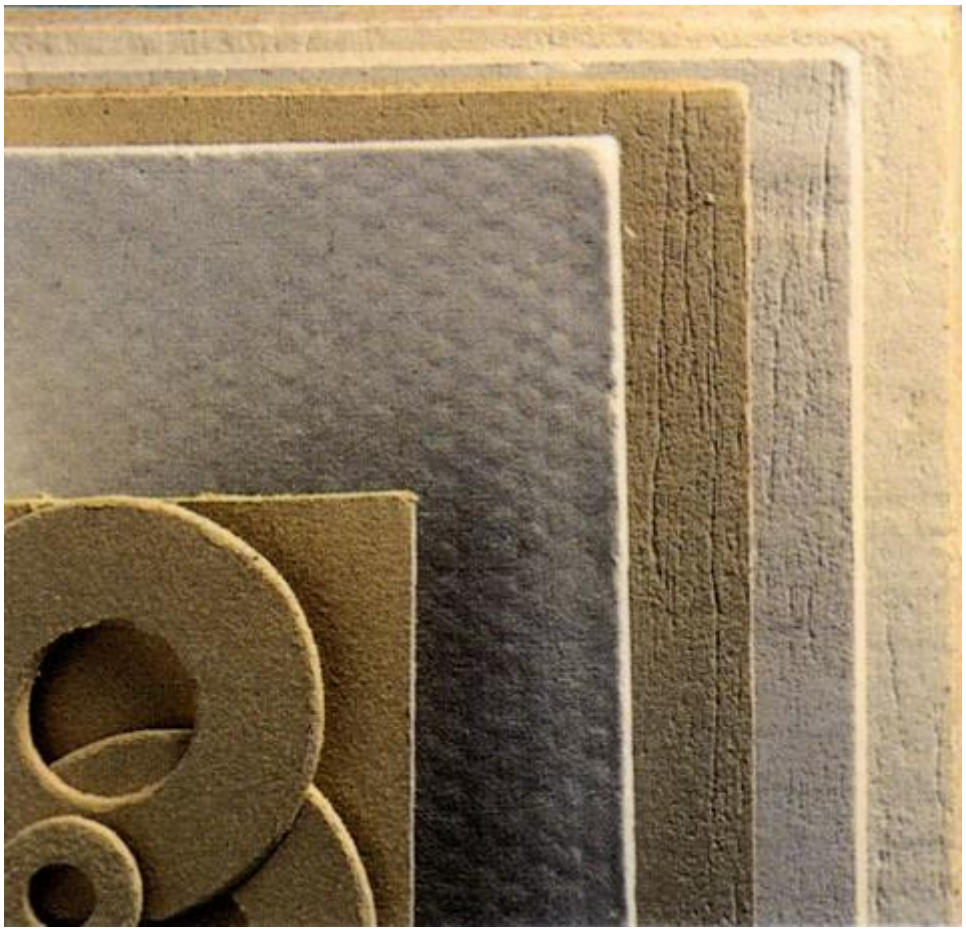
Inbyggd Energi

Isolering



Myri Fredrik

2016-05-13

Examensarbete utfört vid KYH – Energispecialist byggnader Malmö 2016

Inbyggd Energi

Isolering

Myri Fredrik

2016-05-13

Examensarbete utfört vid KYH – Energispecialist byggnader Malmö 2016

Titel:
Inbyggd energi – isolering
Författare:
Fredrik Myri

KYH Rapport 2016

Förord

Denna rapport är ett examensarbete under utbildningen Energispecialist byggnader vid KYH i Malmö och omfattar 50 YH-poäng. Utbildningen i sin helhet motsvarar två års heltidsstudier eller 200 YH-poäng.

Energisspecialistens uppdrag är att arbeta för en bättre miljö, en effektivare användning av energi och en hållbarare samhällsutveckling. Under utbildningen har en medvetenhet och ett intresse väcks för ekologiskt byggande och användning av traditionella och nya material hämtade från tillväxtfonder i naturen snarare än att tömma lagren med ändliga resurser. Tillväxtfonder kan vid ansvarsfull utvinning bli konstant flödande och finnas här även för kommande generationer. Det här examensarbetet kan vara en liten del i arbetet för en hållbarare framtid.

Tack till Carolin Erström, specialist på avdelningen THU (Teknik och Hållbar Utveckling) som har haft stor del i valet av ämne för detta examensarbete.

Tack till Amanda Harlén, specialist inom LCA arbete och miljöfrågor som har varit handledare under arbetet.

Tack till NCC som har gett mig möjligheten att arbeta hos dem.

Slutligen, tack till alla föreläsare och klasskamrater för dessa två inspirerande år.

Sammanfattning

Detta examensarbete handlar om att försöka hitta miljö- och energibesparande åtgärder för byggnader. Arbetet fokuserar på att hitta byggnadsmaterial som kan vara resurseffektivare genom hela byggnadens livstid, från materialens framställning till dess att byggnaden rivs. Arbetet har utförts som en forma av LCA eller livscykelanalys.

Arbetet jämför tre typer av isolering; konventionell mineralull som används flitigt i svenska byggnader och två träbaserade isoleringsmaterial som marknadsförs som ett skonsammare miljöalternativ. Mineralull är ett oorganiskt material som framställ av glas eller sten. I detta arbete undersöks mineralull framställt av glas, även kallat glasull. Det två träbaserade organiska isoleringsmaterialen som undersöks är cellulosaisolering framställt av återvunnet tidningspapper och träfiberisolering framställt av träflis från skogsbruk.

Tre egenskaper för isoleringstyperna granskas närmare; 1) energianvändning kopplat till materialet från framställning till återvinning/deponi, 2) prestandaegenskaper vid användning och 3) investeringskostnad för materialköp och kostnader kopplat till värmeenergibehov. Energiåtgången för materialen är omräknade till GWP som står för global warming potential. GWP beräknas som kg CO_2 utsläpp per kg producerat isoleringsmaterial, kWh använda och km körda. Data är baserade på olika typer av energislag och deras miljöpåverkan och ska förhoppningsvis kunna användas som beslutsunderlag för valet av isolering.

Insamlad data för framställningsenergi visar att om cellulosaisolering framställs med återvunnet tidningspapper som råvara är framställningsprocessen i fabrik extremt mycket energieffektivare än det två konkurerande isoleringsmaterialen i denna rapport. Att framställa 1kg cellulosaisolering kräver 0,09kWh i elförbrukning att jämföra med 4,90 kWh för ett kg glasull och 1,66 kWh per kg träullsisolering. Cellulosan har även renast energi för framställning, endast elburen energi producerat med vind- och vattenkraft. Glasullen produceras med el och naturgas fördelat enligt ca 50/50 av det totala energibehovet. Träullsisoleringens energiförbrukning är uppdelat på el, ånga och gas ca 30/50/20. Densiteten för de färdiga produkterna skiljer sig och sammalagd produktionsenergi för 1 m^3 materialen blir enligt följande: cellulosa 4,05kWh/m^3, glasull 73,5 kWh/ m^3, träfiber 82,5 kWh/m^3.

Total energianvändning för de olika isoleringsmaterialen omräknat till GWP (kg CO_2) från framställning till rivning visar siffrorna 12 559,1 kg för cellulosa, 18 081,6 kg för glasull och 14 090,3 kg för träfiber. Den stora skillnaden ligger i processerna innan isoleringen byggs in i byggnaden, -4 552,4 kg för cellulosa, 1 850,8 kg för glasullen och -3 185,4 kg för träfiber. De negativa utsläppsvärdarna för det två organiska materialen berör på kollagringen i dessa råvaror. Men även utan detta medräknat är skillnaden stor; 93,8 kg för cellulosa, 1 850,8 kg för glasullen och 3 013,2 kg för träfiber.

Prestanda för de färdiga materialen är ganska lika med värmekonduktivitetstal för cellulosan 0,037 W/m K, glasull 0,037 W/m K och träfiber 0,038 W/m K. Skillnader hittar vi i värmekapacitet men det visar sig ha en lite inverkan på värmeenergibehovet för byggnaden som isoleringen används i. Fuktbeständighet och känslighet undersöktes eftersom organiska material är känsligare än oorganiska. Resultatet visade att materialen under normala förhållanden och i rätt utförda konstruktioner löper lika liten eller stor risk för fuktskador. De så snarlika prestandaegenskaperna visade som misstänkt att energiförbrukningen under brukningsfasen av materialen var väldigt lika.

Ekonomiskt är cellulosaisolering att föredra. Investeringskostnaden för de olika materialen till ett hus, 14 464,0 kr för cellulosa, 20 335,8 kr för glasull och 29 426,5 kr för träfiber**.** Kostnad för värmeenergi under ett år, 3 862,05 för cellulosa, 3 758,4 för glasull och 3 899,01 för träfiber.

Innehåll

Förord 1
Sammanfattning 2
1 Inledning 5
1.2 Bakgrund 5
1.3 Syfte & målsättning 6
1.4 Problemformulering 6
1.5 Teori 7
1.5.1 Värme 7
1.5.2 Fukt 8
1.5.3 Cellulosaisolering 10
1.5.4 Mineralullsisolering 11
1.5.5 Träullsisolering 12
1.5.6 Typhus småhus 13
1.6 Avgränsningar 15
2 Genomförandet 16
2.1 Planering 16
2.2 Metodik 16
2.2.1 LCA 16
2.3 Insamling av data 18
2.4 Beräkningar 18
2.4.1 LCA Beräkning & Energisimulering 18
2.4.2 Beräkning fukt i konstruktion 21
2.4.3 Beräkning tidskonstant 21
2.4.4 Beräkning ekonomi 21
3 Resultat 22
3.1 Kategori A1 – A3 Uppströms processer 22
3.2 Kategori A4 – A5 Centrala processer 23
3.3 Kategori B1 – B7 Nedströms processer drift 24
3.4 Kategori C1 – C4 Nedströms processer sluthantering 24
3.5 Kategori D Fördelar & Belastningar 24
3.6 Resultat LCA 25
3.7 Resultat LCA Framställning, Transport och Installation 25
3.8 Resultat fukt i väggkonstruktion 26

3.9 Resultat tidskonstant 28
3.10 Resultat ekonomi 29
4 Slutsats 30
4.1 Energi och miljö 30
4.2 Prestanda 30
4.3 Ekonomi 31
4.4 Slutligen 31
Referenser 32
Kemikalier 32
Bilagor 33
Bilaga 1 BVD ISOCELL PDF 33
Bilaga 2 BVD Glasull PDF 33
Bilaga 3 BVD Hunton PDF 33
Bilaga 4 IDA ICE modell 3D och data. 34
Bilaga 5 Tidskonstant 35

1 Inledning

1.2 Bakgrund

Uppförandet och användningen av byggnader och anläggningar i Sverige kräver stora mängder energi, mycket arbete läggs ner på att skapa energieffektiva byggnader. Fokus har hittills mest handlat om att skapa energieffektiva byggnader och anläggningar sett ur ett brukningsfasperspektiv, detta genom att t.ex. bygga klimatskal som kraftigt minskar energiförluster för uppvärmning. Detta medför ofta ökad användning av byggnadsmaterial i byggprocessen då klimatskalen behöver dimensioneras upp för att erhålla ett bättre värmemotstånd. Byggnaders energianvändning i brukningsfas är tydlig och relativt enkel att mäta och tolka i ur ett ekonomiskt- och miljömässigt perspektiv.

