



Fakulteten för teknik- och naturvetenskap
Byggt teknik

Frida Pettersson

En jämförelse mellan mineralull och cellulosafiber

Hur valet påverkar energianvändning, miljö,
arbetsmiljö, kostnad och tidsanvändning

A comparison of mineral wool and cellulose fibre

Who the choice affect the energy use, the environment, the working
environment, the cost and the time usage

Examensarbete 22,5 hp
Byggingenjörprogrammet

Datum/Termin: VT -10
Handledare: Lars Kilstrom
Examinator: Malin Olin

Sammanfattning

Denna rapport är resultatet av ett examensarbete vid Karlstads universitet. I Sverige är det vanligt att en ytterväggskonstruktion med reglar isoleras med materialet mineralull. Sedan 1970-talet finns det ett till isoleringsmaterial tillgängligt, cellulosafiber. Vid val av material kan det finnas olika faktorer som påverkar valet. Examensarbetet behandlar ett antal av dessa faktorer som kan påverka vid valet mellan isoleringsmaterialen mineralull och cellulosafiber då en ytterväggskonstruktion ska isoleras. Syftet med detta examensarbete är att undersöka skillnader mellan isoleringsmaterialen, skillnader som kan uppstå vid framställning av material, arbete med material, kostnad och tidsanvändning vid installation. Målet med arbetet är att få fram det isoleringsmaterialet som är mest fördelaktigt.

Frågor har utformats inom tre huvudgrupper:

- Energianvändning och miljöpåverkan.
- Arbetsmiljö.
- Kostnad och tidsanvändning.

Rapportens första del består utav en teoridel som börjar med en genomgång av isoleringsmaterialen och därefter fakta för att få fram svar till områdena energianvändning, miljöpåverkan och arbetsmiljö.

Den andra delen av rapporten består utav en metoddel. Metoddelen beskriver hur teoridelen har använts och hur en multikriterieanalys har utformats. Multikriterieanalysen används för att få fram det isoleringsmaterialet som är mest fördelaktigt. Kalkyleringar har gjorts för att få fram kostnad och tidsanvändning för olika ytterväggskonstruktioner. Då undersökningsmaterialet som har funnits att tillgå inte ger någon tidsanvändning för installation av cellulosafiber har en teoretisk tidsanvändning för detta beräknats.

Vid framställning av mineralull går det åt större mängder energi än vid framställning av cellulosafiber. På grund av att mineralull kräver mer energi vid framställningen leder det även till större mängder utsläpp från energianvändningen.

SundaHus är en databas för byggvaror som värderar byggvarorna och ger dem hälso- och miljöbedömningar. Helhetsbedömningen från SundaHus är bättre för mineralull än för cellulosafiber. Båda materialen innehåller ämnen och har egenskaper som påverkar installatören negativt om installatören inte använder skyddsutrustning. Dock finns det källor som säger att cellulosafibern har en mindre påverkan på installatören än mineralull. Faktorer för hälsa och miljö som inte används i helhetsbedömningen från SundaHus är med i multikriterieanalysen.

Vid kalkylering har kostnader och tidsanvändning för olika ytterväggskonstruktioner beräknats. Vid isolering med mineralull blir väggkonstruktionerna billigare än väggkonstruktionerna med cellulosafiber. Däremot så blir tidsanvändningen för att uppföra en ytterväggskonstruktion mindre då cellulosafiber används som isolering. Detta gäller både då underentreprenör används och om byggarbetarna själva installerar cellulosafibern.

Med hjälp av den genomförda multikriterieanalysen blir slutsatsen att cellulosafiber är det mest fördelaktiga materialet.

Abstract

This report is the result of a degree project at Karlstad University. In Sweden, it is common for an exterior wall construction with studs to be insulated with the material mineral wool. Since the 1970s another insulation material is available, cellulose fibres. When selecting materials, there may be various factors influencing. The thesis deals with a number of these factors that can affect the choice of insulation materials, mineral wool and cellulose fibres, when an exterior wall construction shall be isolated. The aim of this thesis is to investigate the differences between the insulating materials, differences that may arise when manufacture in the materials, work with the material and differences in cost and time usage. The objective of the work is to point out the insulating material that is most advantageous. Queries are divided in to three main groups:

- Energy use and environmental impact.
- The working environment.
- Cost and time usage.

The first part of the report consists of a theory section that begins with a review of the insulating materials and facts in order to obtain answers to the areas of energy use, environmental impact and work environment.

The second part of the report consists of the method. The method part describes how the theory part has been used, and how a multi-criteria analysis has been designed. The multi-criteria analysis is used to obtain the insulating material that is most advantageous. Calculations have been made to obtain the cost and time usage for different exterior wall constructions. When the materials that have been available do not provide a time usage for the installation of cellulose insulation, a theoretical time usage for this has been calculated.

At the production of mineral wool, larger amounts of energy are used than in the production of cellulose fibres. Since the mineral wool production requires more energy, greater quantities of emissions from energy use will occur.

SundaHus is a database for construction products that values the construction products and gives them health and environmental assessments. The overall assessment from SundaHus is better for the mineral wool than for the cellulose fibre. Both materials include substances and have properties that affect the installer negatively when protective equipment is not used. However, there are other sources that say that cellulose fibres have a smaller impact on the installer than mineral wool. Factors for health and environment that are not used in the overall assessment from SundaHus are included in the multi-criteria analysis.

When calculating has costs and time usage for different exterior wall constructions been calculated. When isolating with mineral wool, the exterior wall constructions are cheaper than exterior wall constructions with cellulose insulation. However, less time is used with the cellulose insulation. This is valid both when subcontractors are used, and when construction workers themselves install cellulose insulation.

With the help of the multi-criteria analysis, the conclusion is that the cellulose fibre is the most advantageous material.

Innehåll

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och mål	1
1.3	Avgränsningar	2
1.4	Rapporten.....	2
2	Teori	4
2.1	Hållbar utveckling	4
2.2	Isolering	4
2.2.1	Mineralull	6
2.2.2	Cellulosafiber	7
2.3	Energianvändning, miljöpåverkan och arbetsmiljö	9
2.3.1	Mineralull	10
2.3.2	Cellulosafiber	13
2.4	Tidsanvändning vid hantering av isoleringsmaterial	15
2.4.1	Mineralull	15
2.4.2	Cellulosafiber	15
3	Metod	16
3.1	Energianvändning, miljöpåverkan och arbetsmiljö	16
3.2	Kostnad och tidsanvändning.....	17
3.2.1	Beräkningar	18
3.2.2	Kalkyleringar av ytterväggskonstruktion 8:01	19
3.2.3	Kalkyleringar av ytterväggskonstruktion 8:03 och 8:09	21
3.2.4	Teoretisk tidsanvändning vid installation av cellulosafiber	24
3.3	Multikriterieanalys.....	25
3.3.1	Del 1 av multikriterieanalys	25
3.3.2	Del 2 av multikriterieanalys	27
4	Resultat.....	28
4.1	Energianvändning, miljöpåverkan och arbetsmiljö	28
4.2	Kostnad och tidsanvändning.....	29
4.2.1	Kostnad.....	29
4.2.2	Tidsanvändning	30
4.3	Multikriterieanalys.....	31
5	Utvärdering.....	32
5.1	Energianvändning, miljö och arbetsmiljö.....	32
5.1.1	Resultat.....	32
5.1.2	Arbete och källor	33
5.2	Kostnad och tidsanvändning.....	33
5.2.1	Resultat.....	33
5.2.2	Arbete och källor	34
5.3	Multikriterieanalys.....	34
6	Slutsatser	36
7	Tackord.....	37
8	Referenslista	38
9	Bilagor	9-1
9.1	Bilaga 1 Uträkningar energianvändning och teoretisk tidsanvändning för cellulosafiber	9-1
9.1.1	Energianvändning för sprutmaskin från Thermofloc	9-1
9.1.2	Teoretisk tidsanvändning vid installation av cellulosafiber	9-1

9.2	Bilaga 2 U-värdes beräkningar	9-3
9.3	Bilaga 3 Indata till kalkyleringar	9-5
9.3.1	Reglar	9-5
9.3.2	Isolering.....	9-5
9.4	Bilaga 4 Kalkylering ytterväggskonstruktion	9-6

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Då ett beslut har fattats att en byggnad ska uppföras och behoven för den nya byggnaden är klarlagda påbörjas ett byggprojekt. Det första som görs i ett byggprojekt är en produktbestämning. Vid produktbestämningen bestäms hur den färdiga byggnaden ska vara konstruerad och se ut. En del av arbetet med produktbestämningen är att bestämma vilka material som huset ska vara konstruerat av. Regelväggar brukar i Sverige traditionellt isoleras med mineralull i form av skivor som placeras mellan reglarna. Sen 1970-talet finns även ett annat isoleringsmaterial tillgängligt, cellulosafiber. Detta material kan som lösull sprutas in i en regelvägg som klätts med plastfolie, eller sprutas direkt på väggen med så kallad fuktad cellulosafiber. Att isolera med fuktad cellulosafiber är en vanlig metod i USA men praktiseras vanligtvis inte i Sverige.

Med en hållbar utveckling menas att dagens behov ska tillgodoses utan att riskera kommande generationers möjligheter att tillgodose sina behov. Hållbar utveckling består utav tre delar; ekologisk hållbarhet, social hållbarhet och ekonomisk hållbarhet. Genom att välja isoleringsmaterial med dessa tre delar i åtanke kan en mer hållbar utveckling möjliggöras (Freilich & Jagrén 2002).

Det finns flera faktorer som kan påverka valet av isoleringsmaterial. Valet påverkas till exempel om specifika krav har angetts när behovet för byggnaden utretts. Den som beställer byggnaden ska ha kunskap om vilka isoleringsmaterial det finns att välja på, vilka egenskaper materialet har och dess fördelar respektive nackdelar. Exempel på ytterligare faktorer som kan påverka materialvalet är kostnad för material och arbete, tidsanvändning för installation av isoleringen samt miljöpåverkan. Denna rapport tar upp ett flertal skillnader mellan mineralull och cellulosafiber som till exempel uppstår vid arbete med materialen och vid kalkylering vilket leder till faktorer som kan väga in vid valet av isoleringsmaterial.

Kontakt har tagits med diverse företag som har eller kan ha haft kontakt med cellulosafiber med varierande resultat. Genom e-mail har kontakt fåtts med Sven-Åke Jarl från Thermofloc, ett företag som säljer cellulosafiber, som har bistått med vissa förtydliganden angående isoleringen. Birgitta Brattlund från Byggnyckeln har varit till hjälp med kalkyleringarna. Lars-Gunnar Johansson från NCC har gett råd och förmedlat möjliga kontakter.

Examensarbetet är skrivet på Karlstads universitet avdelningen för energi-, miljö-, och byggteknik. Handledare för arbetet har varit Lars Kilström och examinator Malin Olin.

1.2 Syfte och mål

Syftet med detta examensarbete är att undersöka de skillnader mellan mineralull och cellulosafiber för ytterväggskonstruktioner som kan påverka valet av isoleringsmaterial, såsom energianvändning, miljöpåverkan, kostnad, tidsanvändning och arbetsmiljö. Frågor som genomarbetas i rapporten och jämförs är följande:

Frågor inom områdena energianvändning, miljöpåverkan och arbetsmiljö:

- Hur skiljer sig energianvändningen vid framställning av mineralull och cellulosafiber?
- Finns det någon skillnad i energianvändningen vid installation av isoleringsmaterialen?
- Vid jämförelse mellan materialens sammanlagda energianvändning vid framställning och installation; har något av isoleringsmaterialen en totalt lägre energianvändning?
- Finns det några skillnader i mängden utsläpp från energianvändningen vid framställning?
- Har isoleringsmaterialen olika stor påverkan på installatörerna som arbetar med materialen?

Frågor inom områdena kostnad och tidsanvändning:

- Vad kostar väggkonstruktionerna med isoleringsmaterialen mineralull eller cellulosafiber?
- Finns det någon skillnad i tidsanvändning för installationen?

Målet med rapporten är att få fram det isoleringsmaterial som är mest fördelaktigt. Detta mål ska nås genom att värdera de svar som framkommer av frågorna och använda dem i en multikriterieanalys.

