – Part A.
- EPD_NORGE 2019a. Glava glassull.
- EPD_NORGE 2019b. ROCKWOOL stone wool thermal insulation.
- EPD_NORGE 2020. Hunton Trefiberisolasjon Innblåst.
- EPD_NORGE 2021. General Programme Instructions for The Norwegian EPD Foundation.
- FACHAGENTUR, N. R. E. V. 2021. *Marktanteil von Nawaro-Dämmstoffen wächst* [Online]. Available: <https://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/marktanteil-von-nawaro-daemmstoffen-waechst> [Accessed].
- FAMILIEDEPATEMENTET, B.-O. 2001. Forskrift om sammenliknende reklame
- GALAASEN, O. 2019. Reduserer klimaavtrykket med bærekraftig isolasjon. *Fremtidens byggenæring*.
- GLAVA. 2020. *Biprodukter fra glassull får nytt liv i LECA* [Online]. <https://www.glava.no/aktuelt/glava-glassull-resirkuleres-til-leca-kuler>: Glava AS. [Accessed 25.02.2021].
- GOBSON, S. 2017. Fiberglass and Cellulose Makers Tangle Again. Available: www.greenbuildingadvisor.com/article/fiberglass-and-cellulose-makers-tangle-again.
- GULLBREKKEN, L., . GRYNNING, S., GAARDER, J. 2019. Thermal Performance of Insulated Constructions—Experimental Studies. *Buildings*.
- HOWARD, M., HOPKINSON, P. & MIEMCZYK, J. 2019. The regenerative supply chain: a framework for developing circular economy indicators. *International Journal of Production Research*, 57, 7300-7318.
- HØSEGGEN, R. 2008. *Dynamic use of the building structure - energy performance and thermal environment*. Doctor, NTNU.
- IMBABI, M. S.-E. 2012. A passive–active dynamic insulation system for all climates. *International Journal of Sustainable Built Environment*.

- INSULATIONINSTITUTE.ORG. *Independent reviews discredit Colerodo study* [Online]. [Accessed].
- ISO 2006. ISO 14040:2006 Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk
- KATAVIC, I., NORE, K., AURLIEN, T. 2014. Measured moisture buffering and latent heat capacities in CLT test houses. *The 35th AIVC, Ventilation and airtightness in transforming the building stock to high performance*. Poznan.
- KLÖPPFER, W., GRAHL, B. 2014. *Life Cycle Assessment (LCA) : a guide to best practice*.
- KRANIOTIS, D., NORE, K. 2017. Latent Heat Phenomena in buildings and Potential Integration into Energy balance. *International Conference on Sustainable Synergies from Buildings to the Urban Scale, SBE16*.
- LABATABC, M., WOLOSZYND, M., GARNIER, G., ROUXA, J. 2015. Dynamic coupling between vapour and heat transfer in wall assemblies: Analysis of measurements achieved under real climate. *Building and Environment*, 87, 129-141.
- LCA.NO. 2021. *Miljøpåvirkninger* [Online]. Available: <https://lca.no/miljopavirkninger> [Accessed].
- LUNDE, E. 2014. *Trefiberbasert isolasjon i bindingsverksvegger*. Masteroppgave, NTNU.
- MACARTHUR, E. 2013. Towards the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 2, 23-44.
- MAGWOOD, C. 2019. *Opportunities for Carbon Dioxide removal and storage in building materials* Master, TRENT UNIVERSITY.
- MARKNADSDOMSTOLEN, S. T. P.-O. 2020. PMT 6297-18. 23.10.2020.
- MESTAD, G. 2019. *Feltmålt varmekraft gjennom krysslåst tre*. Master, NMBU
- NORE, K. 2014. Treoverflater gir energisparing – effekt av hygrottermiskmasse. *Bygningsfysikkdagen*.
- OSANYINTOLA, F., SIMONSON, C. 2006. Moisture buffering capacity of hygroscopic building materials: Experimental facilities and energy impact. *Energy and Buildings*, 38.
- PALUMBO, M., LACASTA, AM, HOLCROFT, N, SHEA, A & WALKER 2016. Determination of hygrothermal parameters of experimental and commercial bio-based insulation materials. *Construction and Building Materials*, Vol 124, 269 - 275.
- PALUMBO, M, L., . A. GIRALDO, M.P. HAURIE, L. CORREAL, E. 2018. Bio-based insulation materials and their hygrothermal performance in a building envelope system (ETICS). *Energy & Buildings*, 174, 147-155.
- PAUSTIAN, R. 2021. *RE: Personlig meddelelse*.
- PIOT, A., WOLOSZYN, M., BRAU, J., ABELE, C. 2011. Experimental wooden frame house for the validation of whole building heat and moisture transfer numerical models. *Energy and Buildings*, 43.
- RODE, C., . PEUHKURI, R., TIME, B., SVENNBERG, S., OJANEN, T. 2007. Moisture Buffer Value of Building Materials. *Journal of ASTM International*, 4.
- RØNNING, A., LYNG, K-A., VOLD, M. 2011. Kunnskapsplattform for beregning av klimabelastning fra bygg og byggematerialer. Litteraturstudie.
- SBUF, S. B. U. 1996. Småhus med dynamisk motstrømsisolering - utverdering. *SBUF Informerar Nr 96:09*.
- SCHLANBUSCH, R. D., FUFA, S. M., SØRNES, K. & KRISTJANSDOTTIR, T. 2014. Energi-og klimagassanalyse av isolasjonsmaterialer.
- STANDARD_NORGE 2011. NS-EN 15978:2011 Bærekraftige byggverk. Vurdering av bygningers miljøprestasjon. Beregningsmetode.
- STANDARD_NORGE 2012. NS-EN 15804:2012 Bærekraftige byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer.