Lika mycket arbete har hittills inte lagts på att effektivisera själva byggprocessen eller bedöma hur materialens produktion och råvara påverkar miljön. Den energi som förbrukas i dessa processer är mer komplexa att mäta och tolka p.g.a. långa produktionskedjor och brister i producenters egna data kring produkter och produktionens energianvändning och miljöpåverkan.

Ökad användning av material i byggprocessen medför att resursanvändningen för materialframställning ökar och mer energi förbrukas i denna fas. Vissa byggnadsmaterial är väldigt energikrävande att framställa och använder ibland stora mängder av ändliga resurser, resurser vars uttag ur naturen också kan påverka ekosystemet negativt.

Med dagens mer energieffektiva byggnader uppskattas att miljöpåverkan är lika stor i byggskedet som i brukarskedet sett över byggnadens beräknade livslängd(50år)[1]. Med denna vetskap behöver nu byggnadsindustrin aktivt börja granska hur och vad som byggs in i byggnader och anläggningar i Sverige. Ett hållbart och miljövänligt byggande kräver att alla steg i processen granskas och förbättras. Detta innefattar att undersöka hur byggprocesser och materialval påverkar byggnaders miljöavtryck under dess livscykel *”från vagga till grav”*. Denna rapport är en liten del av detta arbete och kommer att presenteras som en form av livscykelanalys för termisk isolering och dess påverkan av en typbyggnad. Typbyggnaden som används för beräkningar är ett enfamiljshus.

1.3 Syfte & målsättning

Att identifiera energi- och miljöbesparande åtgärder i byggnadsprocessen utan att påverka byggnaders livslängd, kvalitet och ekonomi negativt. Detta görs genom en jämförels av olika isoleringsmaterial. Egenskaper som kommer att studeras: miljöpåverkan och energianvändning under framställning och användning, funktion i konstruktion och kostnader för investering och användning.

1.4 Problemformulering

Stora mängder energi används idag vid framställning och användning av byggnadsmaterial, för att minska branschens konsumtion av energi- och miljöpåverkan behöver valen av material granskas. Problemet är dock inte fullt så lätt som att enbart byta ett material mot ett annat, materialen har olika sammansättningar som påverkar övriga byggnadsdelar på olika sätt och måste därför jämföras och testas ur ett helhetsperspektiv.

Mineralull är samlingsnamn för isolering tillverkad av glas eller sten (i detta arbete undersöks glasull) och är ett konventionellt byggnadsmaterial som har en stor andel av marknaden för termisk isolering i Sverige. Glasullen har lågt värde för värmekonduktivitet(eller högt värmemotstånd) och isolerar därför mycket bra, materialet är även relativt billigt i förhållande till alternativa material, men mineralullen är mycket energikrävande att framställa.

Kan ett lika bra eller bättre resultat för byggnaders totala miljöpåverkan uppnås genom att byta till mindre energiintensiva isoleringsmaterialmaterial utan att påverka kvalitet och ekonomin negativt för producent och kund?

För att undersöka detta kommer en form av livscykelanalys genomföras på tre olika typer av isoleringsmaterial som kommer att jämföras med varandra. Isoleringsmaterialen som undersöks är cellulosaisolering, glasullsisolering och träfiberisolering. Materialen har liknande värmekonduktivitet men har andra egenskaper som skiljer dem åt och som kan ha betydelse för både funktion och energianvändning i byggnaden. Cellulosa och träull är till skillnad från glasull organiska material som kan ha en negativ påverkan ur fukt- och mögelsynpunkt, de två materialen har även en högre värmekapacitet än glasull och den egenskapen kan vara till nytta för att minska energianvändningen. Produkter med hög värmekapacitet så som cellulosa- och träfiberisolering anses fungera som värmelager som kan ha en utjämnande funktion för det termiska klimatet inomhus vid snabba temperaturförändringar. Dessa egenskaper kommer att undersökas och resultatet kommer att vägas samman i helhetsbedömningen av produkterna.

Finns det även ekonomisk vinning i att se över materialval och använda de material som visar sig skonsammast mot miljön eller kommer kostnaderna öka för materialinköp och värmeenergikostnader? Det ska denna rapport också svar på.

1.5 Teori

1.5.1 Värme

I Sverige är det under större delen av året kallare utomhus än vad som krävs och önskas av inomhusklimatet. Energi för uppvärmning påverkar både ekonomi och miljö, därför måste vi förhindra att den transporteras ut och begränsa vår användning av den.

Värmetransport sker till följd av utjämningsprincip, material och omgivning strävar efter att befinna sig i balans med varandra. Varm luft vill värma kall luft, kall luft tar värmeenergi från varm som blir kallare. Värmeenergi inomhus letar sig därför ut genom klimatskalet. Värmetransport sker genom ledning, strålning och konvektion. Främst påverkar ledning värmetransporten i stängda icke ventilerade konstruktioner med fasta material, för att hindra fysisk ledning används porösa material med mindre kontaktytor. Dock så påverkars porösa material också av strålning och konvektion. Därför är det även viktigt att konstruktionen är lufttät och består av material som hindrar luftrörelser och strålningsutbyte.

Förenklat kan man dock säga att material med hög täthet leder värme bättre och är därför sämre på att isolera och hindra temperaturutjämning. T.ex. har betong densitet runt 2300 kg/m³ och trä har densitet runt 500 kg/m³, trä hindrar där igenom värmeledning bättre än betong.

Värmeisoleringensmaterialens främsta uppgifter är att minska ledningsförmågan genom att vara ett mindre fast material och samtidigt hindra konvektion och strålning.

När man talar om värmeledning hos ett material eller en vägg avser man normalt en process som innefattar alla tre mekanismer ledning, konvektion och strålning.[2]

Nedan förklaras begrepp som används vid beräkning av transmissionsförluster i konstruktioner.

U-värde $\mathrm{W/m^2\,K}$

Värmegenomgångskoefficient, värmemängd per tidsenhet som passerar genom en ytenhet av konstruktionen vid en grads skillnad.

Lambda-värde $\mathrm{W/m\,K}$

Värmekonduktivitet, värmemängd som per sekund passerar genom ett materialskikt om 1m² och 1 meters tjocklek vid temperaturskillnad en grad.

R-värmeövergångsmotstånd $\mathrm{m^2\,K/W}$

Värmeövergångsmotstånd, = materialtjocklek * lambdavärde för material. Inverterat värde av U, R är relativt materialets tjocklek och lambdavärde.

1.5.2 Fukt

Varje år drabbas många byggnader av fuktrelaterade skador och problem, mer än 80 % av alla byggskador anses vara fuktrelaterade. Allvarligaste fuktproblemen för byggnader är ofta osynliga. Konsekvenserna kan bli allvarliga både hälsomässigt och byggnadstekniskt. Fukt kan orsaka mögelangrepp, dålig lukt och att giftiga ämnen sprids i innemiljön. Fukt kan även ändra egenskaper för material så som hållfasthetsförändringar och försämring av värmeisolering. Kritisk RF (relativ fuktighet) är ett begrepp som beskriver ett materials gräns för när det bedöms befinna sig i riskzon att förlora sin funktion eller utsättas för mögel, röta och frostsprängningar. Allt material innehåller en viss del vatten som inte kan avges vid normala temperaturer, detta vatten kallas för kemiskt bundet vatten. Vatten som kan avges vid normala temperaturer kallas fysiskt bundet, detta vatten kan även absorberas av materialet. Uppfuktning och uttorkning sker till följd av att omgivningen och materialet strävar efter att uppnå ett jämnt fukttillstånd.

Material tar till sig vatten på tre särskilda sätt; 1) i kontakt med fuktig luft, 2) i kontakt med fritt vatten och 3) i kontakt med annat material. När material tar åt sig fukt genom luft(ångfas) benämns det som hygroskopiska egenskaper för material. Genom kontakt med fritt vatten(vätskefas) benämns som kapillärsugande egenskaper hos materialet. Material som är i kontakt med annat material har både hygroskopisk och kapillära egenskaper.[2]

Fukttransport sker i materialens porer detta sker som ovan nämnt i både ångfas och vätskefas. I ångfas transporteras fukt genom diffusion och konvektion. Fukt i vätskefas transporteras in i materialet genom kapillärsugning.

Fukttransport sker till följd av utjämningsprincip, precis som värme strävar fukt efter att befinna sig i jämnvikt. Inomhus sker ett fukttillskott till luften genom människor och processer. Generellt så är luften fuktigare inomhus än utomhus vilket betyder att fukt vill ta sig ut. Luft kan inte bära hur mycket fukt som helst i ångfas och hur mycket fukt luft kan bära står i relation till temperaturen i luften. Varje temperatur har ett mättnadstak för hur mycket fukt som luften kan bära innan ångan övergår till vätskefas. Relativ fuktighet är ånghalten i luften delat på den aktuella temperaturens mättnadstak. Med kall luft på utsidan av en konstruktion och varm på insidan uppstår temperaturskickningar i konstruktionen vilket påverkar hur mycket ånga som luften i konstruktionen kan bära. Finns det risk för kalla delar i konstruktionen och en okontrollerad transport av fukt in i konstruktionen kan fuktskador uppkomma genom att materialens kritiska RF-nivåer överskrid.

Fukt är ett populärt ämne att diskutera när en jämförelse mellan organiska och oorganiska isoleringsmaterial ska göras. Organiska material har ett lägre värde för kritisk RF än oorganiska och riskerar att utsättas för mögel och sporer vid ett lägre fukttillstånd än oorganiska. Det har också tidigare hävdats att vissa organiska materials buffrande (hygroskopiska) egenskap skulle vara tillräcklig för att skydda material i konstruktionen från mögel -och sportillväxt. Leverantörerna av organiskt isoleringsmaterial i denna rapport rekommenderar dock att en ångspärr installeras med deras produkter för att hindra fuktkonvektion och bromsa fuktdiffusion in i konstruktionen för att minimera risker för hög RF i konstruktionen. Vidare så har SP Sveriges prov- och forskningsinstitut lämnat rekommendationer för Kritisk RF för olika material[3]. SP har angivit att det inte finns någon anledning till att ställa högre krav för materials mögelbeständighet i konstruktioner än de kravs som ställs för det känsligaste materialet. Således finns det ingen anledning att ställa högre krav på organisk isolering än de krav som ställs på trä i en konstruktion med träregelstomme som enligt rekommendationer når Kritisk RF vid RF 75 % [4]. Används annat material med högre nivå för kritiskt RF i stomkonstruktioner är det dock nödvändigt att se över materialens mögelbeständighet. För att

minska risken för att fuktskador uppkommer är det alltid viktigt att noggrant se över sammansättningen av material i en konstruktion.

Tabell 1: SP:s förslag till kritiska fukttillstånd utifrån genomgången litteratur. Förslaget är baserat på uppskattningar av risken för mikrobiell tillväxt där värdena är valda så att risken för mikrobiell tillväxt är i storleksordningen några procent.