1.3 Avgränsningar

Avgränsningar har gjorts i form av att välja isoleringsmaterialen mineralull i form av skivor och cellulosafiber som är framställt av returpapper i form av lösull. I delar av rapporten kommer två specifika isoleringsmaterial att undersökas, mineralullen Isover träregelrulle och cellulosafibern Ekofiber. Installationen sker i en ytterväggskonstruktion med träreglar. Rapporten tar endast kort upp materialegenskaper och tyngdpunkten i arbetet ligger på övriga faktorer som kan påverka valet av isoleringsmaterial och som redovisas i syftet. I examensarbetet har ingen tyngd lagts på fukt- och brandegenskaper för cellulosafiber. Detta är komplexa områden som Jessica Tangen Nord, byggingenjörstudent vid Karlstads universitet, undersöker i sitt examensarbete. Rapporten beräknas vara klar i slutet av 2010.

1.4 Rapporten

Rapporten börjar med en teoridel som består utav fakta som ligger som en grund för att nå svar på frågorna som ställs i syfte och mål. Första delen av teorin består utav ett avsnitt om hållbar utveckling och en kort beskrivning av mineralull och cellulosafiber samt deras materialegenskaper. Därefter behandlas energianvändning vid framställning av materialen, utsläpp som uppstår från energianvändningen och energianvändning vid installation. SundaHus helhetsbedömning för miljö- och hälsa redovisas, ämnen i isoleringsmaterialen beskrivs och hur isoleringsmaterialen påverkar installatören. Avsnittet avslutas med faktorer som påverkar tidsanvändningen vid hantering av material.

Metoddelen beskriver hur fakta från teoridelen har använts för att nå målen och därefter kommer kalkylering av väggkonstruktioner med mineralull och cellulosafiber. Vid kalkylering har fyra ytterväggskonstruktioner beräknats. Två stycken väggkonstruktioner, en med mineralull och en med cellulosafiber, har ett högre U-värde. De två övriga

konstruktionerna, en med mineralull och en med cellulosafiber, har ett lägre U-värde. Denna del avslutas en multikriterieanalys som används för att sammanställa de olika delarna i rapporten.

Resultatdelen redovisar resultat som svarar på frågorna som är uppställda i syftet. Därefter kommer en utvärdering av resultaten och arbetet. Efter detta redovisar en slutsats vilket material som är att föredra i avseendena energianvändning, miljöpåverkan och hälsopåverkan av installatör samt kostnad och tidsanvändning. Med hjälp av en multikriterieanalys som sammanställer de olika områdena kan ett isoleringsmaterial redovisas som mest fördelaktig.

Delar av arbetet behandlar allmänt mineralull och cellulosafiber medans andra delar av arbetet behandlar en specifik mineralull eller cellulosafiber. Vid sökningar i databasen SundaHus har mineralullen Isover valts då mycket information om denna produkt har funnits och bland cellulosafiber har Ekofiber valts då den varit den enda cellulosafibern som funnits redovisad för tillfället. Då en specifik produkt behandlas i texten är detta angivet.

2 Teori

Teoridelen har utförts med hjälp av litteratursökning, databassökning, internet och kalkylering. Arbetet startade med en sökning bland examensarbeten i databasen Uppsök som är en nationell databas. Sökningar i databasen visade att det inte finns några rapporter eller artiklar som behandlar skillnader mellan mineralull och cellulosafiber. För att få en grund till arbetet gjordes en litteratursökning. Det följdes av sökningar i en rad databaser; Compendex (en databas med litteraturreferenser inom ingenjörsvetenskap), Byggtjänst, ByggTerm, Byggtorget och Energifakta. Sökmotorer som Google Scholar, Google och Scirus har använts. Genom universitetsbiblioteket i Karlstad har tillgång till e-böcker varit möjlig. Med hjälp av internet har information kunnat hämtas från amerikanska sidor om cellulosafiber och information om isoleringsprodukter. Databasen SundaHus har utnyttjats för att få isoleringsmaterialens hälso- och miljöbedömning och från Arbetsmiljöverket har information hämtats om mineralull. Med information från de angivna källorna har undersökning angående energianvändning, miljöpåverkan och arbetsmiljö genomförts.

2.1 Hållbar utveckling

Med en hållbar utveckling menas att dagens behov ska tillgodoses utan att riskera kommande generationers möjligheter att tillgodose sina behov. Hållbar utveckling består utav tre delar; ekologisk hållbarhet, social hållbarhet och ekonomisk hållbarhet (Freilich & Jagrén 2002). Enligt dem så kan följande punkter finnas under varje del:

Hållbar utveckling kan innebära följande för isoleringsmaterial:

- Ekologisk hållbarhet: Ett effektivt utnyttjande av alla typer av resurser. Materialen ska ha en så liten påverkan på miljön som möjligt. Medverka till en så låg energianvändning som möjligt för byggnader. Påverka positivt på byggnadens livslängd och kvalité.
- Socialt hållbart: Bidra till en hållbar arbetsplats som inte drabbar arbetarna med arbetsmiljörelaterade besvär. Sunda byggnader för dem som vistas i dem.
- Ekonomiskt: Bidra till en god och växande infrastruktur. Lönsamt för byggföretagen.

2.2 Isolering

Isolering används i byggnader för att sänka energikostnaderna och för bättre komfort inomhus. I ett större perspektiv leder en sänkning av energianvändning även till en minskning av utsläpp av växthusgaser. Hus började medvetet isoleras under slutet av 1800-talet, då med främst spån och halm, och detta gjordes för att öka komforten. Till en början var det tillgången på material som styrde materialvalet. Under andra världskriget hade människorna knappt med resurser och det inledde den moderna isoleringens historia. Oljekriserna som drabbade Sverige med många fler länder under 1970-talet ledde till ett ännu större intresse för olika energibesparande åtgärder. En av dessa åtgärder var ökad isolering av bostäder och lokaler (Miller et al. 2005). I Sverige har mineralull använts som isolering sedan början av

1900-talet i bostäder samt lokaler. Sedan 1970-talet har även ett annat isoleringsmaterial börjat lanseras på marknaden i form av cellulosafiber.

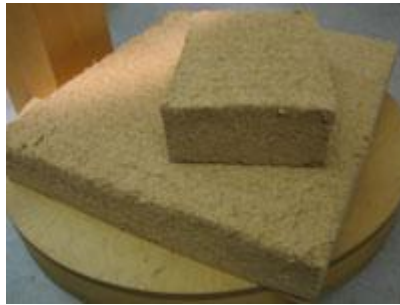
Nedan följer en förklaring av isoleringsmaterials egenskaper och förklaring av vissa begrepp som kommer att dyka upp i kommande avsnitt.

Värmeisoleringsmaterial är material som innehåller till största delen luft eller annan gas vilket ger materialet dess värmeisolerande förmåga. Detta innebär att värmeisoleringsmaterial är känsliga för luftrörelser eftersom dess funktion som värmeisolerare då försämras (Petersson 2004). Luftrörelserna kan vara påtvingade av till exempel vind eller lufttrycksskillnader mellan in- och utsida av en vägg eller så kan luftrörelserna uppkomma inuti en konstruktion, så kallad egenkonvektion. För att förhindra påtvingade luftrörelser ska isoleringen ha ett bra vindskydd och väggen ska vara så lufttät att genomblåsning inte kan ske. För att egenkonvektion inte ska uppstå måste isoleringen installeras så att spalter eller springor mellan isolering och väggkonstruktion inte uppstår. För att undvika egenkonvektion vid tjocka isoleringar vid mycket låga temperaturer måste isoleringsmaterialet ha en viss densitet för att inte luftgenomsläpligheten ska bli för stor (Abel & Elmroth 2006).

Vid beskrivning av isoleringsmaterial brukar värmekonduktiviteten anges och som betecknas med den grekiska bokstaven λ (lambda). Ett annat ord för värmekonduktivitet är värmeledningsförmåga. Detta är värmetransport som sker genom ledning, strålning och konvektion. λ_D är det värde som fåtts fram genom laboratorieförsök. Ju lägre värmeledningsförmåga desto bättre isolerar materialet. I isoleringsssammanhang beskrivs ibland R_D som är ett materials värmemotstånd och beräknas genom att dividera tjockleken på isoleringsmaterialet med värmeledningsförmågan. Ju högre detta värde är desto bättre isolerar konstruktionen (Abel & Elmroth 2006).

Med ånggenomgångsmotstånd menas ett materials motstånd att transportera fukt. Fukten kan transporteras genom konvektion, diffusion och kapillärsugning. Konvektion innebär att luften med sitt innehåll av vattenånga förflyttar sig med lufttrycksskillnader som drivkraft. Diffusion innebär att vattenånga rör sig från hög ånghalt mot låg ånghalt. Kapillärsugning har fukthaltsskillnader som drivkraft. Luftgenomsläplighet är ett luftläckage genom ett material eller konstruktion vilket innebär en stor betydelse för en byggnads energibehov (Petersson 2004).

2.2.1 Mineralull



Figur 1. Mineralull i form av skivor [1].

2.2.1.1 Materialet

Mineralull är ett samlingsnamn för sten- och glasull och kan levereras som lösull, mattor och skivor. Mineralull används som värme- och ljudisolering i väggar, bjälklag, golv och vindar. Sten- och glasull började tillverkas industriellt runt sekelskiftet och har framförallt använts sedan efter andra världskriget. Det finns ett flertal isoleringsföretag som producerar och säljer mineralull som till exempel Isover, Swedisol och Rockwool. Till stenull används i huvudsak diabas vilket är en magmatisk bergart som smälts tillsammans med koks vid ca 1600 °C. Glasull bildas genom att använda sand men även krossat glas som smälts vid 1400 °C (Burström 2007). Detta spinns sedan till fibrer. För att forma mineralullen till skivor tillsätts bindemedlet fenolharts. För att minska produktens dammbildning tillsätts paraffinolja i Isover och mineralolja i Rockwool. Mineralull i form av skivor säljs i olika tjocklekar från 45 mm till 195 mm. Dessa kan sedan kombineras i flera lager i väggkonstruktionen för att få önskad tjocklek. Standardbredderna är centrumavståndet 450 mm och 600 mm för väggkonstruktioner. Om väggen består utav varierande avstånd mellan reglarna eller har oregelbundna ytor kan skivorna skäras till önskad bredd.

2.2.1.2 Egenskaper

Materialet är oorganiskt, vilket innebär att det varken ruttnar eller möglar. Olika mineralull har olika densitet och varierar mellan 20 kg/m³ till 50 kg/m³ för vägg (Petersson 2004). Värmeledningsförmåga varierar mellan 0,030 W/mK till 0,039 W/mK (Burström 2007). Ånggenomgångsmotståndet är lågt och kan normalt försummas (Burström 2007). Den ljudabsorberande förmågan är bra vid både ljud och vibration. Fiber materialet är helt obrännbart (Burström 2007). Fenolhartsen klarar cirka 200 °C vilket innebär att detta är den högsta användningstemperaturen för mineralull (Isover 2010). När fenolhartsen har upphettats till över denna temperatur börjar bindemedlet att sönderdelas och bildar då rök och gaser som kan vara irriterande och hälsoskaddiga. Om produkten upphettas igen uppstår normalt inga problem (Isover). Materialet är luftgenomsläppligt så för att ingen konvektion ska uppstå i mineralullen behövs ett vindtätt material placeras på utsidan isoleringen. Ångspärr placeras på isoleringens varma sida för att hindra fukt från att vandra ut i konstruktionen genom konvektion eller diffusion (Isover 2007a).

Vid isolering med mineralull så är det viktigt att inte pressa ihop isoleringen då detta leder till att värmemotståndet minskar (Miller et al. 2005).

2.2.1.3 Installation

För att kunna installera mineralull i en regelvägg ska regler och vindskydd vara monterad. Ett vindskydd placeras på utsidan av reglarna och på insidan av väggen placeras en ångspärr. Arbetet utförs vanligtvis av byggarbetarna på byggarbetsplatsen. En mineralullsprodukt som är anpassad efter regelavstånden i väggen väljs. Regelväggskonstruktioner isoleras genom att mineralull placeras mellan reglarna.

2.2.2 Cellulosafiber



Figur 2. Cellulosafiber [2].

2.2.2.1 Materialet

Cellulosafibern är en värme- och ljudisolering som installeras torr i form av lösull. Den kan både användas för att isolera nya konstruktioner samt som tilläggsisolering i golv, väggar, vindar och tak. Cellulosafiber började produceras redan under 1800-talet men det var inte förrän början av 1900-talet som det blev stort i USA. På 1970-talet introducerades cellulosafibern i Sverige och var 1995 det vanligaste lösullsisoleringsmaterialet (Lundblad et al. 1995). Det finns idag flera företag som säljer cellulosafiber i Sverige som till exempel Warmcel, Thermofloc och Ekofiber. Cellulosafiber som redovisas i rapporten framställs från returpapper men kan även framställas från träfiber. Beroende på tillverkare så varierar andelen returpapper; cirka 79 % för Warmcel, cirka 90 % för Thermofloc och cirka 95 % för Ekofiber (Warmcel), (Thermofloc), (Ekofiber 1998). Pappret mals i två omgångar i en kvarn, först grovt och sen finare. Cellulosafiber lämpar sig speciellt bra i utrymmen med oregelbundna ytor, runt konstruktioner och andra svåråtkomliga ytor som är svåra att komma åt att isolera med isoleringen i form av skivor. Cellulosafibern kan skapa isoleringsskikt mellan 20 mm till 500 mm (Thermofloc).