- STANDARD_NORGE 2014. NS-EN 16485:2014 Tømmer og skurlast - Miljødeklarasjoner - Produktkategoriregler for tre og trebaserte produkter til bruk i byggverk.
- STEICO 2020. Summer heat protection
- TELLNES, L. 2015. Systemgrenser i LCA av treprodukter. *Halvdagsseminar - Systemgrenser for miljøvurdering av byggematerialer*. Dokkhuset, Trondheim, 1. oktober 2015.
- THUE, J. 2016. *Bygningsfysikk*, Fagbokforlaget.
- THUNE, G. O. 2002. *Fukt i bygninger*.
- UNFCCC. 2021. *Global warming potential* [Online]. Available: <https://unfccc.int/process/transparency-and-reporting/greenhouse-gas-data/greenhouse-gas-data-unfccc/global-warming-potentials> [Accessed].
- WALLENTEIN, P. 1998. Heat Flow in Building Components, Experiment and Analysis. Lund Institute of technology
- ZHANG, M., RODE, C 2017. Moisture buffering phenomenon and its impact on building energy consumption. *Applied Thermal Engineering*, 124, 337 - 345.
- ØSTLANDSFORSKNING, S. 2021. Available: <http://www.sto-projects.com/lcakurs/index7.asp> [Accessed].

7 Vedlegg

7.1. Måledata testhus

Tabell 6 Måledata trefiberisolasjon

Periode	Forbruk	snitt effekt	Utetemp	MidtTemp	DeltaTemp	m2	Koeffisient (W/K)	Ux100 (W/m2K)	VeggFukt	Takfukt
apr.18	39,2	54	3,1	14,4	11,3	40	4,825	12,062	51,5	46,3
mai.18	4,5	6	15,2	19,3	4,1	40	1,470	3,675	52,8	51,1
jun.18	0,0	0	18,0	21,5	3,5	40	0,000	0,000	48,5	46,2
jul.18	0,0	0	23,0	26,4	3,4	40	0,000	0,000	46,8	45,4
aug.18	0,1	0	16,3	19,7	3,3	40	0,041	0,101	56,8	53,9
sep.18	8,4	12	12,1	15,9	3,8	40	3,069	7,672	61,3	59,2
okt.18	36,7	49	6,1	14,2	8,1	40	6,105	15,263	62,2	57,4
nov.18	59,0	82	2,0	13,9	12,0	40	6,829	17,073	65,9	57,3
des.18	90,7	122	-3,3	13,8	17,0	40	7,152	17,880	62,2	51,2
jan.19	98,7	133	-4,7	13,7	18,4	40	7,199	17,996	59,0	48,1
feb.19	72	107	-1,4	13,9	15,3	40	6,994	17,484	58,3	48,0
mar.19	61,8	83	0,5	14,0	13,5	40	6,150	15,374	55,5	50,7
apr.19	29,8	41	5,9	14,5	8,7	40	4,782	11,954	48,9	47,3
mai.19	14,5	19	9,7	15,5	5,8	40	3,370	8,425	53,7	50,4
jun.19	0,2	0	15,6	19,1	3,5	40	0,079	0,197	60,2	57,7
jul.19	0	0	18,1	22,2	4,0	40	0,000	0,000	55,1	53,1
aug.19	0	0	16,9	20,4	3,5	40	0,000	0,000	62,4	59,4
sep.19	7,6	11	10,9	14,8	3,9	40	2,719	6,798	65,0	62,8
okt.19	43,9	59	4,6	13,9	9,3	40	6,327	15,819	66,9	60,4
nov.19	72,8	101	-0,7	13,8	14,5	40	6,958	17,395	63,7	54,7