Materialgrupp	*Kritiskt fukttillstånd* [% RF]
Trä och träbaserade material	75–80
Gipsskivor med pappytor	80–85
Mineralullsisolering	90–95
Cellplastisolering (EPS)	90–95
Betong	90–95

Dessa värden avser rent material. Smutsning av materialet medför en tillförsel av näring som sänker kritiskt fukttillstånd till 75–80 procent även för de mest tåliga materialen.

Figur1 Kritiska Fukttillstånd enligt SP Sveriges prov och forskningsinstitut[3]

1.5.3 Cellulosaisolering

Allmänt

Cellulosaisoleringen framställs av gamla dagstidningar eller nyproducerad cellulosa och levereras som lösull, skivor eller drevremsor. Cellulosa utgör huvuddelen i växters cellväggar och är därmed ett av de vanligaste organiska substanserna i naturen. Papper mals ner och tillsätts någon typ av brand- och tillväxthämmare, vanligt är borsyra, borax, vattenglas eller ammoniumpolyfosfat. Materialet har bra termiskt isolervärde och kan absorbera och buffra fukt. Cellulosaisolering har hög lufttäthet vilket motverkar luftrörelser i isoleringen(konvektion). Cellulosan har även hög densitet vilket bidrar till god ljudisolering. Värmekapaciteten för cellulosa är också hög 1500 – 2100 J/kg K vilket kan tänkas bidra till en utjämning av inneklimatet vid klimatvariationer. Att tillverka cellulosaisolering av returpapper är energisnålt men nyproduktion av cellulosa kräver avsevärt mycket mer energi.[5]

Användning

Produkten kan användas i konstruktioner för väggar, tak och golv.

Isocell lambda + Evolution [6] Ingående material

Teknisk specifikation

Form	Framställnings energi	Värmekonduktivitet	Densitet	Värmekapacitet	Brandklass	Kritisk RF
Lösull & Skiva	0,09 kWh/kg	0,037 W/ m²K	25-65 kg/m³	2100 J/ kg K	C EN 13501-1	85 %

Papper

89,75% Återvunnet papper dagstidningar

Flamskyddsmedel

10,25% FRM CF – 642

Ammoniumsulfat

Ammoniumsulfat är ett salt[k1]. Anges i byggvarudeklarationen för produkten som giftfri även i säkerhetsdatablad.[k2] [6]

Ammoniumpolyfosfat

Ammoniumfosfat blandning av ammoniak, vatten och fosfat. Används exempelvis som gödningsmedel och är en vanlig ingrediens i pulversläckare. Genom en endoterm (upptagande)reaktion tar saltet åt sig energin från förbränningen och kan på så vis släcka en eld. Anges i byggvarudeklarationen för produkten som giftfri även i säkerhetsdatablad.[k3][6]

Natriumsilikat, neutraliserad

Natriumsilikat eller vattenglas som det också kallas används som konserveringsmedel och brandhämmare. Natriumsilikaterna framställs genom att smälta ihop sand (SiO_2) med lämplig mängd natriumkarbonat till glas. Detta pulvriseras sedan och löses i vatten under hög temperatur och tryck till vattenglas[k4]. Anges i byggvarudeklarationen och säkerhetsdatablad för produkten som giftfri[6][k5].

Magnesiumsulfat

Magnesiumsulfat är ett salt som tillsammans med sitt hydrat, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (som även kallas *Epsomsalt*, *engelskt salt* eller *bittersalt*) har många användningsområden. Magnesiumsulfat är lätt nedlösligt, och anses därför inte belasta miljön[k6]. Anges i byggvarudeklarationen för produkten som giftfri.[6]

Sammanfattning ISOCELL Lambda + Evolution

Tillverkas av återvunna dagstidningar, låg energiförbrukning för produktion. Produkten har ett lågt värde för värmekonduktivitet och värmeisolerar bra. Värmekapaciteten för isoleringen är hög vilket kan bidra till en utjämnande effekt för inneklimatet vid temperaturomslag. Densiteten varierar beroende av vilken konstruktionsdel isoleringen ska ingår i, densiteten bidrar till god ljudisolering. Enligt byggvarudeklarationen innehåller isoleringen inga miljöfarliga eller hälsoskadliga gifter(Bilaga 1). Produkten kan återanvändas, materialåtervinnas och energiåtervinnas.

1.5.4 Mineralullsisolering

Allmänt

Mineralull är ett samlingsnamn för isoleringsull framställt av glas eller sten som råmaterial. Den säljs som lösull, skivor, mattor och drevremsor. Mineralull har god värme- och ljudisolerande förmåga. Byggnader isolerade med mineralull ska vara luft- och diffusionstäta för att fukt inte ska komma in i konstruktionen. Mineralull saknar fuktbuffrande egenskaper och kan inte ”hålla” fukt. Är det kallt i konstruktionen och fuktig luft tränger in kan fukt kondensera och ”rinna” ner på annat material med skador som följd. Kritisk RF anges till 95 % men det gäller enbart om materialet är helt rent. Blir materialet fuktigt kan även emissioner av formaldehyd förekomma och vid brand avges farliga gaser främst fenol. Fuktig mineralull kan även lukta illa på grund av ureainnehållet. Produktionen av mineralull är väldigt energikrävande där råmaterialet smälts vid mycket hög värme. [5][3]

Användning

Produkten kan användas i konstruktioner för väggar, tak och golv

Ingående material Isover Glasull [7]

Teknisk specifikation

Form	Framställnings energi	Värmekonduktivitet	Densitet	Värmekapacitet	Brandklass	Kritisk RF
Lösull & Skiva	4,90 kWh/kg	0,037 W/ m²K	15 kg/m³	800 J/ kg K	A1 EN 13501-1	95 %

Glasull

90 % Återvunnet glas

Bakelit (Bindemedelsråvara)

Mindre än 10 %
Är en härdplast, kan inte materialåtervinnas. [5]

Fenolformaldehydharts

Består av fenol, formaldehyd och organiska lösningsmedel. Fenol är giftigt. Fenol och formaldehyd kan finnas i hartset även när den har härdat [5].

Urea (Karbamid)

Urea (från grekiska *uron*), urinämne eller karbamid är en kvävehaltig kemisk förening. Används I jordbruk som gödningsmedel, inom industrin i vissa plaster, och i livsmedelsindustrin som tillsats i glass och tuggummi. Kan bidra till miljöproblem genom att ämnet är väldigt näringsrikt[k7]

Paraffinolja (Dammbindare)

Mindre än 1 %

Paraffin tillverkas av petroleum eller syntetiskt via Fischer-Tropsch-syntes. Paraffinolja är samlingsnamnet för flera olika typer av oljebiprodukter som utvinns vid raffinering av råolja. Den är färglös samt lukt- och smakfri. Deponeras som specialavfall [k8][k9]

Sammanfattning Isover Glasull

Tillverkas av återvunnet glas, energiåtgången för produktion är hög. Produkten har lågt värde för värmekonduktivitet och värmeisolerar bra. Enligt byggvarudeklaratonen är produkten inte klassad som farligt avfall men bindemedlet (plasten) bakelit innehåller små mängder kemiska produkter som är miljöbelastande (Bilaga 2). Glasull kan återanvändas och materialåtervinnas men inte energiåtervinnas. Återanvänd eller materialåtervinns inte materialet hamnar det på deponi.

1.5.5 Träullsisolering

Allmänt

Träullsisolering tillverkas av trä som flisas och mals, späds ut med vatten, och pressas ihop under värme och tryck. Träullsisolering har god värme och ljudisolerande förmåga. Träullen är även fuktbuffrande och har hög värmekapacitet 2100 J/kg K. Träullen består till huvuddel av cellulosa och lignin som gör att egenskaper påminner mycket om cellulosanullen. Framställningen av Träullen kräver stora mängder energi och vatten till avverkning och framställning.[5]

Användning

Produkten kan användas i konstruktioner för väggar, tak och golv

Ingående material Hunton Träfiberskiva Flex[8]

Teknisk specifikation

Form	Framställnings energi kWh/kg	Värmekonduktivitet	Densitet	Värmekapacitet	Brandklass	Kritisk RF
Lösull & Skiva	1,66 kWh/kg	0,037 W/ m²K	50 kg/m³	2100 J/ kg K	E	75 %

Träfiber

86 % från gran och furu. Skogsbruk.

Bikofiber alt. polyolefin (Bindmedel)
6 %

Består av blandningar av polyeten och polypropen, båda tillhör de mer miljöskonsamma plasterna och är av typen termoplaster som går att materialåtervinna och omforma. Plasten är inte nerbrytningsbar men går att bränna. Enligt säkerhetsdatablad inga kända ekologiska problem men heller inte lätt nedbrytningsbar [5][k10]

Ammoniumsulfat (Flamskydd)
Ammoniumsulfat är ett salt. Anses som giftfri.[k1][k2]

Sammanfattning Hunton Träfiberskiva Flex
Tillverkas av gran och furu från skogsbruk. Produktionens energiåtgång är hög. Produkten har ett lågt värde för värmekonduktivitet och värmeisolerar bra. Värmekapaciteten för isoleringen är hög vilket kan bidra till en utjämnande effekt för inneklimatet vid temperaturomslag. Densiteten är hög och bidrar till god ljudisolering. Enligt byggvarudeklarationen är produkten inte klassad som farligt avfall (Bilaga 3). Produkten kan återanvändas, materilaåtervinnas och energiåtervinnas.

1.5.6 Typhus småhus
Huset är ett enfamiljs hus om ca 120 m² fördelat över två plan. Huset består av prefabricerade väggelement på betongplatta gjuten på mark. Klimatskalets omslutande area är ca 280 m² med fönster/glasandel ca 9 %. För uppvärmning av huset används värmepumpar av olika slag, vanligast frånluftsvärmepump. Nedre plan har installerad vattenburen golvvärme och övre plan värms med radiatorer.

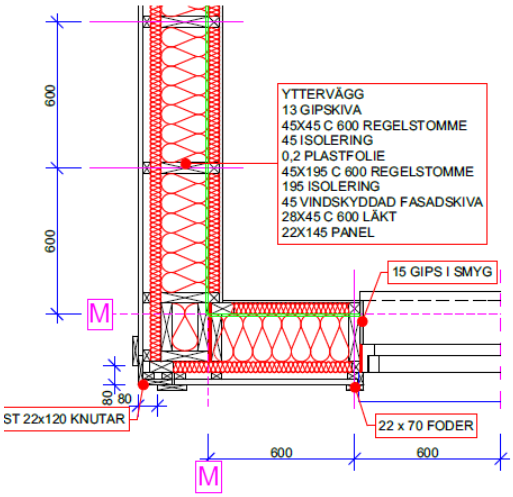
Isoleringsvolym per hus
Isoleringen i hustypen består av mineralull. Den totala volymen är beräknad till ca 73m³ för väggar och tak, med uppdelning 39 m³ isolering i skivform för väggar och 34 m³ lösull för tak.