2.2.2.2 Egenskaper

Materialet är organsikt och kommer att brinna om det inte behandlas. Brandhämmande medel som till exempel borsalter, borsyra, ammoniumsulfat blandas med cellulosafibern och fungerar även som skydd mot mögel och skadedjur. Med hjälp av brandhämmande tillsatser får cellulosafiber bra brandmotstånd (Miller et al. 2005). Vid brand avges i huvudsak koldioxid och vatten (Thermofloc).

Densiteten varierar mellan 46 kg/m^3 till 48 kg/m^3 för cellulosafiber i väggkonstruktion (Ekofiber 1998). Värmeledningsförmågan är cirka $0,039 \text{ W/mK}$ (Ekofiber 1998). Materialet är hygroskopiskt vilket innebär att isoleringen kan ta upp och buffra fukt. Isoleringen kan ta upp 5 % till 20 % av sin egen vikt (Bynum 2001). Det innebär att eventuella fuktläckage kan tas upp av cellulosafibern och på så sätt tar inte omgivande byggmaterial upp fukten. Fukten kan dock göra så att isoleringen sätter sig vilket leder till att värmeisoleringsförmågan sjunker

eftersom ett tomrum skapas i väggen. Med ett utvändigt vindskydd hindras inblåsning i isoleringen vilket minskar värmeförlusterna. Ett invändigt vindskydd eller plastfolie placeras på väggens insida. Vindskyddet ger väggen en lufttätning och om plastfolie används blir väggen både lufttät och diffusionstät (Ekofiber).

2.2.2.3 Installation

Installatören som utför installationen ska vara behörig enligt BOT, Beslut om tillverkningskontroll, som utfärdas av den statliga kontroll- och provningsanstalten, SP (Isoleringsentreprenörerna). Detta på grund av att den lösullsisolering som idag säljs i Sverige är typgodkänd. Det innebär att tillverkaren eller leverantören av isoleringen garanterar att produkten håller vad den lovar gällande brand, vikt och värmeisolering. Typgodkännandet gäller endast för installationen om behörig installatör utför den.

Isoleringen kan installeras på träreglar, utvändigt vindskydd, invändigt vindskydd eller plastfolie, glesregling invändigt och spikreglar för utvändigt panel är monterad (Ekofiber).



Figur 3. Installation av cellulosafiber i en träregelvägg [3].

Med hjälp av en sprutmaskin blåses cellulosafibern genom hål i tätskiktet in i ytterväggskonstruktionen mellan reglarna. Dessa hål försluts sen med anpassad tejp för tätskiktet. Installationen är fuktsäker då torr isolering från förpackningen transporteras genom en tät slang och direkt in i konstruktionen. Vid installation är det viktigt att få rätt densitet på cellulosafibern för att undvika framtida sättning (CIMA 1998).

2.2.2.4 Fuktad cellulosafiber

Fuktad cellulosafiber består utav samma ämnen som torr cellulosafiber, skillnaden är att vatten och ibland ett bindmedel har tillsatts. Detta görs för att cellulosafibern ska kunna installeras genom att sprayas direkt på konstruktionen. Fuktad cellulosafiber kan installeras på insidan av väggar av trä-, eller stålreglar, murade och betongväggar, och innertak som till exempel källartak och yttertak (Thermofloc). Att installera med fuktad cellulosafiber är en vanlig metod i USA. Då isoleringen ska installeras i en ytterväggskonstruktion kan isoleringen endast installeras i ny konstruktion på grund av att utrymmet måste vara öppet för att isoleringen ska kunna torka.

Densiteten ligger mellan 45 kg/m^3 och 55 kg/m^3 och har en värmeledningsförmåga på $0,042 \text{ W/mK}$ (Thermofloc). (Isover 2010) Med den fuktade cellulosafibern skapas isoleringsskikt mellan 30 mm till 60 mm (Thermofloc).

För att kunna installera fuktad cellulosafiber ska träreglar och utvändigt vindsydd vara monterat . Den fuktade cellulosafibern installeras direkt på väggen från insidan av byggnaden. Till detta används en sprutmaskin anpassad för fuktad cellulosafiber som med hjälp av tryckluft sprutar isoleringen på plats.



Figur 4. Fuktad cellulosafiber som sprutas på insidan av ytterväggen [4].

Efter att önskad tjocklek har uppnåtts med cellulosafibern ska överflödigt isolering tas bort och ytan jämnas till. Detta görs med en maskin, en så kallad ”stud scrubber”, som hyvlar av överflödigt cellulosafiber. Isoleringen som hyvlats bort kan sen återanvändas.



Figur 5. Överflödigt cellulosafiber hyvlas bort [5].

Efter att väggen jämnats till ska isoleringen torka innan invändigt material får installeras. Detta tar mellan 24 till 48 timmar beroende på tjocklek på isolering, klimat, fukthalt i luft och fukthalt i isoleringen vid installationstillfället (CIMA 2000).

2.3 Energianvändning, miljöpåverkan och arbetsmiljö

Vid val av material till en byggnad kan ett krav vara att materialen ska ha liten påverkan på miljön. Ett isoleringsmaterial påverkar till exempel miljön genom energianvändningen och dess utsläpp vid framställning. Ett annat krav som kan komma upp vid val av material är att materialen ska ha en så liten påverkan som möjligt på installatörerna som arbetar med materialen.

Följande information har till stora delar hämtats från databasen SundaHus. SundaHus är ett system för hälso- och miljöbedömning av produkter i bygg- och fastighetsbranschen. I databasen finns tillgänglig produktinformation från leverantörer och produktens hälso- och

miljöfarlighet som bedömts enligt SundaHus bedömningskriterier (Isacson 2009). SundaHus ger varje produkt en helhetsbedömning som består utav en bokstav och en pil. Enligt bedömningskriterierna får produkten poäng för olika egenskaper och dessa poäng summeras och resulterar i en bokstav; A (mer än 1 poäng), B (1 till minus 6 poäng), C (minus 7 poäng eller mindre) eller D (ingen eller ofullständig dokumentation) där A är bäst. De egenskaper som bedöms är följande:

- Kemiska faror.
- Hälssofarlighet vid tillverknings-, bygg-, och bruksskedet.
- Avfallshantering.
- Innehåll förnyelsebar material.
- Dokumentationens fullständighet.

Utöver bokstäverna får produkten en färgad pil som pekar upp eller ned.

Tabell 1. Pilar till helhetsbedömningen från SundaHus.

Pil	Poäng	Rekommendation
↑	5 poäng eller mer	Produkten rekommenderas
↑	3 poäng till 4 poäng	Produkten rekommenderas
↓	0 poäng till 2 poäng	Produkten rekommenderas inte
↓	minus 3 poäng till minus 1 poäng	Produkten rekommenderas inte
↓	minus 5 poäng till minus 2 poäng	Produkten rekommenderas inte

Färgerna har betydelse enligt SundaHus bedömningskriterier (Isacson 2009). Energiåtgången vid framställning och eventuell miljömärkning tas inte med i SundaHus hälso- och miljöbedömningen.

2.3.1 Mineralull

2.3.1.1 Energianvändning och utsläpp, Isover glasull

Vid framställning av Isover glasull krävs följande energianvändning(Isover 2007b):

- Elektricitet < 3 kWh/kg vilket motsvarar 10,8 MJ/kg

Från framställningen av Isover glasull uppstår följande utsläpp(Isover 2007b):

- Koldioxid < 500 g/kg färdig produkt
- Ammoniak < 3 g/kg färdig produkt
- Kväveoxider < 1 g/kg färdig produkt
- Stoft < 1 g/kg färdig produkt

Den energi som kan används vid installation är om elektriska sågar används för delning av skivor. Energi krävs för att driva dammsugare som används vid städning av installationen.

Till glasull används cirka 72 % återvunnet glas. Vid framställning uppstår restprodukter i form av glasfiberavfall. Detta material återvinns till 100 %.

2.3.1.2 Byggvarudeklaration, Isover glasull

Byggvarudeklaration för träregelrulle Isover från SundaHus databas (Isover 2007b).

Procenten anger andelen i den slutliga produkten.

- Glasull: Mer än eller lika med 90 %.
 - R38: Irriterar huden.
- Formaldehyd-fenol-urea copolymer, mindre än 10 %.
 - (Formaldehyd):
 - Ämne som uppfyller kriterierna för ett prioriterat riskminskningsämne enligt PRIO. PRIO är en databas från Kemikalieinspektionen med ämnen som företag bör prioritera bort för människors hälsa och miljön.
 - Ämnet finns upptaget i begränsningsdatabasen. Begränsningsdatabasen finns på Kemikalieinspektionens hemsida och innehåller ämnen som är begränsade enligt svensk lagstiftning.
 - R34: Frätande.
 - R40: Misstänks kunna ge cancer.
 - R43: Kan ge allergi vid hudkontakt.
 - R23/24/25: Giftig vid inandning, hudkontakt och förtäring.
 - (Fenol):
 - R34: Frätande.
 - R24/25: Giftig vid hudkontakt och förtäring.
- Paraffinolja

Ett ämnesnamn inom parentes indikerar att ämnet endast förekommer i tillverkningen, inte i den färdiga produkten.

2.3.1.3 SundaHus hälso- och miljöbedömning, Isover glasull

Tabell 2. Del av SundaHus miljöbedömning för mineralull Isover (SundaHus 2010b).

	Tillverkning	Byggskedet	Bruksskedet	Rivning
Hälssofarliga ämnen	Ja	Ja	Nej	Ja
Återanvändning		Ja		Ja
Materialåtervinning		Ja		Ja
Farligt avfall		Nej		Nej

Emballaget till mineralullen återvinns.

Helhetsbedömningen är B med ↓. Detta betyder att databasen SundaHus inte rekommenderar produkten, träregelrulle Isover, och det är på grund av att den innehåller mer än 2 % eller en okänd mängd av något eller några hälso- och/eller miljöfarliga ämnen. Detta/dessa ämnen finns kvar i den färdiga produkten och kan därför påverka installatören om inte fullgott skydd finns. Produkten innehåller hälssofarliga ämnen i tillverkningsskedet och byggskedet (SundaHus 2010b).

Följande påverkar helhetsbedömningen (SundaHus 2010b):

- Produkten innehåller minst ett prioriterat riskminskningsämne: - 1 poäng
Ett prioriterat riskminskningsämne är ett ämne med egenskaper som bör ges särskild uppmärksamhet enligt SundaHus bedömningskriterier. Urvalskriterierna är utformade efter delmål fyra i det nationella miljö kvalitetsmålet ”Giftfri miljö”.
- Hälssofarliga ämnen i tillverkningsskedet: - 1 poäng
- Hälssofarliga ämnen i byggskedet: - 2 poäng

- Materialet kan återanvändas: + 2 poäng
- Materialet kan återvinnas: + 1 poäng
- Produkten innehåller miljöfarliga ämnen: - 2 poäng

Följande har angetts men påverkar inte helhetsbedömningen:

- Minst ett prioriterat riskminskningsämne har använts vid tillverkningen av produkten.
- Ämne i mineralullen finns upptaget i begränsningsdatabasen. I begränsningsdatabasen finns regler om förbud och andra användningsbegränsningar som gäller i Sverige för ämnesgrupper och enskilda kemiska ämnen.
- Energianvändning vid tillverkning.

2.3.1.4 Mineralullens påverkan på installatör

Hudirritationer uppkommer främst vid direktkontakt med mineralullen (Arbetsmiljöverket 2005). Det är främst fibrer grövre än 5 µm som orsakar irritation i hud. Detta på grund av att fibrerna ger en mekanisk retning av huden. Hudirritationer kan även orsakas av tillsatsmedlet formaldehydharts som används som bindemedel. Vid hudirritation bör det undvikas att gnida och klia på området. Skölj huden under rinnande vatten (Isover 2010).