Tabell 7 Måledata Mineralull

Periode	Forbruk	snitt effek	Utetemp	MidtTemp	DeltaTemp	m2	Koeffisient (W/K)	Ux100 (W/m2K)	VeggFukt	Takfukt
apr.18	40,0	56	3,1	14,2	11,1	40	4,99	12,47	41	38
mai.18	5,1	7	15,2	19,4	4,2	40	1,63	4,09	43	35
jun.18	0,2	0	18,0	21,3	3,3	40	0,08	0,21	40	31
jul.18	0,0	0	23,0	26,2	3,2	40	0,00	0,00	38	29
aug.18	0,5	1	16,3	19,3	3,0	40	0,22	0,56	50	41
sep.18	9,8	14	12,1	15,9	3,8	40	3,57	8,93	53	47
okt.18	37,5	50	6,1	14,3	8,2	40	6,11	15,29	51	50
nov.18	60,1	83	2,0	14,0	12,0	40	6,95	17,36	55	54
des.18	91,5	123	-3,3	13,7	17,0	40	7,24	18,11	47	49
jan.19	84,9	114	-4,7	11,5	16,2	40	7,05	17,63	44	48
feb.19	62,9	94	-1,4	12,0	13,4	40	6,99	17,48	48	51
mar.19	55,4	74	0,5	12,7	12,2	40	6,11	15,29	44	48
apr.19	27,9	39	5,9	14,1	8,2	40	4,72	11,80	38	37
mai.19	14,3	19	9,7	15,2	5,5	40	3,48	8,71	46	39
jun.19	0,5	1	15,6	19,0	3,4	40	0,20	0,51	52	42
jul.19	0,1	0	18,1	22,0	3,8	40	0,04	0,09	45	36
aug.19	0	0	16,9	20,0	3,1	40	0,00	0,00	56	46
sep.19	9,2	13	10,9	14,8	3,9	40	3,25	8,13	57	52
okt.19	39	52	4,6	13,2	8,6	40	6,09	15,22	57	56
nov.19	62,5	87	-0,7	12,0	12,7	40	6,84	17,09	53	54

7.2. Strømforbruk testhus, første sammenlikning

Vi startet med å se på strømforbruket for å finne aktuelle testperioder, og få litt oversikt over den store datamengden, før vi gikk videre med å sammenfalle måledataene for testhusene.

Strømforbruk 2018



Strømforbruk 2019



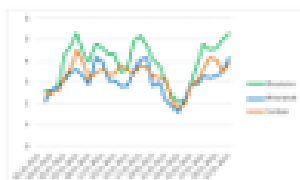
Strømforbruk 2020



Desember 2020



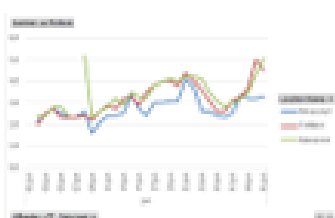
Strømforbruk januar 2021



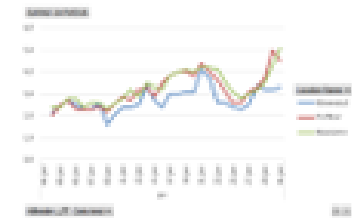
Strømforbruk desember 2018



Strømforbruk januar 2019



Strømforbruk januar 2019, hensyntatt hull i innlest strømforbruk.