FIGUR 2 Modell av typhus

Ytterväggskonstruktion

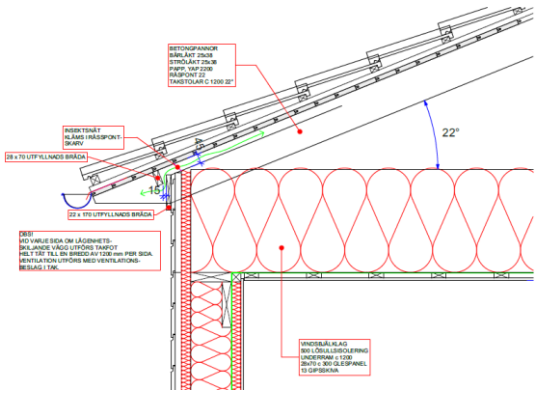
Ytterväggen uppbyggd inifrån består av en installationsvägg byggd på en 45*45mm regelstomme med centrumavstånd 600mm, isolerad med 45mm isolerskiva. Bärande regelverk i ytterväggen består av en 45*195mm regelstomme med centrumavstånd 600mm, isolerad med 195mm isoleringsskiva. Som vinskydd och tilläggsisolering mot den kalla sidan används en specialprodukt som består av 45mm isolering klädd på utsidan med en vindpapp. Som utvändig beklädnad används träpanel monterad på en läktstomme som består av 28*45mm trästomme. Totalt isoleringsdjup för ytterväggen 285mm



Figur 3 Väggdetalj

Takkonstruktion

Takkonstruktionen uppbygg inifrån består av beklädnad monterad på glespanel. Glespanelen är fäst i takstolskonstruktionens underarm som består av en 45*170mm regel med centrumavstånd 1200mm. Isoleringen består av lösullsisolering uppfyllt mellan takstolens underarmar med ett djup om 500mm. Kallt vindsutrymme ovanför isoleringen och upp till takstolens överarm som är klädd med råspont, takpapp, bärläkt och betongtakpannor.



FIGUR 4 Takdetalj

1.6 Avgränsningar

I detta examensarbete behandlas enbart byggnadsmaterialet isolering för att tolka dess påverkan av ett typhus miljö-, tekniska- och ekonomiskaprestanda.

Formen av livscykelanalys i denna rapport behandlar enbart materialet isolering. Isoleringsmaterialen som behandlas i denna rapport är mineralullsisolering (Isover Glasull), cellulosaisolering (Isocell Lambda + Evolution lös Cellulosa) och träfiberisolering (Hunton Flex).

Kemiska produkter som ingår i isoleringstyperna diskuteras ur miljöaspekt men tas inte med i beräkningen för LCA.

LCA i denna rapport redovisar enbart GWP Kg CO_2 eq, vid LCA beräkningar kan även kategorier som; ADP elements(resurs utarmning mineraler), ADP fossil(resurs utarmning fossila), AP(Förssurningspotential), EP(Övergödningspotential) redovisas eftersom även de är viktiga miljökategorier. I denna rapport har enbart GWP valts att redovisas eftersom att det är den mest vedertagna miljökategorin.

Information om ingående komponenter i isoleringen och process-energi för framställning av isoleringsmaterialen är hämtade och tolkade från tillverkarnas egen dokumentation. Dokumentation i form av byggvarudeklaration, EPD, LCA, testresultat och annat material inhämtat från hemsidor och intervjuer.

Typhusets konstruktionslösningar är identiska i alla delar med undantag för den termiska isoleringen som varieras mellan ovan nämnda material för att mäta skillnader i energianvändning under brukningsfas.

Vindskyddsmaterial i typhuset är ett sammansatt specialmaterial som fungerar som vindskydd men också som tilläggsisolering. Materialet består av en styv mineralull kläd på en sida med vindpapp. Att byta detta material ändrar konstruktionslösningen, i rapporten tas ingen hänsyn till den tekniska lösningen för vindtäthet.

För transporter av material antas att alla tillverkare använder liknande typer av fordon, lastbil 28-32 ton.

GWP och kg CO_2 ekvivalent för energislag och transporter är hämtade från LCA programmet GaBi[9] och dess databas CML 2015. Kg CO_2 ekvivalent för energislagen är beräknade som vikt i Kg CO_2 per producerad kWh el från energislaget. GWP kg CO_2 värde för utvinning av råvara är hämtat från producents egen EDP och LCA.

Posten A1 för Isover glasull är inte helt korrekt uträknad och transport från utvinningsställe ingår i posten. Isover redovisar inte A1 separat i EPD. Resultatet påvisar dock att glasull inte har negativ CO_2 belastning i denna fas.

Värmepump COP har inte räknats av från energibehovet i kategorin B post B6.

2 Genomförandet

2.1 Planering

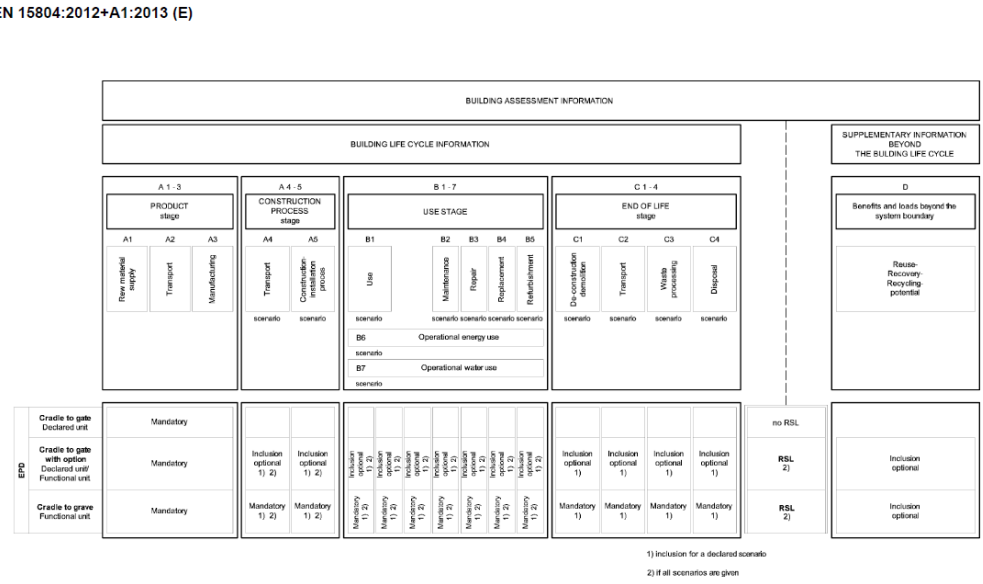
Att utföra en LCA kräver tillgång till stora mängder data. Mycket tid har gått till att samla och tolka data från olika dokument.

För att veta vilken typ av data som kommer att behövas till arbetet med en LCA måste man först bestämma vilka kategorier som kommer att tas med i rapporten. Arbetet planerades med veckovis indelning av aktivitetet. Sju veckor har delats på enligt följande: fyra veckor har lagts på insamling av data, beräkningar, simuleringar och intervjuer per email. Tre veckor till sammanställning och rapportskrivning.

2.2 Metodik

2.2.1 LCA

Livcykelanalys används som verktyg för att utreda en produkts totala miljöpåverkan ”från vagga tillgrav”. I en komplett LCA bryts varje steg i produktens liv ner, från utvinning av råmaterial, uppbyggnad av produkt, användning av produkt och till slut deponi eller återvinning av produken. Genom att studera alla dessa steg kan energi- och resursintensiva moment samt miljöpåverkan i form av utsläpp identifieras. Denna information kan användas för att besluta om förändring av processer i produktionen, alternativt utesluta produkten för att välja ett alternativ som är skonsammare för miljön i dess ställe. Det finns både internationella och nationella standarder för hur en LCA-analys kan genomföras, i denna rapport kommer analysen bygga på standard SS-EN 15804:2012+A1:2013 (Hållbarhet hos byggnadsverk – Miljödeklarationer)[19]. Systemgräns för den formen av LCA som här presenteras blir enligt standarden A1,A3-A5, B6, C3 och D. Detta betyder att analysen begränsas något och att samtliga steg inte tas med i denna rapport. Nedan beskrivs stegen något närmare. Som verktyg för denna analys används data från programvaran GaBi software[9] som är en mjukvara för LCA-analyser.



FIGUR 5 System för livscykelanalyser enligt SS-EN 15804:2012+A1:2013[19]

Kategori A1 – A3 Uppströms processer

Kategori benämns som ”uppströms” och handlar om produktion av produkt. A1 – Råmaterialutvinning för produktion av produkt. A2 – Transport till produktionsställe från utvinningspunkt. A3- Tillverkning av produkt.[10]

Inom denna kategori används i detta arbete posterna A1 råmaterialsutvinning och A3 tillverkning av produkt i fabrik. Beräkning är utförd med data tillhandahållen från tillverkare uppgivna i BVD-, LCA- och EPD dokument. Posten A1 för glasull var svår att isolera då den inte presenterades enskilt i ISOVERS EPD där GWP presenterades ackumulerat för hela kategorin A1-A3. Beräkning har gjorts med presenterad siffra för A1-A3 i EPD som sedan har subtraherats med posten A3 för glasullen baserad på energiåtgång angiven i ISOVER BVD[7]. Posten A2 är beroende av information om exakt plats för utvinning, denna post används inte för denna rapport.

Kategori A4 – A5 Centrala processer

Kategori benämns som ”centrala processer” och handlar om konstruktion. A4 – Transport till byggarbetsplats eller fabrik. A5 – Installation av produkt på byggarbetsplats eller i fabrik.[10]

Inom kategorin kommer både punkt A4 och A5 att granskas för produkterna. A4 är beräknad med GWP kg CO_2 för transporterad vikt och avstånd. A5 är som GWP kg CO_2 för energianvändning med energislag svensk elmix.

Kategori B1 – B7 Nedströms processer drift

Kategorin benämns nedströms processer drift och behandlar behovet av underhåll och reparationer under drifttiden som i det här fallet motsvarar byggnadens livslängd som är angett till 50år. B1- Användning. B2 – Underhåll. B3 – Reparation. B4 – Utbyte. B5 – Renovering/Ombyggnad. B6 – Energianvändning. B7 – Vattenanvändning.[10]

Inom kategorin behandlas enbart posten B6 energianvändning. Gallringen motiveras med att isoleringen är en inbyggd konstruktionsdel med en förväntad livslängd i samma storleksordning som byggnaden och inte kräver något planerat underhåll. B6 är beräknad med GWP kg CO_2 för använd värmeenergi med energislag svensk elmix.

Kategori C1 – C4 Nedströms processer sluthantering

Kategori benämns också ”nedströms” men handlar om sluthanteringen av produkten genom återvinning eller deponi. C1- Nedmontering och rivning. C2 – Transport till slutdestination. C3 – Avfallshantering. C4 - Sluthantering.[10]

Inom kategorin kommer enbart posten C3 att behandlas. Ingen beräkning görs för posten men återvinningsmöjligheter påvisas.

Kategori D Fördelar & Belastningar

Kategorin behandlar sådan information eller processer som inte ryms eller passar i andra kategorier. Ett exempel på detta kan vara att jämföra miljö fördelaran med att energiåtervinna träbaserade produkter genom förbränning istället för att använde fossila bränslen.[10]

I kategorin presenteras potential eller belastningar som materialen utgör efter sluthantering. Resultatet för den här kategorin räknas inte till livcykelanalysen men kan vara viktiga att ta med i rapporten.