Om mineralullen hamnar i ögon och övre luftvägar orsakar mineralullen irritation och det är främst fibrer grövre än 5 µm som orsakar irritationen (Arbetsmiljöverket 2005). Fibrerna kan orsaka skada på slemhinnans celler och även stabiliteten på tårfilmens ytskikt. Om ögonirritation uppstår ska ögonen sköljas med riklig mängd kallt vatten och det bör undvikas att gnida i ögonen. Om irritation kvarstår bör läkare kontaktas. Vid andningsbesvär bör installatören lämna den dammiga platsen och andas frisk luft (Isover 2010).

Nivågränsvärdet för respirabla glasullsfibrer i luftburet damm är 1 fiber per cm³ luft (Arbetsmiljöverket 2005). Med respirabla fibrer avses fibrer med en diameter som är mindre än 3µm. Fibrer som är smalare än cirka 3µm passar djupt ner i luftrören och kan hamna i de finaste förgreningarna och lungblåsorna. Tidigare studier har visat en något förhöjd frekvens av lungcancer men det har dock inte verifierats i studier från senare år. IARC (International Agency for Research on Cancer, World Health Organisation) klassificerade år 2002 mineralull som icke klassificeringsbar vad gäller deras cancerframkallande egenskaper på människa. Detta på grund av att det finns begränsade bevis för tumörutveckling i djurstudier men otillräckliga bevis i studier på människor (Arbetsmiljöverket 2005). En viss andel av fibrerna i mineralull är mycket tunna och kan ge lungsjukdomar. På grund av detta tillsätts olja som minskar dammet från att uppstå.

2.3.1.5 Skyddsutrustning

Om gränsvärdet för luftburet damm på 1 fiber per cm³ luft överskrids ska andningsskydd användas (Arbetsmiljöverket 2005). Hudirritationer undviks med skyddskläder. Om arbete sker över huvudhöjd bör även ögonskydd användas (Isover 2010).

2.3.2 Cellulosafiber

2.3.2.1 Energianvändning och utsläpp, Ekofiber vägg

Vid framställning av Ekofiber vägg krävs följande energianvändning (Ekofiber 1998):

- Elektricitet 2,07 MJ/kg färdig produkt

Från framställningen av Ekofiber vägg uppstår följande utsläpp (Ekofiber 1998)

- Koldioxid 63 g/kg färdig produkt
- Kväveoxider 0,2 g/kg färdig produkt

Den energi som används vid installation är i form av elektriska sprutmaskiner. Thermofloc har en sprutmaskin för cellulosafiber, Meyer Thermoblow 1000, med effekten 7 kW och en bearbetningsmängd på 1400 kg/h (Thermofloc) (*Metod 3.1, Bilaga 1*). Energi kan gå åt till städning om dammsugare används.

87,3 % av cellulosafibern utgörs av tidningspapper och detta orsakar inga utsläpp. I den slutliga produkten redovisas innehållet tidningspapper 94 % på grund av att 7,6 % vatten tillsätts (Ekofiber 1998). Att inga utsläpp orsakas är på grund av att det är returpapper som används och denna tillverkningsprocess räknas inte in. Inget produktavfall uppstår vid framställning.

2.3.2.2 Byggvarudeklaration, Ekofiber vägg

Byggvarudeklaration för cellulosafiber, Ekofiber vägg, från SundaHus databas (Ekofiber 1998). Procenten anger del av slutliga produkten.

- Dagstidningar: 94 %.
- Borsalt: 5 %.
 - Ämnet uppfyller kriterierna för ett utfasningsämne enligt PRIO.
 - Ämnet finns upptaget på Europeiska kommissionens prioriteringslista över hormonstörande ämnen under kategori 1, vilket innebär att det finns vetenskapliga bevis för hormonstörande effekt i minst en djurart (inklusive människan).
 - R60: Kan ge nedsatt fortplantningsförmåga.
 - R61: Kan ge fosterskador.
- Järnoxid: 1 %.
 - R20/21/22: Farligt vid inandning, hudkontakt och förtäring.
 - R36/37/38: Irriterar ögonen, andningsorganen och huden.

Borsyra är en oorganisk syra som finns naturligt i havsvatten. Borsyra kan framställas industriellt och är en viktig ingrediens i kosmetiska och farmaceutiska produkter. Ämnet är antiseptiskt, fungerar som brandhämmande medel och används även till insektsbekämpning (Kemikalieinspektionen 2007). I kosmetika, som till exempel talk, får den högsta tillåtna koncentrationen vara 5 viktsprocent. Övriga kosmetiska produkter får högst ha koncentrationen 3 viktsprocent och i produkter för munhygien får den högsta tillåtna koncentrationen vara 1 viktsprocent (Swed Handling 2003).

2.3.2.3 SundaHus hälso- och miljöbedömning, Ekofiber vägg

Tabell 3. Del av SundaHus miljöbedömning för cellulosa Ekofiber (SundaHus 2010a).

	Tillverkning	Byggskedet	Bruksskedet	Rivning
Hälsosfarliga ämnen	Ja	Ja	Nej	Ja
Återanvändning				Ja
Materialåtervinning				Ja
Farligt avfall		Ja		Ja

Emballage till cellulosa Ekofiber kan återvinnas. Borsalter och cellulosa Ekofiber kan utvinnas från produkten och materialet kan användas för energiutvinning. Kasserat material rekommenderas inte att användas som jordförbättring på grund av risken för utlakning av borsalter (Ekofiber 1998).

Helhetsbedömningen är C med ↓. Detta betyder att SundaHus inte rekommenderar produkten, Cellulosa Ekofiber vägg, och det är på grund av att den innehåller minst 0,1 % av något eller några utfasningsämnen eller så har det vid tillverkningen av produkten förekommit mer än 2 % av ett utfasningsämne. Detta/dessa ämnen finns kvar i den färdiga produkten och kan därför påverka installatören om inte fullgott skydd finns (SundaHus 2010a).

Följande påverkar helhetsbedömningen (SundaHus 2010a):

- Produkten innehåller ett utfasningsämne: - 2 poäng
Ett utfasningsämne har så allvarliga egenskaper att det inte bör användas. Urvalskriterierna är utformade efter delmål fyra i det nationella miljö kvalitetsmålet "Giftfri miljö" samt är utformade till stora delar efter de kriterier som kommer att ligga till grund för godkännandeprövning inom REACH som är den nya europeiska kemikalielagstiftningen.
- Ett "H1"-ämne har använts vid tillverkningen av produkten: minuspoäng inte angivet av SundaHus.
"H1"-ämnena finns upptagna på Europeiska kommissionens kandidatlista över hormonstörande ämnen under kategori 1.
- Hälsosfarliga ämnen i tillverkningskedet: - 1 poäng
- Hälsosfarliga ämnen i byggskedet: - 2 poäng
- Materialet kan återanvändas: + 2 poäng
- Materialet kan återvinnas: + 1 poäng
- Farligt avfall: - 2 poäng
- Produkten innehåller förnyelsebara råvaror: + 2 poäng

Följande har angetts men påverkar inte helhetsbedömningen för något av isoleringsmaterialen:

- Ämnet har varit rekommenderat av Astma- och allergiförbundet.
- Energianvändning vid tillverkning.

Enligt Ekofibers varudeklaration så rekommenderas produkten av Astma- och allergiförbundet. Förbundet rekommenderar bland annat byggvaror som är fria från allergen och irriterande ämnen i sådan mängd att det inte finns några kända medicinska rapporterade fall. Vid kontakt med Astma- och allergiförbundet nekar Jan Olson till detta då Ekofiber var rekommenderad under en period på slutet av 90-talet men enligt Olson lämnade Ekofiber deras samarbete på grund av marknadsmässiga värderingar (Olson 2010). Detta innebär alltså att Ekofiber inte längre rekommenderas av Astma- och allergiförbundet.

2.3.2.4 Cellulosafibers påverkan på installatör

Cellulosafiber karakteriseras som ett hälsostörande damm men det är inte hälsovådligt (Bynum 2001). De flamskyddsmedlen som finns i cellulosaisoleringen betraktas som ofarliga enligt Bynum i *Insulation Handbook* (Bynum 2001). Dock så menar SundaHus att cellulosafiber från Ekofiber innehåller borsalt vilket kan påverka installatören negativt. När cellulosafiber sprutas in i en ytterväggskonstruktion har installatören en liten kroppskontakt med isoleringsmaterialet. Detta på grund av att isoleringen transporteras från sprutmaskinen, genom en slang och direkt in i konstruktionen. Den kontakt som uppstår med cellulosafibern är då materialet placeras i sprutmaskinen och från det material som kan komma ut genom hålet i tätskiktet.

Om irritation i luftvägar uppstår bör installatören lämna platsen och andas frisk luft. Vid irritation i ögon eller på hud sköljs området med vatten.

2.3.2.5 Skyddsutrustning

Andningsskydd ska användas (Ekofiber).

2.4 Tidsanvändning vid hantering av isoleringsmaterial

Tidsåtgången för hantering av isoleringsmaterial beror på hur logistiken av isoleringsmaterial sköts på arbetsplatsen och om isoleringen installeras av byggarbetarna eller underentreprenör.

2.4.1 Mineralull

Då mineralull ska installeras beställs detta till byggarbetsplatsen och det bör ske så nära installationstillfället som möjligt för att minska på behovet av lagringsytor. Från det att mineralullen levereras är det byggarbetarna som får sköta förvaring vilket innebär att isoleringen ska skyddas från väta och mekaniska skador, samt förflyttning till konstruktion som ska isoleras. Genom att förvara isoleringen så nära montageplatsen som möjligt undviks långa omflyttningar. Om mineralullen behöver delas för att passa i regelkonstruktion behövs skärbord och knivar. Arbetsområdet som installeras ska städas regelbundet från spill och emballage slängs i avsedd container (Isover).

2.4.2 Cellulosafiber

Om cellulosafiber installeras av underentreprenör tar denna hand om all hantering av isoleringsmaterialet. Detta innebär att underentreprenören ansvarar för lagring, förflyttning av isoleringsmaterial, installation och städning av arbetsplats (Ekofiber).

Då cellulosafiber installeras av byggarbetarna blir hanteringen densamma som för mineralull. Undantaget är att istället för skärbord och knivar behövs en sprutmaskin.

3 Metod

Metoddelen har utformats med hjälp av fakta från teoridelen, kalkyleringsböckerna Byggnyckel Kalkyl Blå och Grå samt information om sprutmaskin från Thermofloc. Byggnyckeln och information om sprutmaskinen har använts för att utforma kalkyleringar över kostnader och tidsanvändningen vid installation av mineralull eller cellulosafiber.

En multikriterieanalys utformas för att kunna jämföra de olika områdena som ställs i syfte och mål och för att kunna väga samman deras resultat. I en multikriterieanalys kan flera olika värden vägas samman, både mätbara och omätbara.

I följande del kommer inte fuktad cellulosafiber att behandlas. Detta på grund av att den endast kan installeras med den maximala tjockleken 60 mm och är därför inte aktuell för en vanlig ytterväggskonstruktion i en byggnad i Svenskt klimat.

3.1 Energianvändning, miljöpåverkan och arbetsmiljö

Vid energianvändning och miljöpåverkan har hänsyn tagits till inflöden för den producerade produkten samt utflöden i form av emissioner och restprodukter. Inflöden och utflöden för utvinning av råvaror till den färdiga produkten har inte beaktats. Energianvändningen för framställning har tagits fram för mineralull och cellulosafiber för att avgöra om något material har lägre energianvändning. Även miljöpåverkan i form av mängden utsläpp från energianvändningen jämförs för de olika isoleringsmaterialen. Beaktande har inte tagits till utsläppens påverkan på miljön. Det är fördelaktigt med låg energianvändning och låg mängd utsläpp.

Beräkning har utförts för energianvändning vid installation av cellulosafiber och återfinns i *Bilaga 1*. Energianvändningen för installationsmaskiner beräknas till 0,018 MJ/kg för Thermoflocs sprutmaskin med effekten 7 kW och bearbetningsmängden på 1400 kg/h. Inget beaktande har tagits för påverkan av miljön för energianvändningen vid installation. Städmaskiner försummas i detta arbete. En förutsättning för att det uppstår energianvändning vid tillskärning av mineralull är att elektriska sågar används. I detta arbete antas att mineralullen delas utan elektrisk såg. Energianvändning vid installation av cellulosafiber påverkar kostnaden för byggprojektet om materialet installeras av byggarbetarna.