7.3. LCA

7.3.1 LCA verdier uten omregning

	Parameter	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1-C4	D	Total	omregningsfaktor
GWP	Hunton Plate	-2,3800	0,2630	0,2000	0,0000	2,9510	-0,0202	1,0138	
GWP	Hunton innblåst	-1,8300	0,2600	0,0942	0,0000	2,0779	-0,1400	0,4621	
GWP	Glava	0,4300	0,0627	0,0009	0,0000	0,0046	-0,0166	0,4816	
GWP	Glava	0,6450	0,0941	0,0014	0,0000	0,0069	-0,0249	1,0836	1,5
GWP	Rockwool	1,1100	0,1240	0,1370	0,0000	0,1598	-0,0689	1,4619	
GWP	Rockwool innblåst	2,7750	0,3100	0,3425	0,0000	0,3994	-0,1723	3,6547	2,5
GWP	Saint Gobain	0,8240	0,0356	0,0446	0,0000	0,0152	0,0000	0,9194	

	Parameter	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1-C4	D	Total
ADP	Hunton Plate	9,9900	4,1100	0,4190	0,0000	0,5263	-2,4100	12,6353
ADP	Hunton innblåst	4,0100	4,1000	0,2980	0,0000	0,3571	0,0000	8,7651
ADP	Glava Plate	4,4200	0,9410	0,0064	0,0000	0,1112	-0,6430	4,8356
ADP	Glava Innblåst	6,6300	1,4115	0,0096	0,0000	0,1668	-0,9645	10,8801
ADP	Rockwool	13,5000	1,7000	0,4250	0,0000	0,2536	-1,8500	14,0286
ADP	Rockwool innblåst	33,7500	4,2500	1,0625	0,0000	0,6340	-4,6250	35,0715
ADP	Saint Gobain	14,0000	0,4960	0,7480	0,0000	0,2041		15,4481

7.3.2 LCA verdier med omregning

	Parameter	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1	C2	C3	C4	D	Total	
GWP	Hunton plate	-2,3800	0,2630	0,2000	0,0000	0,0000	0,0120	2,9300	0,0002	-0,0202	1,0060	
GWP	Hunton innblåst	-1,8300	0,2600	0,0942	0,0000	0,0000	0,0081	2,0600	0,0039	-0,1400	0,4561	
GWP	Glava plate	0,4300	0,0818	0,0228	0,0000	0,0000	0,0027	0,0000	0,0032	-0,0166	0,5239	
GWP	Glava Innblåst	0,6450	0,1227	0,0342	0,0000	0,0000	0,0040	0,0000	0,0048	-0,0249	0,7858	1,5
GWP	Saint Gobain plate	0,8240	0,0356	0,0228	0,0000	0,0000	0,0069	0,0000	0,0117	0,0000	0,9010	
GWP	Rockwool plate	1,1100	0,1653	0,1370	0,0000	0,0000	0,0038	0,0000	0,1560	-0,0689	1,5032	
GWP	Rockwool innblåst	2,7750	0,4133	0,3425	0,0000	0,0000	0,0094	0,0000	0,3900	-0,1723	3,7580	2,5

	Parameter	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1	C2	C3	C4	D	Total
ADP	Hunton plate	9,9900	4,1100	0,4190	0,0000	0,0000	0,1859	0,1990	0,0081	-2,4100	12,5020
ADP	Hunton innblåst	4,0100	4,1000	0,2980	0,0000	0,0000	0,1241	0,1320	0,0109	0,0000	8,6750
ADP	Glava plate	4,4200	1,2547	0,3772	0,0000	0,0000	0,0418	0,0000	0,0903	-0,6430	5,5410
ADP	Glava Innblåst	6,6300	1,8820	0,5658	0,0000	0,0000	0,0627	0,0000	0,1355	-0,9645	8,3115
ADP	Saint Gobain plate	14,0000	0,4960	0,3772	0,0000	0,0000	0,0962	0,0000	0,1560		15,1254
ADP	Rockwool plate	13,5000	2,2667	0,4250	0,0000	0,0000	0,0516	0,0000	0,2020	-1,8500	14,5953
ADP	Rockwool innblåst	33,7500	5,6667	1,0625	0,0000	0,0000	0,1290	0,0000	0,5050	-4,6250	36,4881

7.3.3 Totalverdier for GWP og ADPE

	GWP	ADP
Hunton plate	1,005049	12,50197
Hunton innblåst	0,456139	8,675007
Glava plate	0,52386	5,540977
Glava innblåst	0,785789	8,311465
Saint Gobain plate	0,900967	15,12541
Rockwool plate	1,503203	14,59527
Rockwool innblåst	3,758008	36,48817



7.3.4 Andel av miljøpåvirkningsfaktorer for de forskjellige produsentene