2.3 Insamling av data

Insamlingen av data har gjorts genom kontakt med producenter, besök av producenter hemsidor, sökning på Byggvarubedömningen och sökningar på internet.

2.4 Beräkningar

2.4.1 LCA Beräkning & Energisimulering

Beräkningar uppströms-, centrala- & nedströms processer

Handberäkning

Beräkningar av processenergi för de olika materialen, energin i denna process redovisas i olika enheter från tillverkare och översetts till en enhetlig enhet.

Omvandling för använd energi görs med hjälp av GWP som redovisas i kg CO_2 eq per använd kWh. Produktionen av materialen sker i olika länder med olika energislag, energislagen har olika belastningar på miljö och har av GaBi[9] beräknats som kg CO_2 utsläppt per kWh producerad med energislaget. T.ex. Polsk el mix för produktion av träfiber kontra Svensk el mix för produktion av mineralull.

Beräkningar Kategori (A1 & A3) Uppströms processer

Posten A1 behandlar råvaruutvinning. Data för GWP belastning har hämtats från ISOCELL EPD[17] och Hunton LCA[18]. A1 data för Isover glasull har inte hittats isolerad utan presenteras ackumulerad för A1-A3, därför är A1 för glasull beräknats genom ackumulerat värde subtraherat med värde för produktionsenergi hämtat i ISOVER BVD[7]. Resultat redovisas i tabellerna 2-4. Posten A3 behandlar produktion och framställning av produkten i fabrik. Beräkningar har gjorts för de tre materialen med information om processenergin taget från materialens byggvarudeklarationer samt data uppgiven av tillverkarna[6][7][8]. Data för GWP belastning (kg CO_2 eq) har hämtats från programvaran GaBi software[9] och redovisas i tabell 1. I avsnittet ”Resultat” finns tabellerna 4-6 som redovisar och sammanställer energimängd, energityper och energikällor för de olika materialens framställningsprocesser. Med hjälp av belastningsdata beräknas och redovisas produktionernas GWP globala uppvärmnings potential [kg CO_2] i samma tabeller.

Energikälla	Polsk Mix	Polsk Gas	Polsk Ånga	Svensk Mix	Svensk Vatten	Svensk Vind	Svensk Gas
GWP kg CO_2 eq/kWh	1,059	0,519	0,017	0,066	0,014	0,010	0,442

Tabell.1 GWP kg CO_2 eq/kWh för olika energislag

Beräkningar (A4 & A5) centrala processer

Centralaprocesser behandlar transport till byggarbetsplats och installation av produkten. Transport är beräknad med kg CO_2 eq per kg transporterad produkt från produktionsställe med hjälp av belastningsdata från GaBi software[9]. Det resultat som presenteras i ”Resultat” tabell 5 är beräknad för volymen isolering för ett typhus. Antaget för transporter är att samma typ av lastbilar används 28-32 ton med lastkapacitet 22ton. Posten A5 behandlar installationsenergi, den lösa cellulosaullen monteras genom inblåsning i alla konstruktionsdelar medans glasullen och träfiberullen enbart blåses in i vindsutrymmet. För beräkning av installationsenergi använd data från samma isoleringsmaskin,

ISOblow Profi Plus[13] Motor och fläktar går att frekvensstyra beroende av önskat material- och luftflöde, maskinens totala effekt är ca 11,6 kW som används för beräkningen och presenteras i ”Resultat” tabell 9. Monteringen sker i Sverige och GWP beräknas med belastning för svensk Elmix. Energiåtgången för manuell montering av skivmaterialen glasull och träfiberull är komplex att mäta och beräknas därför inte.

Beräkningar Kategori B Nedströms processer drift

Posten som beräknas i kategorin B6 är energianvändning under produktens/byggnadens livslängd. Termisk isolerings främsta uppgift är att begränsa byggnaders energibehov för uppvärmning och det är denna energi som beräknas i denna kategori. Resultatet för energianvändningen omräknas med GWP belastning för att användas i helhetsbedömningen av produkterna. GWP belastning för svensk Elmix används för alla tre energiberäkningar. El används för värmeenergi då typhusen är uppvärmda med värmepump.

Energiberäkningar har gjorts med hjälp av IDA ICE [11]. IDA ICE (Indoor Climate & Energy) från mjukvaruleverantören EQUA är ett simuleringsverktyg för att analysera energianvändningen och det termiska klimatet i en byggnad. I programmet medelleras byggnader efter ritningar och kan göras mycket exakta, alla ingående delar i byggnaden kan modelleras och programmeras för helårsstudier av energianvändning för bl.a. värme- och kylbehov.

Programmet beräknar själv u-värden för konstruktionerna som används baserat på data för materialen som väljs i konstruktionerna. Dock har även handberäkningar gjorts för konstruktionernas samansättningar, det för att jämföra med IDA ICE och verifiera att programmets beräkning av u-värden är rimliga. Nedan presenteras tillvägagångssättet vid handberäkning och i ”Resultat” tabell 10 visas resultatet för alla konstauktioner. I ”Resultat” tabell 11 presenteras IDA ICE beräkningen av U-värden för konstruktionerna.

Handberäkning

Sammansatta väggar

Eftersom att trä har ett betydligt högre värmekonduktivitet än värmeisolering och värmeflödet blir större genom trä än värmeisoleringen behövs ett medelvärde för konstruktionen beräknas. Det finns två beräkningsmodeller för att beräkna medelvärde, Lambda- och U-värdesmetoden. Båda beräkningsmetoderna ger ytterligeter, Lambda metoden ger ett för högt U-värde och U metoden ger ett för lågt värde. Vid praktisk handberäkning används båda metoderna som sedan får bilda ett medelvärde av de två metoderna. För metoderna behövs andelar för trä respektive värmeisolering beräknas.

Andelsberäkning

Regelandel beräknas genom reglarnas dimension och centrumavstånd i konstruktionen. I detta fall är dimensionen 45*195mm och centrumavståndet 600mm. Resultatet ges i procent av konstruktion.

$$45mm \div 600mm = 7{,}5\ \%$$

På grund av kottlingar, hammarband, syl och tvärreglar vid t.ex. fönsteröppningar bör ett påslag för regelandelen göras. Enligt [2] studentlitteraturen Praktisk Byggnads Fysik anges 4 % som ett rimligt påslag. $7{,}5\ \% + 4\ \% = 11{,}5\ \%$

U-värdesmetoden

*Uu = Andel Isolering * U Isolering + Andel regel * U Regel (W/m²K) [2]*

Material	Distans [m]	Värmekonduktivitet [W/m K]	R Isol [m²K]	R Regel [m²K]
R si vägg			0,13	0,13
Gips	0,013	0,22	0,06	0,06
Isolering	0,045	0,037	1,22	-
Reglar	0,045	0,14		0,32
Plastfolie	-	-	-	-
Isolering	0,195	0,037	5,27	-
Reglar	0,195	0,14	-	1,39
Vindskydd Isol	0,045	0,031	1,45	-
Läkt + panel + Luft	-	-	-	-
R se = R si			0,13	0,13
Summa R			8,26	3,48

FIGUR 6 Exempel av Uu beräkning.

Uu = 1÷R = 0,885*8,26+0,115*3,48= 0,140178

Lambda-värdesmetoden

*Lambda medel = Andel Isolering * Lambda Isolering + Andel regel *Lambda Regel (W/m K) [2]*

*0,885 * 0,037 + 0,115 0,14 = 0,048845 (W/m K) [6]*

Material	Distans [m]	Värmekonduktivitet [W/m K]	R [m²K]
R si vägg			0,13
Gips	0,013	0,22	0,06
Isolering + regel	0,045	0,048845	0,92
Plastfolie	-	-	-
Isolering + regel	0,195	0,048845	3,99
Vindskydd Isol	0,045	0,031	1,45
Läkt + panel + Luft	-	-	-
R se = R si			0,13
Summa R			6,68

FIGUR 7 Exempel av Lambdamedelvärdes beräkning

U Lambda = 1÷ R = 0,149606

U- och Lambda-värdesmetoden medevärde

*U medel = 2(Uu * U Lambda) ÷ Uu + U Lambda*

2(0,140178 * 0,149606) ÷ 0,140178 + 0,149606 = 0,1447

IDA ICE

För data och visuell modell se bilaga 4.

Beräkningar Kategori C Nedströms processer sluthantering

Nedströms processer sluthantering behandlar hantering av rivningsavfall. I denna rapport tas bara posten C3 med, posten behandlar avfallshanteringen och potentialen för återanvändning, materialåtervinning och energiåtervinning. Ingen GWP belastning är kopplad till denna post men materialen potentiella återanvändning nämns.

2.4.2 Beräkning fukt i konstruktion

Beräkningar av potentiell risk för fukt i konstruktion vid olika RF i inomhusluft (40 – 60 %) och olika förutsättningar för utomhusklimat utförs. Beräkningen är utförd med klimatdata för den månad med lägsta medelutomhustemperatur och temperteratur vid DVUT i Mellansverige. Beräkningen utförs i tabellform och presenteras i ”Resultat” tabell 17-22.

Kolumn	Förklaring	Ekvation
Kolumn 1	Beskrivning ingående skikt	Typ
Kolumn 2	Skikttjocklek	d [m]
Kolumn 3	Värmekonduktivitet	[W/mK]
Kolumn 4	Värmemotstånd i skikt	(d/λ)
Kolumn 5	Temp differens över skikt	(R/ΣR)*(Ti-Tu)
Kolumn 6	Temp i skiktgränserna analogt med kolumnerna 5-6	
Kolumn 7	Mättnadsånghalt i skiktgränserna	Tabell
Kolumn 8	Ånggenomsläpplighetskoefficient i skikt	Tabell
Kolumn 9	Beräkning av ånghalter analogt med kolumnerna 4-6	(d/δ)
Kolumn 10	Beräkning av ånghalter analogt med kolumnerna 4-7	(Z/ΣZ*Vi-Vu)
Kolumn 11	Beräkning av ånghalter analogt med kolumnerna 4-8	
Kolumn 12	Relativ fuktighet i skiktgränserna	(V/Vs)

FIGUR 8 Förklaring av Tabell 17-22

2.4.3 Beräkning tidskonstant

Beräkning av tidskonstant (värmetröghet) för byggnaden med de olika isoleringsmaterialen. Materialen har olika värmekapacitet som kan ha betydelse för dimensioneringen av värmesystemet och det termiska klimatet inomhus. Beräkningen är utförd enligt ekvationen

$$Tb = S\,(mj * Cj \div Qtotal) * (1 \div 3600) \qquad (1)$$

Endast konstruktionsskikten 100 mm mätt inifrån får vara med i beräkningen. Resultatet presenteras i Tabell 23. Indata för förluster kommer från energiberäkningen i IDA ICE. Beräkningen finns presenterad i Bilaga 5.

2.4.4 Beräkning ekonomi

Beräkningar görs för materialkostnad och kostnad för värmeenergibehovet som beräknades i IDA ICE. Materialkostnaden är enbart för materialet i sig för ett typhus. Prisuppgifter för beräkningarna kommer från leverantörerna. Elpriset är hämtat från Energimarknadsinspektionens hemsida elpriskollen.se[14] och är ett ca pris för fast abonnemang med 6 månaders bindningstid.