Den totala energianvändningen för mineralull och cellulosafiber beräknas och jämförs för att se om något av materialen kräver totalt mindre energi vid framställning och installation. Detta görs genom att addera energianvändningen vid framställning med energianvändningen vid installation som redovisas i teoridelen:

- Total energianvändning mineralull:

$$10,8 + 0 = 10,8 \text{ MJ/kg}$$

- Total energianvändning cellulosafiber

$$2,07 + 0,018 = 2,088 \text{ MJ/kg}$$

SundaHus helhetsbedömning av mineralullsprodukten Isover och cellulosa-fibern Ekofiber har angetts för att kunna avgöra vilket ämne som är mest lämpligt att använda för att få en bra arbetsmiljö för installatörerna. Även ämnen som finns i isoleringsmaterialen samt deras påverkan har angetts för att kunna jämföra mineralullens och cellulosa-fibers utöver SundaHus bedömning. Det är framförallt en liten påverkan av installatör som är önskvärt men även att få ämnen finns i isoleringsmaterialet som kan påverka installatör.

3.2 Kostnad och tidsanvändning

Genom att utföra kalkyleringar kan skillnader i kostnad och tidsanvändning mellan ytterväggskonstruktioner med mineralull och cellulosa-fiber fås fram. Till kalkyleringen har två böcker användas, Byggnyckeln Kalkyl Blå och Grå. Byggnyckeln finns i tre delar i tryckt form samt som ett dataprogram. Till examensarbetet har den tryckta boken Byggnyckeln Kalkyl Blå och Grå 2009/2010 använts. Byggnyckeln Kalkyl Blå innehåller värdering av kostnader på färdiga tekniska lösningar vid nybyggnad och ombyggnad. För varje konstruktion redovisas teknisk information, tidsåtgång och priser för material, arbete, omkostnader och kostnader för om arbetet har genomförts av en underentreprenör. Detta redovisas för varje delmoment och totalt. Byggnyckeln Kalkyl Grå 2009/2010 används då det behövs upprättas egna kalkyler för till exempel tilläggs- och extraarbeten, tidsåtgång vid nybyggnad och ombyggnad. Då Kalkyl Blå endast innehåller färdiga väggkonstruktioner behövs Kalkyl Grå för att beräkna väggkonstruktioner då regler byts ut, isoleringstjockleken ändras eller vid isolering med cellulosa-fiber (Byggnyckeln).

Två olika alternativ kommer att jämföras, mellan ett högre, konstruktion 8:01, och ett lägre U-värde, konstruktion 8:03 och 8:09, för att se om isoleringstjocklek och väggkonstruktion har någon betydelse för kostnad och tidsanvändning. Vid jämförelse mellan väggkonstruktioner isolerade med mineralull eller cellulosa-fiber har konstruktionerna utformats så att de får likvärdiga U-värden. U-värde är ett mått på värmeläckage genom en konstruktion och mäts i W/m^2K . Ju lägre siffra desto bättre värde. Två olika väggkonstruktioner beräknas för det lägre U-värdet. Detta på grund av att mineralull kräver en annan typ av konstruktion än cellulosa-fiber vid tjockare isoleringsskikt. För väggkonstruktionerna med det lägre U-värdet har kostnad för byggmaterialet utan isoleringsmaterial beräknats. Detta för att undersöka om någon av ytterväggskonstruktionerna blir dyrare konstruktionsmässigt.

I Byggnyckeln Kalkyl Grå anges ingen tidsanvändning för installation av cellulosa-fiber. För att kunna jämföra tidsanvändning för installation kommer en teoretisk tidsanvändning att räknas ut för installation av cellulosa-fiber. I Kalkyl Grå och Blå kan tidsåtgången utläsas för installation av mineralull. I tidsåtgången är det inräknat monterings-tid och övrig tid som kan gå åt till exempel skötsel av redskap, verktyg, transporter inom arbetsplatsen, grovstädning, täckning och avtäckning av material samt mindre avbrott. För isoleringsmaterialet cellulosa-fiber anges i Kalkyl Grå endast en klumpsumma för kostnaden av installation per kvadratmeter då detta utförs av underentreprenör. Genom information om sprutmaskinen och dimensioner på ytterväggskonstruktionerna kan en teoretisk tid för installation av cellulosa-fiber beräknas. I denna tid ingår endast teoretisk monterings-tid och faktorer som kan förlänga installationstiden som till exempel mindre avbrott, förflyttning och skötsel av maskin, grovstädning, täckning och avtäckning av material och transporter inom arbetsplatsen är inte inkluderade.

3.2.1 Beräkningar

Detta kapitel förklarar hur beräkningar genomförs och förutsättningar för beräkningarna.

3.2.1.1 U-värdesberäkningar vid utformning av väggkonstruktioner

U-värdesberäkningar som har utförts och återfinns i *Bilaga 2* är förenklad. Uträkningen är baserad på att väggen är konstruerad av homogena materialskikt som alla ligger vinkelrätt mot värmeflödesriktningen. Värmemotståndet är räknat genom:

- Lockpanel
- Gipsskiva
- Total mängd isolering
- Plastfolie
- Gipsskiva

Ingen hänsyn har alltså tagits till regler. Beräknade U-värden finns vid respektive kalkylering av konstruktion.

3.2.1.2 Kalkylering med hjälp av Kalkyl Blå och Grå

Tabell 4. Kalkylering av regler. Värden hämtas från Kalkyl Grå, 2:01 och 2:05 (Byggnyckeln 2009b).

Material (kr/m ²)	Kostnad (kr/m) x 3,2 (m/m ²), eller (kr/m) x 2,9 (m/m ²)
Tid (h/m ²)	Tidsåtgång (h/m) x 3,2 (m/m ²), eller (kr/m) x 2,9 (m/m ²)
Arbete (kr/m ²)	Tid (h/m ²) x 145 (kr/h)
Omkostnader (kr/m ²)	Arbete (kr/m ²) x 1,6972
Underentreprenör: UE (kr/m ²)	-
Å-pris (kr/m ²)	Summa ovanstående

Tabell 5. Kalkylering av mineralull. Värden hämtas från Kalkyl Grå, 2:19 (Byggnyckeln 2009b).

Material (kr/m ²)	Enligt tabell från Kalkyl Grå 2:19
Tid (h/m ²)	Enligt tabell från Kalkyl Grå 2:19
Arbete (kr/m ²)	Tid (h/m ²) x 145 (kr/h)
Omkostnader (kr/m ²)	Arbete (kr/m ²) x 1,6972
Underentreprenör: UE (kr/m ²)	-
Å-pris (kr/m ²)	Summa ovanstående

Tabell 6. Kalkylering av cellulosafiber. Värden hämtas från Kalkyl Grå, 2:19 (Byggnyckeln 2009b).

Material (kr/m ²)	-
Tid (h/m ²)	-
Arbete (kr/m ²)	-
Omkostnader (kr/m ²)	-
Underentreprenör: UE (kr/m ²)	Enligt tabell från Kalkyl Grå 2:19
Å-pris (kr/m ²)	Enligt tabell från Kalkyl Grå 2:19

Vid kalkylering antas att materialet köps direkt från fabrik. Mängden är 2000 m² för mineralull och cellulosafiber och 4000 m för regler. Lönekostnaden är beräknat på grundvärdet 145 kr/h.

Omkostnaderna beräknas genom ett påslag på arbetet. Påslaget baseras på (Byggnyckeln 2009b):

- sociala kostnader 68,72 %
- arbetsledning 34 %
- administration 35 %
- spill, risk och vinst 10 %
- handverktyg och utrustning 6 %
- försäkringar och avgifter 6 %
- transportfordon, hyror och övrigt 21 %

Detta leder till ett påslag på 169,72 %. Detta är beräknat för ett medelstort företag med en omsättning på 10 miljoner kronor. Ingen hänsyn har tagits till företagsstöd. Utanför omkostnadspåslaget ligger traktamenten, resor, slutstädning och arbetsplatsomkostnader.

Det slutliga å-priset som räknas ut med hjälp av kalkyler från Kalkyl Blå, där nytt å-pris och tidstillägg tas fram, kommer inte att räknas ut då resultatet handlar om skillnaderna mellan att installera mineralull och cellulosafiber.

3.2.1.3 Teoretisk tidsanvändning för installation av cellulosafiber

Uträkningar för den teoretiska tidsanvändningen återfinns i *Bilaga 1*.

För installation av cellulosafiber av byggarbetarna kan en maskin från Thermofloc användas. Maskinen heter Meyer Thermoblow 1000 och har en effekt på 7 kW och en bearbetningsmängd på 1400 kg/h (Thermofloc). Reglarna beräknas vara 3,2 m höga med ett centrumavstånd på 0,6 m.

3.2.2 Kalkyleringar av ytterväggskonstruktion 8:01

För kostnad och tidsanvändning har information hämtats från Byggnyckel Kalkyl Grå och återfinns i *Bilaga 3*. En ytterväggskonstruktion omarbetas till två konstruktioner, den ena med isoleringen mineralull och den andra med cellulosafiber.

Följande grundkonstruktion och kalkylering har hämtats från Kalkyl Blå (Byggnyckeln 2009a):

Tabell 7. Från Kalkyl Blå, ytterväggskonstruktion 8:01 (Byggnyckeln 2009a).

	Material kr/m ²	Tid h/m ²	Arbete kr/m ²	Omkost. kr/m ²	UE kr/m ²	Å-pris kr/m ²
22 Lockpanel	150,53	0,60	87,00	147,60	0,00	385,13
34x70 Läkt c 600 2,90 m/m²	30,49	0,15	21,03	35,67	0,00	87,19
9 Gipsskiva + H-list	43,05	0,16	23,20	39,36	0,00	105,61
45x120 Regelstomme 3,20 m/m²	60,33	0,29	41,76	70,85	0,00	172,94
120 Mineralullsskiva	59,52	0,06	8,70	14,76	0,00	82,98
0,20 Plastfolie	7,37	0,03	4,35	7,38	0,00	19,10
13 Gipsskiva	34,96	0,17	24,65	41,82	0,00	101,43
Totalt	=386,26	=1,45	=210,69	=357,44	=0,00	=954,38

3.2.2.1 Ytterväggkonstruktion 8:01 med mineralull

För att få en väggkonstruktion med bättre U-värde har följande bytts ut i konstruktion 8:01, tabell 5:

- 45 x 120 mm reglar ersätts med 45 x 170 mm reglar.
- 120 mm mineralull ersätts med 170 mm mineralull.

Det resulterar i en väggkonstruktion med det ungefärliga U-värdet 0,193 W/m²K.



Figur 6. Väggbaukonstruktion 8:01 med mineralull.

Genom att ändra dimensionerna på reglarna och mineralullen fås en kalkyl enligt tabell 8.

Tabell 8. Kalkylering av omarbetad ytterväggkonstruktion med mineralull från Kalkyl Blå, 8:01.

	Material kr/m ²	Tid h/m ²	Arbete kr/m ²	Omkost. kr/m ²	UE kr/m ²	Å-pris kr/m ²
22 Lockpanel	150,53	0,60	87,00	147,60	0,00	385,13
34x70 Läkt c 600 2,90 m/m ²	30,49	0,15	21,03	35,67	0,00	87,19
9 Gipsskiva + H-list	43,05	0,16	23,20	39,36	0,00	105,61
45x170 Regelstomme 3,20 m/m ²	80	0,35	51,04	86,63	0,00	217,67
170 Mineralullsskiva	85	0,07	10,15	17,23	0,00	112,38
0,20 Plastfolie	7,37	0,03	4,35	7,38	0,00	19,10
13 Gipsskiva	34,96	0,17	24,65	41,82	0,00	101,43
Totalt	=431,4	=1,53	=221,42	=375,69	=0,00	=1028,51

- Tidsåtgången för installation av mineralull mellan två reglar som är 3,2 m höga och har ett avstånd på 0,6 m:
 $0,07 \cdot 3,2 \cdot 0,6 = 0,1344 \text{ h} = 8,06 \text{ min}$

3.2.2.2 Ytterväggkonstruktion 8:01 med cellulosafiber

För att få en väggkonstruktion med ett U-värde som ligger nära U-värdet för ytterväggkonstruktionen med mineralull, U = 0,193 W/m²K, har följande bytts ut i konstruktion 8:01, tabell 5:

- 45 x 120 mm reglar ersätts med 45 x 195 mm reglar.
- 120 mm mineralull ersätts med 195 mm cellulosafiber.

Det resulterar i en väggkonstruktion med det ungefärliga U-värdet 0,183 W/m²K.



Figur 7. Konstruktion 8:01 med cellulosafiber.

Cellulosafibern installeras av underentreprenör.