3 Resultat

3.1 Kategori A1 – A3 Uppströms processer

(A1) Råmaterial Cellulosa ISOCELL Lambda + Evolution

Produkt	GWP per kg produkt	Kg produkt i typhus	GWP
Cellulosa 45kg/m³	– 1,42	3 272,0	– 4 646,2
Totalt			

Tabell.2 GWP Cellulosa råmaterial CO_2 upptag.

(A1) Råmaterial Glasull ISOVER Glasull

Produkt	GWP per kg produkt	Kg produkt i typhus	GWP
Glasull 15 kg/m³	1,65	1 090,7	1 799,65
Totalt			

Tabell.3 GWP Glasull råmateria.

(A1) Råmaterial Träfiber Hunton Flex

Produkt	GWP per kg produkt	Kg produkt i typhus	GWP
Träfiber 50kg/m³	– 1,7	3 635,5	– 6 198,6
Totalt			

Tabell.4 GWP Träfiber råmaterial CO_2 upptag.

(A3)Produktion fabrik Cellulosa ISOCELL Lambda + Evolution

Produkt	Energityp	Energikälla	Elmix	kWh/kg	kWh/m³	kWh/hus	GWP
Cellulosa 45kg/m³	Elektricitet	Svensk Vind	Svensk Grönt elval	0,09	4,05	294,5	3,5
		Svensk Vatten					
Totalt						294,5	3,5

Tabell.5 GWP Cellulosa produktion i fabrik.

(A3) Produktion fabrik Glasull ISOVER Glasull

Produkt	Energityp	Energikälla	Elmix	kWh/kg	kWh/m³	kWh/hus	GWP
Glasull 15 kg/m³	Elektricitet		Svensk mix	2,4	36	2 617,6	174
	Naturgas	Svensk Gas		2,5	37,5	2 726,7	1204
Totalt				**4,9**	**73,5**	**5 344,2**	**1378**

Tabell.6 GWP glasull produktion i fabrik.

(A3) Produktion fabrik Träfiber Hunton Flex

Produkt	Energityp	Energikälla	Elmix	kWh/kg	kWh/m³	kWh/hus	GWP
Träfiber 50kg/m³	Elektricitet		Polsk mix	0,52	26	1 890,5	2 001,8
	Ånga	Polsk Biomassa		0,83	41,5	3 017,5	51,9
	Naturgas	Polsk Gas		0,3	15	1 090,7	565,7
Totalt				1,65	82,5	**5 998,6**	**2 619,4**

Tabell.7 GWP träfiber produktion i fabrik

3.2 Kategori A4 – A5 Centrala processer

(A4)

Produkt	Geografi produktion	Transport	Km till Stockholm	Kg per transport	Kg CO_2 eq per tranporterat kg	GWP
Cellulosa 45kg/m³	Tibro SE	Lastbil 28ton	320	3272	0,0270	88,2
Glasull 15 kg/m³	Billesholm SE	Lastbil 28ton	555	1 090,7	0,0468	51,0
Träfiber 50kg/m³	Czarnków PL	Lastbil 28ton	1283	3 635,5	0,1081	393,0

Tabell.8 GWP Transport per typhus från fabrik till Stockholm

A5

Produkt	Maskin effekt	Kapacitet öppen inblåsning kg/h	Kapacitet stängd inblåsning kg/h	Kg isolering tak	Kg isolering vägg	kWh	GWP
Cellulosa 45kg/m³	11,6	1600	1000	1 519,2	1 752,8	31,3	2,1
Glasull 15 kg/m³	11,6	1600	1000	506,4	0	3,7	0,2
Träfiber 50kg/m³	11,6	1600	1000	1 688,0	0	12,2	0,8

Tabell.9 Installationsenergi med isoleringsmaskin.

3.3 Kategori B1 – B7 Nedströms processer drift

Resultat handeräkning U-värden

Konstruktion	Uu värde	Lambda U värde	U medelvärde
Cellulosa 45kg/m³	0,145714	0,155067	0,1502
Glasull 15 kg/m³	0,149606	0,140178	0,1447
Träfiber 50kg/m³	0,148926	0,157994	0,1533

Tabell.10 Handberäknad värmegenomgångskoefficient och värmekonduktivitet.

Resultat IDA ICE U-värden

Konstruktion	U värde
Cellulosa 45kg/m³	0,1565
Glasull 15 kg/m³	0,1445
Träfiber 50kg/m³	0,1591

Tabell.11 IDA ICE beräknad värmegenomgångskoefficient.

Resultat IDA ICE Värmeenergi

Konstruktion	Värmeenergi per år kWh
Cellulosa 45kg/m³	**5 149,4**
Glasull 15 kg/m³	**5 011,2**
Träfiber 50kg/m³	**5 198,8**

Tabell.12 Värmeenergianvändning under ett år med olika isolering i klimatskal.

Resultat Kategori B6 GWP

Konstruktion	U medelvärde hela byggnaden	Värmeenergi per år kWh	Värmeenergi kWh per m²	GWP 1år	GWP 50år
Cellulosa 45kg/m³	0,2461	**5 149,4**	**41,7**	339,9	16 993,0
Glasull 15 kg/m³	0,2403	**5 011,2**	**40,5**	330,7	16 537,0
Träfiber 50kg/m³	0,2477	**5 198,8**	**42,1**	343,1	17 156,0

Tabell.13 GWP baserat på beräknad energianvändning med Svensk elmix.

3.4 Kategori C1 – C4 Nedströms processer sluthantering

Resultat Kategori C3 Avfall

Konstruktion	Återanvändning	Materialåtervinning	Energiåtervinning	GWP
Cellulosa	JA	JA	JA	0
Glasull	JA	JA	Nej	0
Träfiber	JA	JA	JA	0

Tabell.14 Hur materialen kan avfallshanteras.

3.5 Kategori D Fördelar & Belastningar

Alla tre isoleringstyperna an återanvändas och materialåtervinnas men görs inte i någon vidare utsträckning. Energiåtervinning är möjlig och görs för cellulosa- och träfiberisolering men inte för glasull som vanligtvis hamnar i deponi. Energiåtervinningen får anses vara en positiv egenskap hos cellulosa- och träfiberisolering.

3.6 Resultat LCA

Kategori	Process	Cellulosa GWP Kg CO_2	Glasull GWP Kg CO_2	Träfiber GWP Kg CO_2
A1	Uppström	– 4 646,2	421,6	– 6 198,6
A2	Uppström	-	-	-
A3	Uppström	3,5	1 378,0	2 619,4
A4	Central	88,2	51,0	393
A5	Central	2,1	0,2	0,8
B1- B5	Nedström	-	-	-
B6*	Nedström	17 111,5	16 652,3	17 275,7
B7	Nedström	-	-	-
C1-C2	Nedström	-	-	-
C3	Nedström	0	0	0
C4	Nedström	-	-	-
D	Annat	-	-	-
Totalt		12 559,1	18 503,2	14 090,3

Tabell.15 Total GWP för materialen och berörda punkter.

**50 års energianvändning*

3.7 Resultat LCA Framställning, Transport och Installation

Kategori	Process	Cellulosa GWP Kg CO_2	Glasull GWP Kg CO_2	Träfiber GWP Kg CO_2
A1	Uppström	– 4 646,2	421,6	– 6 198,6
A2	Uppström	-	-	-
A3	Uppström	3,5	1 378,0	2 619,4
A4	Central	88,2	51,0	393
A5	Central	2,1	0,2	0,8
Totalt		– 4 552,4	1 850,8	– 3 185,4

Tabell.16 *Total GWP för materialen i A1-A5.*

3.8 Resultat fukt i väggkonstruktion

Tabellförklaring enligt FIGUR 8 *"Beräkningar fukt i konstruktion"*.

Resultat Beräkning fukt i skikt Cellulosa ISOCELL Lambda + Evolution medel temp vinter

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Skikt	d	lambda	R	DeltaT	T	Vs	δ	Z	Delta V	V	RF
	m	W/mK	m2K/W	°C	°C	g/m3	m2/s	s/m	g/m3	g/m3	%
					-4,10	3,49				2,9	83%
Utsida Rse=Rsi			0,130	0,3906							
					-3,71	3,6					
Isol	0,045	0,037	1,216	3,6539			0,000014	3214	0,2723		
					-0,06	5,08				3,172	62%
Isol (0,195/2)	0,0975	0,037	2,635	7,9168			0,000014	6964	0,5900		
					7,86	8,43				3,762	45%
Isol (0,195/2)	0,0975	0,037	2,635	7,9168			0,000014	6964	0,5900		
					15,78	13,54				4,352	32%
Ångbroms				0,0000				24000	2,0332		
					15,78	13,54				6,386	47%
Isol	0,045	0,037	1,216	3,6539			0,000014	3214	0,2723		
					19,43	16,68				6,658	40%
Gips	0,013	0,22	0,059	0,1775				3000	0,2542		
					19,61	16,88				6,912	41%
Insida Rsi vägg			0,130	0,3906							
					20,00	17,28				6,912	40%
Σ			8,022	24,10				47357,14	4,012		

10	11	12
Delta V	V	RF
g/m3	g/m3	%
	2,9	83%
0,51		
	3,41	67%
1,10		
	4,51	53%
1,10		
	5,60	41%
3,78		
	9,39	69%
0,51		
	9,89	59%
0,47		
	10,37	61%
	10,37	60%

Tabell.17 Resultat RF i materialskikt vid medeltemperatur i januari, 40- resp. 60 % RF inne för cellulosa.

Resultat Beräkning fukt i skikt Cellulosa ISOCELL Lambda + Evolution DVUT vinter

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Skikt	d	lambda	R	DeltaT	T	Vs	δ	Z	Delta V	V	RF
	m	W/mK	m2K/W	°C	°C	g/m3	m2/s	s/m	g/m3	g/m3	%
					-15,00	1,38				1,242	90%
Utsida Rse=Rsi			0,130	0,5672							
					-14,43	1,45					
Isol	0,045	0,037	1,216	5,3065			0,000014	3214	0,3848		
					-9,13	2,3				1,627	71%
Isol (0,195/2)	0,0975	0,037	2,635	11,4974			0,000014	6964	0,8338		
					2,37	5,71				2,461	43%
Isol (0,195/2)	0,0975	0,037	2,635	11,4974			0,000014	6964	0,8338		
					13,87	11,99				3,294	27%
Ångbroms				0,0000				24000	2,8735		
					13,87	11,99				6,168	51%
Isol	0,045	0,037	1,216	5,3065			0,000014	3214	0,3848		
					19,17	16,48				6,553	40%
Gips	0,013	0,22	0,059	0,2578				3000	0,3592		
					19,43	16,68				6,912	41%
Insida Rsi vägg			0,130	0,5672							
					20,00	17,28				6,912	40%
Σ			8,022	35,00				47357,14	5,670		

10	11	12
Delta V	V	RF
g/m3	g/m3	%
	1,24	90%
0,62		
	1,86	81%
1,34		
	3,20	56%
1,34		
	4,54	38%
4,63		
	9,17	76%
0,62		
	9,79	59%
0,58		
	10,37	62%
	10,37	60%

Tabell.18 Resultat RF i materialskikt vid DVUT, 40- resp. 60 % RF inne för cellulosa.