Genom att ändra dimensionen på reglarna och byta ut mineralull mot cellulosafiber fås en kalkyl enligt tabell 9. Installationen av cellulosafibern utförs av underentreprenör. Det innebär att tidsanvändningen för installationen inte är medräknad i kalkyleringen.

Tabell 9. Kalkylering av omarbetad ytterväggskonstruktion med cellulosafiber från Kalkyl Blå, 8:01.

	Material kr/m²	Tid h/m²	Arbete kr/m²	Omkost. kr/m²	UE kr/m²	Å-pris kr/m²
22 Lockpanel	150,53	0,60	87,00	147,60	0,00	385,13
34x70 Läkt c 600 2,90 m/m²	30,49	0,15	21,03	35,67	0,00	87,19
9 Gipsskiva + H-list	43,05	0,16	23,20	39,36	0,00	105,61
45x195 Regelstomme 3,20 m/m²	102,4	0,35	51,04	86,63	0,00	240,07
195 Cellulosafiber	0,00	0,00	0,00	0,00	210	210
0,20 Plastfolie	7,37	0,03	4,35	7,38	0,00	19,10
13 Gipsskiva	34,96	0,17	24,65	41,82	0,00	101,43
Totalt	=368,8	=1,46	=211,27	=358,46	=210	=1148,53

3.2.3 Kalkyleringar av ytterväggskonstruktion 8:03 och 8:09

För kostnad och tidsanvändning har information hämtats från Byggnyckel Kalkyl Grå och återfinns i *Bilaga 3*. Följande kommer två olika grundkonstruktioner att omarbetas. Den första grundkonstruktionen anpassas till en välisolerad ytterväggskonstruktion med mineralull och den andra till en välisolerad ytterväggskonstruktion med cellulosafiber. Två olika ytterväggskonstruktioner har valts på grund av att de två isoleringsmaterialen kräver olika konstruktioner.

Följande två grundkonstruktioner och kalkyleringar har hämtats från Kalkyl Blå:

Tabell 10. Från Kalkyl Blå, ytterväggskonstruktion 8:03 (Byggnyckeln 2009a).

	Material kr/m²	Tid h/m²	Arbete kr/m²	Omkost. kr/m²	UE kr/m²	Å-pris kr/m²
22 Lockpanel	150,53	0,60	87,00	147,60	0,00	385,13
34x70 Läkt c 600 2,90 m/m²	30,49	0,15	21,03	35,67	0,00	87,19
9 Gipsskiva + H-list	43,05	0,16	23,20	39,36	0,00	105,61
45x95 Regelstomme 3,20 m/m²	54,56	0,22	32,48	55,10	0,00	142,15
95 Mineralullsskiva	49,00	0,06	8,70	14,76	0,00	72,46
0,20 Plastfolie	7,37	0,03	4,35	7,38	0,00	19,10
45x45 Spikreglar 2,90 m/m²	26,73	0,15	21,03	35,67	0,00	83,43
45 Mineralullsskiva	27,48	0,06	8,70	14,76	0,00	50,94
13 Gipsskiva	34,96	0,17	24,65	41,82	0,00	101,43
Totalt	=424,17	=1,59	=231,13	=392,12	=0,00	=1047,43

Tabell 11. Från Kalkyl Blå, ytterväggskonstruktion 8:09 (Byggnyckeln 2009a).

	Material kr/m ²	Tid h/m ²	Arbete kr/m ²	Omkost. kr/m ²	UE kr/m ²	Å-pris kr/m ²
22 Lockpanel	150,53	0,60	87,00	147,60	0,00	385,13
34x70 Läkt c 600 2,90 m/m²	30,49	0,15	21,03	35,67	0,00	87,19
9 Gipsskiva + H-list	43,05	0,16	23,20	39,36	0,00	105,61
170 Lättregel 3,20 m/m²	248,63	0,29	41,76	70,85	0,00	361,24
170 Mineralullsskiva	85,37	0,07	10,15	17,22	0,00	112,74
0,20 Plastfolie	7,37	0,03	4,35	7,38	0,00	19,10
13 Gipsskiva	34,96	0,17	24,65	41,82	0,00	101,43
Totalt	=600,40	=1,46	=212,14	=359,90	=0,00	=1172,44

3.2.3.1 Ytterväggskonstruktion 8:03 med mineralull

Konstruktion 8:03, tabell 12, från Kalkyl Grå har omarbetats genom att:

- 95 mm reglarna ersätts med 195 mm lättreglar. Reglarna har bytts till lättreglar eftersom kommande ytterväggskonstruktion med cellulosafiber har lättreglar och priset för dessa är högre än för vanliga reglar. Även U-värdet kommer att påverkas vid en U-värdesberäkning på sammansatta skikt.
- 95 mm mineralull ersätts med 195 mm mineralull.
- 45 x 45 mm spikreglar ersätts med 45 x 70 mm spikreglar.
- 45 mm mineralull ersätts med 70 mm mineralull.

En välisolerad vägg med totalt 265 mm mineralull och lättreglar får ett ungefärligt U-värde på 0,128 W/m²K.



Figur 8. Ytterväggskonstruktion 8:03 med mineralull.

Genom att ändra från reglar till lättreglar och ändra dimensionerna på dessa och på mineralull fås en kalkyl enligt tabell 12.

Tabell 12. Kalkylering av omarbetad ytterväggskonstruktion med mineralull från Kalkyl Blå, 8:03.

	Material kr/m ²	Tid h/m ²	Arbete kr/m ²	Omkost. kr/m ²	UE kr/m ²	Å-pris kr/m ²
22 Lockpanel	150,53	0,60	87,00	147,60	0,00	385,13
34x70 Läkt c 600 2,90 m/m ²	30,49	0,15	21,03	35,67	0,00	87,19
9 Gipsskiva + H- list	43,05	0,16	23,20	39,36	0,00	105,61
195 Lättregel K12 3,20 m/m ²	227,2	0,29	41,76	70,88	0,00	339,84
195 Mineralull	96	0,07	10,15	17,23	0,00	123,38
0,20 Plastfolie	7,37	0,03	4,35	7,38	0,00	19,10
45x70 Spikreglar 2,90 m/m ²	34,8	0,20	29,44	49,96	0,00	114,2
70 Mineralull	36	0,06	8,7	14,77	0,00	59,47
13 Gipsskiva	34,96	0,17	24,65	41,82	0,00	101,43
Totalt	=660,4	=1,73	=250,28	=424,67	=0,00	=1335,35

Jämförande beräkningar har gjorts ifall det blir billigare att ta 170+95 mm mineralull inklusive regler. Detta visade att så inte var fallet. Beräkningar för detta återfinns i *Bilaga 4*.

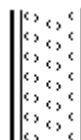
- Materialkostnad för väggkonstruktion utan isoleringsmaterial: 528,4 kr.
- Tidsåtgången för installation av mineralull mellan två regler som är 3,2 m höga och har ett avstånd på 0,6 m:
 $(0,07 + 0,06) \cdot 3,2 \cdot 0,6 = 0,2496 \text{ h} = 14,98 \text{ min}$

3.2.3.2 Ytterväggskonstruktion 8:09 med cellulosafiber

Konstruktion 8:09, tabell 13, från Kalkyl Grå har omarbetats genom att:

- 170 mm lättregel ersätts med 300 mm lättregel.
- 170 mm mineralull ersätts med 300 mm cellulosafiber.

En välisolerad vägg med totalt 300 mm cellulosafiber och lättreglar får ett ungefärligt U-värde på 0,123 W/m²K.



Figur 9. Konstruktion 8:09 med cellulosafiber.

Cellulosafibern installeras av underentreprenör.

Genom att ändra på dimensionerna på lättreglarna och byta mineralull mot cellulosafiber fås en kalkyl enligt tabell 13. Installationen av cellulosafibern utförs av underentreprenör. Det innebär att tidsanvändningen för installationen inte är medräknad i kalkyleringen.

Tabell 13. Kalkylering av omarbetad ytterväggskonstruktion med cellulosafiber från Kalkyl Blå, 8:09.

	Material kr/m ²	Tid h/m ²	Arbete kr/m ²	Omkost. kr/m ²	UE kr/m ²	Å-pris kr/m ²
22 Lockpanel	150,53	0,60	87,00	147,60	0,00	385,13
34x70 Läkt c 600 2,90 m/m ²	30,49	0,15	21,03	35,67	0,00	87,19
9 Gipsskiva + H- list	43,05	0,16	23,20	39,36	0,00	105,61
300 Lättregel K12 3,20 m/m ²	284,8	0,35	51,04	86,63	0,00	422,47
300 Cellulosafiber	0,00	0,00	0,00	0,00	323	323
0,20 Plastfolie	7,37	0,03	4,35	7,38	0,00	19,10
13 Gipsskiva	34,96	0,17	24,65	41,82	0,00	101,43
Totalt	=551,2	=1,46	=211,27	=358,46	=323	=1443,93

3.2.4 Teoretisk tidsanvändning vid installation av cellulosafiber

Uträkningar för den teoretiska tidsanvändningen återfinns i *Bilaga 1*.

Vid installation av 195 mm cellulosafiber tar det 0,0064 h/m². Det innebär att det tar 44 sekunder att isolera mellan två reglar som är 3,2 m höga och har ett centrumavstånd på 0,6 m.

Vid installation av 300 mm cellulosafiber tar det 0,0099 h/m². Det innebär att det tar 68 sekunder att isolera mellan två reglar som är 3,2 m höga och har ett centrumavstånd på 0,6 m.

3.3 Multikriterieanalys

För att få fram ett av isoleringsmaterialen som är mest fördelaktigt enligt de huvudområden som är uppställda i syftet har en multikriterieanalys utformats. I analysen kan flera olika faktorer, både mätbara och omätbara, vägas samman.

Inför multikriterieanalysen har huvudgrupperna delats upp i följande grupper:

- Energianvändning
- Miljöpåverkan
- Arbetsmiljö
- Kostnad och tidsanvändning

Detta för att få grupper med lika inbördes för att underlätta poängsättningen.

Multikriterieanalysen är uppdelad i två delar. Första multikriterieanalysen utförs genom att poängsätta de olika delarna inom varje huvudgrupp; energianvändning, miljöpåverkan, arbetsmiljö, kostnad och tidsanvändning. Poängsättningen är graderad från 1 poäng till 5 poäng där högst poäng är mest fördelaktigt. Det leder till att varje huvudgrupp kommer att få en poängsumma. I den andra multikriterieanalysen används poängen från den första multikriterieanalysen och viktas med huvudgrupperna. Viktningen är graderad från 1 till 4 där högst viktning är mest fördelaktiga.

3.3.1 Del 1 av multikriterieanalys

Del 1 av multikriterieanalysen går igenom varje grupp var för sig. Delområdena i varje grupp är tagna från rapporten. Vissa delar saknas från rapporten men är inkluderade i SundaHus hälso- och miljöbedömning. Poängen har fördelats på varje område och varje grupp kan maximalt få 25 poäng.

3.3.1.1 Energianvändning

Vid poängsättning av energianvändningen har poängen delats ut beroende på hur stor energianvändning som går åt till respektive isoleringsmaterial. Ju högre energianvändning desto lägre poäng.

Tabell 14. Poängsättning för energianvändning.

	Poäng				
	2,5	5	7,5	10	12,5
Energianvändning, framställning	8-10 MJ/kg	6-8 MJ/kg	4-6 MJ/kg	2-4 MJ/kg	0-2 MJ/kg
Energianvändning, installation	8-10 MJ/kg	6-8 MJ/kg	4-6 MJ/kg	2-4 MJ/kg	0-2 MJ/kg

Tabell 15. Poäng för energianvändningen.

	Mineralull	Cellulosafiber
Framställning	2,5	10
Installation	12,5	12,5
Summa	15	22,5

3.3.1.2 Miljöpåverkan

Poängsättningen har utformats enligt följande tabell.

Tabell 16. Poängsättning för miljöpåverkan.

	Poäng					
	0	1	2	3	4	5
SundaHus, från helhetsbedömningen		↓	↓	↓	↑	↑
Utsläpp, från energianvändning framställning		400-500g/kg	300-400g/kg	200-300g/kg	100-200g/kg	0-100g/kg
Energiutvinning	Nej		Ja			
Restprodukter vid framställning	Ja		Nej			
Andel återvunnet material		0-20%	20-44%	40-60%	60-8 %	80-100%

Tabell 17. Poäng för miljöpåverkan.

	Mineralull	Cellulosafiber
SundaHus helhetsbedömning	3	1
Utsläpp framställning	1	5
Energiutvinning	0	2
Restprodukter vid framställning	0	2
Andel återvunnet material	4	5
Summa	8	15

3.3.1.3 Arbetsmiljö

Poängsättningen är utformad enligt följande tabell. Eftersom den information som har hittats rörande arbetsmiljö inte är mätbara har en uppskattning gjorts. Från litteratur kan cellulosafiber uppskattas vara mindre skadlig för installatören vilket gör att den får en högre poäng.

Tabell 18. Poängsättning för arbetsmiljö.

	Poäng				
	2,5	5	7,5	10	12,5
SundaHus helhetsbedömning	↓	↓	↓	↑	↑
Litteratur		Mineralull		Cellulosafiber	

Tabell 19. Poäng för arbetsmiljö.

	Mineralull	Cellulosafiber
SundaHus helhetsbedömning	7,5	2,5
Arbetsmiljö, från litteratur	5	10
Summa	12,5	12,5

3.3.1.4 Kostnad och tidsanvändning

Poängsättningen för kostnad är utformad efter hur många procent dyrare cellulosafiber är jämfört med mineralullen. Det leder till att mineralullen får poängen 5 i samtliga fall för kostnaden. Poängsättningen för tid är utformad efter hur många procent mer tid som krävs vid en ytterväggskonstruktion med mineralull. Det innebär att cellulosafiber får poängen 5 i samtliga fall. Den teoretiska tidsanvändningen för enbart installation av cellulosafiber och tidsanvändningen för installation av mineralull har uteslutits ur multikriterieanalysen. Detta på grund av att den teoretiska tidsanvändningen för cellulosafiber inte är helt jämförbar med tidsanvändningen för mineralull.

Tabell 20. Poängsättning för kostnad och tidsanvändning.

	Poäng				
	1	2	3	4	5
Kostnad, antal procent dyrare för cellulosafiber	9,6-12 %	7,2-9,6 %	4,8-7,2 %	2,4-4,8 %	0-2,4 %
Tidsanvändning, antal procent mer för mineralull	14,8-18,5%	11,1-14,8%	7,4-11,1%	3,7-7,4%	0-3,7%

Tabell 21. Poäng för kostnad och tid.

	Mineralull	Cellulosafiber
Kostnad 8:01	5	1
Kostnad 8:03/8:09	5	2
Kostnad konstruktion	5	3
Cellulosafiber installeras av U.E. 8:01	4	5
Cellulosafiber installeras av U.E. 8:03/8:09	1	5
Summa	20	16

3.3.2 Del 2 av multikriterieanalys

Poängen är hämtade från den första delen av multikriterieanalysen. Viktningen är utformad efter hur stor betydelse de olika huvudgrupperna antas ha i ett byggprojekt. I följande multikriterieanalys antas kostnaden ha störst betydelse och får därför viktningen 4. Det isoleringsmaterialet som får högst antal poäng är det material som är fördelaktigt.

Tabell 22. Multikriterieanalys.

	Viktning	Mineralull	Cellulosafiber
Energianvändning	2	15	22,5
Miljöpåverkan	3	8	15
Arbetsmiljö	2	12,5	12,5
Kostnad och tidsanvändning	4	20	16
Summa		159	179

Enligt multikriterieanalysen är cellulosafiber mer fördelaktigt.

4 Resultat

Följande kommer resultat för områdena energianvändning, miljöpåverkan och arbetsmiljö samt kostnad och tidsanvändning.

4.1 Energianvändning, miljöpåverkan och arbetsmiljö

Energianvändning vid framställning:

- Mineralull 10,8 MJ/kg
- Cellulosafiber 2,07 MJ/kg

Energianvändning vid installation:

- Mineralull 0
- Cellulosafiber 0,018 MJ/kg

Total energianvändning:

- Mineralull 10,8 MJ/kg
- Cellulosafiber 2,088 MJ/kg

Miljöpåverkan

- Mineralull, Isover träregelrulle
 - Vid framställning av mineralull uppstår mindre än 505 g/kg utsläpp varav 500 g/kg består utav koldioxid.
 - Cirka 72 % av materialet består utav återvunnet material.
 - Materialet kan återanvändas och återvinnas.
 - Emballage återvinns.
 - Glasfiberavfall uppstår vid framställning. Materialet återvinns till 100 %.
- Cellulosafiber, Ekofiber lösull vägg
 - Vid framställning av cellulosafiber uppstår 63,2 g/kg utsläpp varav 63 g/kg består utav koldioxid.
 - 87 % av materialet består utav återvunnet material.
 - Materialet kan återanvändas och återvinnas. Kan användas för energiutvinning.
 - Emballage återvinns.
 - Avfall klassificeras som farligt avfall.

SundaHus ger helhetsbedömningen B med en orange pil ned för Isover glasull vilket innebär att produkten inte rekommenderas. Helhetsbedömningen av Ekofiber ger isoleringsmaterialet C med en svart pil ned vilket innebär att inte heller denna produkt rekommenderas. Det som skiljer sig mellan bedömningarna för isoleringsmaterialen är följande:

- Mineralullen:
 - Innehåller minst ett prioriterat riskminskningsämne: - 1 poäng.
 - Produkten innehåller miljöfarliga ämnen: - 2 poäng.
- Cellulosafiber:
 - Innehåller minst ett utfasningsämne: - 2 poäng.
 - Produkten innehåller ett ”H1”-ämne, både vid tillverkning och i den färdiga produkten: minus poäng inte angivet i SundaHus.

- Produkten innehåller förnyelsebara råvaror: + 2 poäng.
- Farligt avfall: - 2 poäng.

Energianvändningen vid framställning och eventuella annan miljömärkning räknas inte med i helhetsbedömningen från SundaHus. Cellulosafiber var märkt enligt Astma- och allergiförbundet tills slutet av 90-talet.

Mineralull irriterar huden vid direktkontakt med isoleringsmaterialet. Vid hög dammhalt i luften eller vid arbete över huvudhöjd och då fibrer lossnar från mineralullen kan ögon komma att irriteras. Övre och nedre delar av luftvägar irriteras vid inandning av damm från mineralullen. En viss andel av fibrerna i mineralullen är mycket tunna och kan ge lungsjukdomar. Produkten är icke klassificeringsbar vad gäller deras cancerframkallande egenskaper på människa.

Cellulosafibern påverkar installatören vid inandning och då dammhalten är hög. Irritation kan uppstå på hud och ögon. Flamskyddsmedlen anses enligt *Insulation Handbook* av Bynum som ofarliga men enligt SundaHus kan de ge fortplantnings- och fosterskador, är farligt vid inandning, hudkontakt och förtäring samt irriterar ögonen, andningsorganen och huden.

4.2 Kostnad och tidsanvändning

4.2.1 Kostnad

Följande två tabeller gäller då byggarbetarna installerar mineralull och underentreprenör installerar cellulosafibern:

Tabell 23. Å-pris från tabell 8 och 9.

	Å-pris, kr/m ²
Tabell 8 Mineralull, omarbetad konstruktion 8:01	1 028,51
Tabell 9 Cellulosafiber, omarbetad konstruktion 8:01	1 148,53

Att isolera med cellulosafiber innebär att väggen blir 120,02 kr/m² vägg dyrare. Det blir 11,7 % dyrare att installera en vägg med cellulosafiber.

Tabell 24. Å-pris från tabell 12 och 13.

	Å-pris, kr/m ²
Tabell 12 Mineralull, omarbetad konstruktion 8:03	1 335,35
Tabell 13 Cellulosafiber, omarbetad konstruktion 8:09	1 443,93

Att isolera med cellulosafiber innebär att väggen blir 108,58 kr/m² vägg dyrare. Det blir 8,1 % dyrare att installera en vägg med cellulosafiber.

Materialkostnad för ytterväggskonstruktion 8:03 och 8:09 utan isoleringsmaterial:

Tabell 25. Materialkostnad utan isoleringsmaterial för ytterväggskonstruktion 8:03 och 8:09.

	Å-pris, kr/m ²
Tabell 12 Mineralull, omarbetad konstruktion 8:03	528,4
Tabell 13 Cellulosafiber, omarbetad konstruktion 8:09	551,2

Materialkostnaden utan isolering blir 22,8 kr/m² dyrare för konstruktionen anpassad för 300 mm cellulosafiber. Det innebär att konstruktionen är 4,3 % dyrare.

4.2.2 Tidsanvändning

Följande två tabeller gäller för en kvadratmeter ytterväggskonstruktion då byggarbetarna installerar mineralull och underentreprenör installerar cellulosafibern:

Tabell 26. Total tid från tabell 7 och 8.

	Total tid, h/m²
Tabell 7 Mineralull, omarbetad konstruktion 8:01	1,53
Tabell 8 Cellulosafiber, omarbetad konstruktion 8:01	1,46

Det går åt 0,07 h/m², alltså 4,2 minuter/m², mindre tid att installera cellulosafiber. Det tar 4,6 % mindre tid att installera en vägg med cellulosafiber.

Tabell 27. Total tid från tabell från tabell 11 och 12.

	Total tid, h/m²
Tabell 11 Mineralull, omarbetad konstruktion 8:03	1,73
Tabell 12 Cellulosafiber, omarbetad konstruktion 8:09	1,46

Det går åt 0,27 h/m², alltså 16,2 minuter/m², mindre tid att installera cellulosafiber. Det tar 15,6 % mindre tid att installera en vägg med cellulosafiber.

Tidsanvändning för installation av isoleringsmaterial vid mängden 2000 m² och isoleringstjockleken 170 mm mineralull och 195 mm cellulosafiber:

- Mineralull 0,07 h/m²
 - Mellan två regler 8,06 min
- Cellulosafiber 0,0064 h/m² (teoretisk tidsanvändning)
 - Mellan två regler 44 sek

Tidsanvändning för installation av isoleringsmaterial vid mängden 2000 m² och isoleringstjockleken 265 mm mineralull och 300 mm cellulosafiber:

- Mineralull 0,13 h/m²
 - Mellan två regler 14,98 min
- Cellulosafiber 0,0099 h/m² (teoretisk tidsanvändning)
 - Mellan två regler 68 sek

Då underentreprenör installerar cellulosafibern sparar byggarbetarna tid. Detta genom att byggarbetarna inte behöver ta hand om hanteringen av isoleringsmaterialet och installation av isoleringsmaterial och kan använda sin tid till att arbeta på andra delar av byggnaden. Detta förutsätter att byggplaneringen anpassats efter att en underentreprenör kommer in i projektet. Om byggarbetarna själva installerar cellulosafibern blir tidsåtgången för hantering av material lika som för installation av mineralull.

4.3 Multikriterieanalys

Följande redovisas poängsummorna för varje delområde.

Tabell 28. Poängsumma för energianvändning.

	Mineralull	Cellulosafiber
Framställning	2,5	10
Installation	12,5	12,5
Summa	15	22,5

Tabell 29. Poängsumma för miljöpåverkan.

	Mineralull	Cellulosafiber
SundaHus helhetsbedömning	3	1
Utsläpp framställning	1	5
Energiutvinning	0	2
Restprodukter vid framställning	0	2
Andel återvunnet material	4	5
Summa	8	15

Tabell 30. Poängsumma för arbetsmiljö.

	Mineralull	Cellulosafiber
SundaHus helhetsbedömning	7,5	2,5
Arbetsmiljö, från litteratur	5	10
Summa	12,5	12,5

Tabell 31. Poängsumma för kostnad och tidsanvändning.

	Mineralull	Cellulosafiber
Kostnad 8:01	5	1
Kostnad 8:03/8:09	5	2
Kostnad konstruktion	5	3
Cellulosafiber installeras av U.E. 8:01	4	5
Cellulosafiber installeras av U.E. 8:03/8:09	1	5
Summa	20	16

Följande multikriterieanalys har utformats.

Tabell 32. Multikriterieanalys.

	Viktning	Mineralull	Cellulosafiber
Energianvändning	2	15	22,5
Miljöpåverkan	3	8	15
Arbetsmiljö	2	12,5	12,5
Kostnad och tidsanvändning	4	20	16
Summa		159	179

Enligt analysen är cellulosafibern det mest fördelaktiga isoleringsmaterialet.

5 Utvärdering

Utvärdering går igenom rapportens resultat och utfört arbete för att nå resultaten.

5.1 Energianvändning, miljö och arbetsmiljö

5.1.1 Resultat

Energianvändningen vid framställning skiljer sig tydligt mellan mineralull och cellulosafiber. Det går åt 8,73 MJ/kg mer energi för att framställa mineralull. Energianvändningen vid installation av cellulosafiber är liten och leder inte till någon större ökning av den totala energianvändningen. Det innebär att den totala energianvändningen är större för mineralull än för cellulosafiber.