Resultat Beräkning fukt i skikt Glasull ISOVER Glasull medel temp vinter

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	10	11	12
Skikt	d	lambda	R	DeltaT	T	Vs	δ	Z	Delta V	V	RF	Delta V	V	RF
	m	W/mK	m2K/W	°C	°C	g/m3	m2/s	s/m	g/m3	g/m3	%	g/m3	g/m3	%
					-4,10	3,49				2,9	83%		2,9	83%
Utsida Rse=Rsi			0,130	0,3794										
					-3,72	3,6								
Vindskyddad fasadskiva	0,045	0,031	1,452	4,2368			0,00002	2250	0,0022			0,0042		
					0,52	5,01				2,9022	58%		2,90	58%
Isol (0,195/2)	0,0975	0,037	2,635	7,6911			0,000025	3900	0,0039			0,0073		
					8,21	8,37				2,9061	35%		2,91	35%
Isol (0,195/2)	0,0975	0,037	2,635	7,6911			0,000025	3900	0,0039			0,0073		
					15,90	13,54				2,9100	21%		2,92	22%
Plastfolie				0,0000				4000000	3,9972			7,4404		
					15,90	13,54				6,9072	51%		10,36	77%
Isol	0,045	0,037	1,216	3,5497			0,000025	1800	0,0018			0,0033		
					19,45	16,73				6,9090	41%		10,36	62%
Gips	0,013	0,22	0,059	0,1725				3000	0,0030			0,0056		
					19,62	16,88				6,9120	41%		10,37	61%
Insida Rsi vägg			0,130	0,3794										
					20,00	17,28				6,912	40%		10,37	60%
Σ			8,257	24,10				4014850	4,012					

Tabell.19 Resultat RF i materialskikt vid medeltemperatur i januari, 40- resp. 60 % RF inne för glasull.

Resultat Beräkning fukt i skikt Glasull ISOVER Glasull DVUT vinter

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	10	11	12
Skikt	d	lambda	R	DeltaT	T	Vs	δ	Z	Delta V	V	RF	Delta V	V	RF
	m	W/mK	m2K/W	°C	°C	g/m3	m2/s	s/m	g/m3	g/m3	%	g/m3	g/m3	%
					-15,00	1,38				1,242	90%		1,242	90,00%
Utsida Rse=Rsi			0,130	0,5510										
					-14,45	1,45								
Vindskyddad fasadskiva	0,045	0,031	1,452	6,1530			0,00002	2250	0,0032			0,0051		
					-8,30	2,46				1,2452	51%		1,25	51%
Isol (0,195/2)	0,0975	0,037	2,635	11,1696			0,000025	3900	0,0055			0,0089		
					2,87	5,86				1,2507	21%		1,26	21%
Isol (0,195/2)	0,0975	0,037	2,635	11,1696			0,000025	3900	0,0055			0,0089		
					14,04	12,06				1,2562	10%		1,26	10%
Plastfolie				0,0000				4000000	5,6490			9,0922		
					14,04	12,06				6,9052	57%		10,36	86%
Isol	0,045	0,037	1,216	5,1552			0,000025	1800	0,0025			0,0041		
					19,20	16,48				6,9078	42%		10,36	63%
Gips	0,013	0,22	0,059	0,2505				3000	0,0042			0,0068		
					19,45	16,68				6,9120	41%		10,37	62%
Insida Rsi vägg			0,130	0,5510										
					20,00	17,28				6,912	40%		10,37	60%
Σ			8,257	35,00				4014850	5,670					

Tabell.20 Resultat RF i materialskikt vid DVUT, 40- resp. 60 % RF inne för glasull.

Resultat Beräkning fukt i skikt Träfiber Hunton Flex medel temp vinter

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Skikt	d	lambda	R	DeltaT	T	Vs	δ	Z	Delta V	V	RF
	m	W/mK	m2K/W	°C	°C	g/m3	m2/s	s/m	g/m3	g/m3	%
					-4,10	3,49				2,9	83%
Utsida Rse=Rsi			0,130	0,4007							
					-3,70	3,6					
Isol	0,045	0,038	1,184	3,6500			0,000014	3214	0,2723		
					-0,05	4,84				3,172	66%
Isol (0,195/2)	0,0975	0,038	2,566	7,9083			0,000014	6964	0,5900		
					7,86	8,16				3,762	46%
Isol (0,195/2)	0,0975	0,038	2,566	7,9083			0,000014	6964	0,5900		
					15,77	13,37				4,352	33%
Ångbroms				0,0000				24000	2,0332		
					15,77	13,37				6,386	48%
Isol	0,045	0,038	1,184	3,6500			0,000014	3214	0,2723		
					19,42	16,68				6,658	40%
Gips	0,013	0,22	0,059	0,1821				3000	0,2542		
					19,60	16,88				6,912	41%
Insida Rsi vägg			0,130	0,4007							
					20,00	17,28				6,912	40%
Σ			7,819	24,10				47357,14	4,012		

10	11	12
Delta V	V	RF
g/m3	g/m3	%
	2,9	83%
0,51		
	3,41	70%
1,10		
	4,51	55%
1,10		
	5,60	42%
3,79		
	9,39	70%
0,51		
	9,90	59%
0,47		
	10,37	61%
	10,37	60%

Tabell.21Resultat RF i materialskikt vid medeltemperatur i januari, 40- resp. 60 % RF inne för träfiber.

Resultat Beräkning fukt i skikt Träfiber Hunton Flex DVUT vinter

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Skikt	d	lambda	R	DeltaT	T	Vs	δ	Z	Delta V	V	RF
	m	W/mK	m2K/W	°C	°C	g/m3	m2/s	s/m	g/m3	g/m3	%
					-15,00	1,38				1,242	90%
Utsida Rse=Rsi			0,130	0,5819							
					-14,42	1,46					
Isol	0,045	0,038	1,184	5,3008			0,000014	3214	0,3848		
					-9,12	2,3				1,627	71%
Isol (0,195/2)	0,0975	0,038	2,566	11,4850			0,000014	6964	0,8338		
					2,37	5,71				2,461	43%
Isol (0,195/2)	0,0975	0,038	2,566	11,4850			0,000014	6964	0,8338		
					13,85	11,91				3,294	28%
Ångbroms				0,0000				24000	2,8735		
					13,85	11,91				6,168	52%
Isol	0,045	0,038	1,184	5,3008			0,000014	3214	0,3848		
					19,15	16,39				6,553	40%
Gips	0,013	0,22	0,059	0,2645				3000	0,3592		
					19,42	16,68				6,912	41%
Insida Rsi vägg			0,130	0,5819							
					20,00	17,28				6,912	40%
Σ			7,819	35,00				47357,14	5,670		

10	11	12
Delta V	V	RF
g/m3	g/m3	%
	1,24	90%
0,62		
	1,86	81%
1,34		
	3,20	56%
1,34		
	4,54	38%
4,63		
	9,17	77%
0,62		
	9,79	60%
0,58		
	10,37	62%
	10,37	60%

Tabell.22 Resultat RF i materialskikt vid DVUT, 40- resp. 60 % RF inne för träfiber.

3.9 Resultat tidskonstant

Resultat Beräkning Tidskonstant

	Tid	Cellulosa	Mineralull	Träfiberull
Med btg	[h]	118,18	112,30	118,68
	dygn	4,92	4,68	4,95
Utan btg	[h]	7,89	1,04	7,93
	dygn	0,33	0,04	0,33

Tabell.23 Tidskonstant Värmetröghet för materialen med och utan betongplatta

3.10 Resultat ekonomi

Resultat Ekonomi Cellulosa ISOCELL inköp per typhus

Konstruktion Cellulosa	Pris kr / m³	Volym m³	Kostnad kr
Vägg 45 kg/ m³	250	38,95	9 737,5
Vind 28 kg/ m³	140	33,76	4 726,5
Total kostnad kr			14 464,0

Tabell.24 Kostnad för typhus i cellulosautförande

Resultat Ekonomi ISOVER Glasull inköp per typhus

Konstruktion Glasull	Pris kr / m³	Volym m³	Kostnad kr
45mm	255,6	6,15	1 571,7
45mm vindskydd	808,6	6,15	4 972,9
195mm	211,8	26,65	5 644,4
Lösull vind	241,3	33,76	8 146,9
Total kostnad kr			20 335,8

Tabell.25 Kostnad för typhus i glasullsutförande

Resultat Ekonomi Träfiber Hunton Flex inköp per typhus

Konstruktion	Pris kr / m³	Volym m³	Kostnad
45mm	495	12,30	6 088,5
195mm	445	26,65	11 859,3
Lösull vind	340	33,76	11 478,7
Total kostnad kr			29 426,5

Tabell.26 Kostnad för typhus i träullsutförande

Resultat Ekonomi drift 1år per typhus

Konstruktion	Pris kWh	Förbrukning kWh	Kostnad Kr/år
Cellulosa	75öre	5 149,4	3 862,05
Glasull	75öre	5 011,2	3 758,4
Träfiber	75öre	5 198,8	3 899,01

Tabell.27 Driftekonomi värme för ett år

4 Slutsats

4.1 Energi och miljö

Först och främst så visar resultatet att energiåtgången för att producera cellulosaisolering av återvunnet papper är extremt liten i jämförelse med produktionen av glasull och träfiberisolering. Skillnaden går givetvis även att utläsa av belastningen energimängden och energislaget utgör i form av CO_2 utsläpp. Jag blev själv förvånad över hur stor skillnaden var. Räknar man där till de negativa siffrorna för CO_2 utsläpp som både cellulosa- och träullsisolering erhåller genom kollagring i råvaran blir miljönyttan med valet ännu tydligare.

Energiförbrukning under materialets användningstid visade sig vara snarlikt och ingen avgörande faktor i valet av isoleringstyp. Glasullen vann matchen i tävlingen om lägst energianvändning, men det tre olika materialens resultat hamnade i spannet 40,5 – 42,1 kWh/m² År, alltså väldigt lika. Varför glasullen vann har med största sannolikhet att göra med det specialmaterial med lägre värmekonduktivitet (0,031 W/m K) som utgör den yttersta delen av klimatskalet och även fungerar som vindskydd. Utan detta material skulle glasullens resultat vara lika med cellulosan.

Glasull och träfiberull kräver stora mängder energi vid framställning, genom att välja cellulosaisolering framställt med returpapper istället för de två andra material kan man spara stora mängder energi och minska den globala uppvärmnings potential som process har. Ingående komponenter i glasullsisolering kan skada miljön och begränsar återvinningen, detta bör tas med i bedömningen av materialval. Cellulosa- och träullsisolering går förutom att återanvända och materialåtervinna också att energiåtervinna vilket inte är fallet med glasullen.

4.2 Teknisk Prestanda

Materialens prestanda gällnade värmekonduktivitet är snarlika varandra och resultatet från energiberäkningen visar på en liten skillnad i förbrukning av värmeenergi till glasullens fördel. Skillnaden är dock så liten att den inte kan anses ha någon betydelse för helhetsbedömningen. Som nämndes ovan beror skillnaden på specialmaterialet som används i lösningen med glasullsisoleringen.

Skillnader för materialens värmekapacitet visade sig inte ha den betydelse som jag trott och spelade inte någon avgörande roll i valet av isoleringsmaterial. Den högre värmekapaciteten för cellulosa- och träullsisoleringen är dock ett plus och ökar byggnadens tidskonstant något. Beräkningen är enbart gjord på klimatskalet och skulle även innerväggar isoleras med material som har högre värmekapacitet skulle tidskonstanten öka ytterligare.

Fukt- och mikrobiellettillväxtmotstånd kan vara avgörande när ett isoleringsmaterial ska väljas. Det är viktigt att noggrant välja material och konstruktionslösningar som passar ihop. Enligt de fuktberäkningar som utförts i detta arbete så visar resultatet att organiska isoleringsmaterial inte löper någon större risk för fuktskador än glasull vid rätt utförd konstruktion och normala förhållanden. Även om glasull i sig inte kan mögla och har ett högre kritiskt RF än organiskisolering så kan mögel ändå gro i materialet genom nedsmutsning och då sänks även nivån för kritiskt RF. Resultatet visar dock att risk finns vid extremt fukttillskott inomhus under de kallaste perioderna under året, men då gäller risken för hela konstruktionen inte bara isoleringen om den består av träregelstomme.

4.3 Ekonomi

Glasullsisolering anses vara ett relativt billigt isoleringsmaterial på marknaden och det är väldigt billigt om man ser till hur många förbrukade kWh per producerat kg material som det motsvarar. Det är dock inte fullt lika billigt i form av miljöpåverkan. De stora volymerna som tillverkas och säljs är nog en bidragande orsak till att priser är relativt lågt. Man skulle kunna spekulera i prisbilden för glasull vid energiprisökning eller om utsläppsrätter skulle bli mer avgörande men det är inte helt intressant här och nu.

Om man tittar på priset för träullen så är priset mer representativt för energiåtgången för framställningen. Kostnaden för isoleringen talar för cellulosaisoleringen som är billigast i inköp och starkt emot träullsisoleringen som nästan blir dubbelt så dyr. Glasullens prisläge hamnar nästan mitt i mellan. Ekonomin i brukningsfas för materialen representeras av värmeenergibehovet i byggnaden som materialet ingår i. Lägst värmeenergibehov och där med bäst resultat hade glasullen men skillnaderna är små och bedöms inte spela någon avgörande roll.

4.4 Slutligen

Miljö och hållbarhet tar mer plats i våra medvetanden nu än någonsin sedan innan den industriella revolutionen. Befolkningsmängden på jorden fortsätter att öka och behovet av energi, råvaror och vatten blir allt större. Om vi inte tillräckligt snabbt ser över och omformar vårt uttag av råvaror ur naturen riskerar vi att gå en dyster framtid till mötes. När vi finner hållbarare och effektivare alternativ bör vi använda dem, och i största möjliga mån begränsa användandet av sådant som har en negativ inverkan på vår planet och allt som lever här.

Byggvarubedömningen lämnar betyget REKOMMENDERAS för ISOCELL evolution lambda +, betyget ACCEPTERAS för ISOVER glasull. Hunton träfiberisolering går inte att hitta, men Pavaflex träfiberisolering får betyget Rekommenderas och Termoträ träfiberisolering betyget ACCEPTERAS.

Vill du som läser detta utveckla arbetet så bjuder jag dig att göra så. Ett första förslag är att arbeta vidare med de kategorirer i livscykelanalysen jag här har lämnat oarbetade. Andra förslaget till vidareutveckling är att undersöka brandegenskaperna för isoleringsmaterialen, här verkar det finnas spridda åsikter om vad som är bäst. Tredje förslaget är att utföra mer avancerade fuktberäkningar med t.ex. beräkningsprogrammet WUFI.

Referenser

[1] *Klimatpåverkan från byggprocessen*, En rapport från IVA och Sveriges Byggindustrier 2014
[2] Praktisk byggnadsfysik, Kenneth Sandin, Studentlitteratur 2010
[3]https://www.sp.se/sv/index/services/SPmonitor/Documents/Kritiska%20fukttillst%C3%A5nd%20mikrobiell%20p%C3%A5v%C3%A4xt.pdf 2016-05-03
[4] SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Enhet: Energiteknik, Per-Ingvar Sandberg, 2002-11-06
[5] Byggekologi, Maria Block, Svensk Byggtjänst 2009
131002**,** enligt Kretsloppsrådets riktlinjer maj 2007, 2013-10-02
[6] BYGGVARUDEKLARATION BVD 3 ISOCELL evolution bvd
[7] BYGGVARUDEKLARATION BVD 3 ISOVER glasull 01, enligt Kretsloppsrådets riktlinjer maj 2007, 2015-05-22
[8] BYGGVARUDEKLARATION BVD 3 Hunton Flex, enligt Kretsloppsrådets riktlinjer maj 2007, 2011-02-02
[9]http://www.gabi-software.com/sweden/index/, 2016-04-21
[10] *Tyréns handbok för livscykelanalyser och miljödeklarationer för Byggnader*, Version 1.0 2013-02-01 Kontaktperson: Ulf Wiklund/ Nadja Lundgren
[11] http://www.equa.se/se/ida-ice, 2016-04-21
[12] Projektering av VVS-installationer, Catarina Warfvinge Mats Dahlblom, Studentlitteratur 2010
[13] http://www.isocell.com/int/uploads/media/PDBL_ISOblow_PROFI_PLUS_DE_04.pdf 2016-04-26
[14] https://www.ei.se/sv/Elpriskollen/Avtal/?postnr=12832&forbrukning=5000&avtalstypId=0 2016-04-29
[17] EPD_ISOCELL_GaBi_20140825-Deutsch - oU(1)-swe-beglaubigt.pdf, 2014-08-25
[18] 141007 Hunton LCA WFI report_final_ekstern bruk.pdf, 2013-10-07
[19] SIS Förlag AB, *Hållbarhet hos byggnadsverk – Miljödeklarationer – Produktspecifika regler,* SS-EN 15804:2012+A1:2013
[20] https://byggvarubedomningen.se/ , 2016-05-11

Kemikalier

[k1] https://sv.wikipedia.org/wiki/Ammoniumsulfat 2016-04-22
[k2]http://www.ocinitrogen.com/Media%20Library/Ammoniumsulfat%20-%20S%C3%A4kerhetsdatablad.pdf 2016-04-22
[k3] Säkerhetsdatablad, Ammoniumpolyfosfat lösning APP 10-34-0, Agrium Europé, 2015-01-10
[k4] https://sv.wikipedia.org/wiki/Natriumsilikat 2016-04-22
[k5]http://www.alfort.se/Global/S%C3%A4kerhetsdatablad/Nitor/kemtech/Nitor%20Vattenglas%20Natron,%20SDB%202013.pdf 2016-04-25
[k6] https://sv.wikipedia.org/wiki/Magnesiumsulfat 2016-04-22
[k7] https://sv.wikipedia.org/wiki/Urea 2016-04-22
[k8] https://sv.wikipedia.org/wiki/Paraffin 2016-04-22
[k9] https://www.alfa.com/en/content/msds/swedish/H31661.pdf 2016-04-22
[k11] Säkerhetsdatablad, Polyolefin fibres, Fibervisions 2009-05-01

Bilagor

Bilaga 1 BVD ISOCELL **PDF**

Bilaga 2 BVD Glasull **PDF**

Bilaga 3 BVD Hunton **PDF**

Bilaga 4 IDA ICE modell 3D och data.



Customer		Delivered Energy Report	
Created by	Fredrik Myri	Building	
Location	Stockholm (Bromma)	Model floor area	123,6 m2
Climate file	SWE_STOCKHOLM_102612(SMHI-SVEBY)	Model volume	309,1 m3
Case	**Småhus examen Hunton Träull Flex**	Model ground area	61,8 m2
Simulated	2016-04-13 09:46	Model envelope area	283,7 m2
		Window/Envelope	8,70%
		Average U-value	0,2477 W/(K·m2)
		Envelope area per Volume	0,9181 m2/m3

Customer		Delivered Energy Report	
Created by	Fredrik Myri	Building	
Location	Stockholm (Bromma)	Model floor area	123,6 m2
Climate file	SWE_STOCKHOLM_102612(SMHI-SVEBY)	Model volume	309,1 m3
Case	**Småhus examen ISOVER glasull**	Model ground area	61,8 m2
Simulated	2016-04-13 10:13	Model envelope area	283,7 m2
		Window/Envelope	8,70%
		Average U-value	0,2403 W/(K·m2)
		Envelope area per Volume	0,9181 m2/m3

Customer		Systems Energy	
Created by	Fredrik Myri	Building	
Location	Stockholm (Bromma)	Model floor area	123,6 m2
Climate file	SWE_STOCKHOLM_102612(SMHI-SVEBY)	Model volume	309,1 m3
Case	**Småhus examen ISOCELL Lambda+Cellulosa**	Model ground area	61,8 m2
Simulated	2016-04-26 15:36	Model envelope area	283,7 m2
		Window/Envelope	8,70%
		Average U-value	0,2461 W/(K·m2)
		Envelope area per Volume	0,9181 m2/m3

Bilaga 5 Tidskonstant

Materialens tidskonstant Tb = (Smj * Cj / Qtotal) * (1/3600)

	Tid	Cellulosa	Mineralull	Träfiberull
Med btg	[h]	118,18	112,30	118,68
	dygn	4,92	4,68	4,95
Utan btg	[h]	7,89	1,04	7,93
	dygn	0,33	0,04	0,33

Mj = massa för respektive konstruktionsskikt [kg]
Cj = specifik värmekapaitet för respektive skikt [J/kgK]
Qtotal = byggnadens specifika värmeeffektförlust enligt PAVI 4.12

Totala förluster

Qtotal = Qt + Qv *(1-η) + Qov	[W/K]	84,42	83,68	84,06

Qtotal = byggnadens specifika värmeeffektförlust enligt PAVI 4.12
1 - h = återvinningsgrad i ventilation

Transmissionsförlust

Qt = (ΣU*A) + ($\Sigma\psi$k*ιk) + (ΣXj)	[W/K]	68,93	68,19	68,57

Σ = Summa
U = värmegenomgångstal för en byggnadsdel [W/m2K]
A = byggnadsdelens invändiga mått [m2]
ψ = värmegenomgångstal för linjära köldbryggor [W/mK]
ι = linjära köldryggors längd [m]
Xj = värmegenomgångstal för punktformiga köldbryggor [W/K]

Ventilationsförlust

Qv = ρ * Cp * qv	[W/K]	51,92	51,92	51,92

ρ = luftens densitet 1,2 [kg/m3]
Cp = luft specifik värmekapaitet 1000 [J/kgK]
qv = styrt ventilationsflöde [m3/s]

Luftläckage

Qov = ρ * Cp * qov	[W/K]	5,11	5,11	5,11

ρ = luftens densitet 1,2 [kg/m3]
Cp = luft specifik värmekapaitet 1000 [J/kgK]
qv = oavsiktigt ventilationsflöde [m3/s]