Både mineralull och cellulosafiber leder vid framställning till påverkan av miljön. Vid beaktande av energiförbrukningen i framställningen och dess utsläpp innebär mineralull en större påverkan på miljön än cellulosafiber. Cellulosafibern består utav en större andel återvunnet material än mineralull vilket innebär en mindre andel nya materialresurser. Båda isoleringsmaterialen kan återanvändas och återvinnas men cellulosafiber kan även användas till energiutvinning. Vid framställning av mineralull uppstår restprodukter vilket inte är fallet för cellulosafiber. Cellulosafiber anses som farligt avfall och emballagen för båda produkterna återvinns.

Mineralullen får helhetsbedömningen B med en orange pil ned av SundaHus. Cellulosafibern får helhetsbedömningen C med en svart pil ned vilket innebär att mineralullen enligt SundaHus har en bättre helhetsbedömning än cellulosafiber. Det som drar ned poängen för mineralullen jämfört med cellulosafiber är att det innehåller minst ett prioriterat riskminskningsämne och innehåller miljöfarliga ämnen. Cellulosafibern får minuspoäng på grund av att det innehåller minst ett utfasningsämne och innehåller ett ”H1”-ämne. Produkten får även minuspoäng för farligt avfall men pluspoäng för att det innehåller förnyelsebara råvaror.

Både mineralull och cellulosafiber påverkar installatör negativt om inte skyddsutrustning används. Huvuddelen av Isover glasull, glasullfibern, är irriterande för huden och påverkar installatören vid inandning. De ämnen som ingår i bindemedlet ska inte finnas i den slutliga produkten. Hur det slutliga bindemedlet påverkar installatören framgår inte av SundaHus. Vid arbete med mineralull bör skyddskläder användas och vid hög dammhalt i luften ska ett andningsskydd användas. Huvuddelen av cellulosafiber är returpapper som påverkar installatören vid inandning av dammet som uppstår. Det flamskyddande medlet i cellulosafibern påverkar installatören enligt SundaHus. Enligt andra källor har inte de flamskyddande medlen som används i cellulosafiber någon skadlig påverkan. Vid arbete med cellulosafiber ska ett andningsskydd användas. Då mineralull installeras har installatören kontakt med isoleringsmaterialet under hela installationen. Då cellulosafiber installeras i en ytterväggskonstruktion har installatören endast kontakt med isoleringsmaterialet då detta fylls på i maskinen och om cellulosafiber läcker ut ur ytterväggskonstruktionen.

5.1.2 Arbete och källor

Vid miljöpåverkan skiljde sig informationen från byggvarudeklarationerna mellan mineralull och cellulosafiber. För att få en mer tydlig bild av miljöpåverkan vid framställning av de olika isoleringsmaterialen kan en undersökning göras om de ingående materialens energianvändning och miljöpåverkan. Detta har inte utförts i detta arbete på grund av tidsaspekten.

Energianvändningen för installation av cellulosafiber är beräknad på antal kg isoleringsmaterial i en ytterväggskonstruktion. Mer energi kan anta användas för installation då sprutmaskinen förmodligen inte stängs av då installatören förflyttar sig mellan reglarna och för diverse andra småavbrott i arbetet för installatören.

Installatören påverkas om denna inte använder skydd vid installation av mineralull eller cellulosafiber. Mer information om hur isoleringsmaterialen påverkar installatören har sökts men på grund av svårigheter att förstå de kemiska ämnenas påverkan då dessa tillsatts i isoleringsmaterialen har ingen mer betydande information kunnat tas fram.

SundaHus är ett hjälpmedel vid val av material. I databasen ser man snabbt vilket helhetsomdöme som respektive material har och hur varje material påverkar miljö och hälsa. För att få en tydlig bild över hur bedömningarna har gjorts bör läsaren sätta sig in i hur dessa har utformats. En del som inte är med i helhetsbedömningen är materialets energianvändning vid framställning. Examensarbetet kan visa på att denna skiljer sig markant mellan mineralull och cellulosafiber. Detta innebär att mineralullen har en större miljöpåverkan än vad som redovisas i helhetsbedömningen. I helhetsbedömningen för mineralull får inte isoleringsmaterialet några minuspoäng för att formaldehyd finns med i begränsningsdatabasen och är ett prioriterat riskminskningsämne enligt PRIO. Byggvarudeklarationerna redovisar varje ingående ämne för varje material och deras påverkan på miljö och hälsa. Något som inte redovisas är ämnenas påverkan i förhållande till koncentrationen i materialet. Borsyra är till exempel ett ämne som vid 100 % koncentration orsakar skador på människor. Detta är ett ämne som är tillåtet i kosmetika vid koncentrationen 3 viktsprocent. En annan brist med SundaHus är att inte alla byggvaror finns representerade. Bland cellulosafiber finns endast Ekofiber med, och Isover är dominerande bland mineralullen. Det SundaHus bygger sin bedömning på är material som kommer från tillverkare och återförsäljare. En felaktig uppgift som har upptäckts under arbetets gång är att Ekofiber inte längre rekommenderas av Astma- och allergiförbundet, något som Ekofiber anger att de gör. Detta finns med i materialet från Ekofiber, men är dock inget som påverkar SundaHus helhetsbedömning.

5.2 Kostnad och tidsanvändning

5.2.1 Resultat

Tidsanvändningen hänger ihop med kostnaden men har i resultatet redovisats separat. Detta för att kunna se hur tidsanvändningen skiljer sig mellan mineralull och cellulosafiber.

Då underentreprenör installerar cellulosafibern blir ytterväggskonstruktionerna med både högre och lägre U-värde dyrare än om byggarbetarna installerar mineralull. Enbart ytterväggskonstruktionen med det lägre U-värdet utan cellulosafiber är dyrare än motsvarande

konstruktion utan mineralull. Vid prisjämförelse blir ytterväggskonstruktionen med högre U-värde och isolerad med cellulosafiber 10,4 % dyrare än den med isoleringen mineralull. Ytterväggskonstruktionen med lägre U-värde installerad med cellulosafiber är 7,5 % dyrare än konstruktionen isolerad med mineralull. Det visar att det inte blir lika stor prisskillnad vid tjockare isoleringsskikt cellulosafiber. I ett byggprojekt så blir prisskillnaden för ytterväggskonstruktionerna relativt liten om man ser till ett helt byggprojekt.

Då underentreprenör installerar cellulosafibern blir arbetstiden mindre för både ytterväggskonstruktionen med lägre och högre U-värde. För att tiden för hela byggprojektet ska bli mindre gäller att byggprojektet planerats efter att en underentreprenör kommer in och att byggarbetarna har andra arbetsuppgifter att utföra under den tid som underentreprenören utför installation.

Vid tidsberäkning av installation för endast isoleringsmaterialet blir tidsanvändningen betydligt mindre för installation av cellulosafiber. Även om det här endast har kunnat uträknas den teoretiska tidsanvändningen för installation av cellulosafiber så antas att det även vid tillägg av omkringliggande tidsfaktorer går snabbare att installera cellulosafiber.

5.2.2 Arbete och källor

Kalkylering har utförts för att jämföra kostnad och tidsanvändning mellan väggkonstruktioner med isoleringsmaterialen mineralull och cellulosafiber. För att se om isoleringsskiktets tjocklek påverkar tidsanvändning och kostnad har detta undersökts. Till kalkyleringen har därför en tunnare och ett tjockare isoleringsskikt beräknats. Väggkonstruktionerna har försökt utformats så att de får samma U-värde. Detta har inte helt uppnåtts på grund av dimensionerna på reglar och mineralull. U-värdeberäkningen är förenklad så för mer exakt U-värde bör dessa uträkningar göras om.

Då lättregel används i ytterväggskonstruktionen med cellulosafiber blir resultatet något missvisande på grund av att lättreglarna är isolerade med mineralull. Dock så har dessa används då det inte fanns oisolerade lättreglar i Kalkyl Grå. Vid oisolerade lättreglar kommer mängden cellulosafiber att öka något för att fylla ut utrymmet.

Då kalkyleringsböckerna från Byggnyckeln har använts är de kostnader och tidsangivelser som är angivna i rapporten endast generella. Skillnader i kostnader kan uppstå beroende på om det är ett stort företag eller ett litet företag som utför arbetet och hur stort byggprojektet är. Priser för material kan variera bland annat beroende på konkurrensläge, geografiskt läge och inköpsmängd.

5.3 Multikriterieanalys

Multikriterieanalysen ger ett värde på hur isoleringsmaterialen är jämfört med varandra. Med hjälp av poängsättning och viktning fås ett mått på hur bra isoleringsmaterialen är. Enligt den utförda multikriterieanalysen är cellulosafibern det material som är mest fördelaktigt med de poäng och viktningar som har angetts.

I första delen av multikriterieanalysen får cellulosafibern mer poäng i grupperna energi och miljö. Mineralullen får högre poäng i gruppen kostnad och tid och båda isoleringsmaterialen har fått lika poäng i gruppen arbetsmiljö. Det överensstämmer enligt teori och metod i rapporten.

De två ursprungliga grupperna har delats upp i fyra grupper få grupper med liknande innehåll och därmed underlätta poängsättningen.

Beroende på hur poängsättningen och viktning utförs kan resultatet variera. I den första delen av multikriterieanalysen där poängsättningen utfördes kan flera delmoment i varje grupp inkluderas. De flesta delmoment har varit mätbara och därmed relativt enkla att poängsätta. Omätbara värden är svårare att poängsätta och kan beroende på de fakta som funnits varieras. För varje nytt byggprojekt kan en ny poängsättning behöva göras beroende på till exempel kostnad och om ytterligare delmoment uppstår.

I multikriterieanalysen har kostnad den högsta viktningen eftersom det har antagits vara det mest väsentliga i ett byggprojekt. Då varje byggprojekt är unikt kan andra viktningar ges. Om ett byggprojekt har kravet att det ska vara miljövänligt, till exempel vid byggnation av en ekoby, kan miljöpåverkan viktas högre. Med tanke på konceptet ”hållbar utveckling” bör viktningen bli högre för grupperna energianvändning, miljöpåverkan och arbetsmiljö. Om en högre viktning för dessa utförs är cellulosafiber fortfarande det material som är mer fördelaktigt med skillnaden att cellulosafiber får ännu högre slutpoäng och mineralullen får ännu lägre slutpoäng.

6 Slutsatser

För en hållbar utveckling bör ett isoleringsmaterial väljas som är ekologisk hållbart, socialt hållbart och ekonomisk hållbart. De delar som har behandlats i rapporten visar på att cellulosafiber bidrar mer till en hållbar utveckling än isoleringsmaterialet mineralull. Cellulosafibern största nackdel i ett hållbart perspektiv är att den innehåller borsyra. Borsyra är ett utfasningsämne enligt PRIO och ämnet finns upptaget på Europeiska kommissionens prioriteringslista över hormonstörande ämnen under kategori 1. Dock så innehåller även mineralull ämnen som enligt PRIO är ett prioriterat riskminskningsämne och som finns upptaget på begränsningsdatabasen.

Vid beaktande av energianvändning och energianvändningens utsläpp är cellulosafiber att föredra framför mineralull. Detta på grund av att cellulosafiber har en lägre energianvändning och mindre mängd utsläpp än mineralull. Cellulosafiber innehåller även en större del återvunnet material.

Enligt SundaHus helhetsbedömning för miljö- och hälsa är mineralullen att föredra. Detta beror till stor del på att cellulosafibern innehåller minst ett utfasningsämne och innehåller ett ”H1”-ämne. Vid helhetsbedömningen är inte energianvändningen vid tillverkning angiven och det finns inte angivet hur de ingående ämnena påverkar installatören i förhållande till sin koncentration.

Både installatörer av mineralull och cellulosafiber påverkas av isoleringsmaterialen. Meningarna går isär om hur stor inverkan cellulosafiber har på installatören. Vid installation av cellulosafiber i ytterväggskonstruktion har materialet den fördelen att installatören endast har en liten kontakt med materialet.

Då underentreprenör används för installation av cellulosafiber blir väggkonstruktionerna med cellulosafiber dyrare än konstruktionerna med mineralull. Dock så är prisskillnaden som uppstår relativt liten om man jämför med kostnader för övriga delar i en byggnad. Med cellulosafiber kan tid sparas i ett byggprojekt, både då cellulosafibern installeras av underentreprenör och av byggarbetarna.

Enligt multikriterieanalysen är cellulosafibern det isoleringsmaterial som är mer fördelaktigt.

Arbetet kan vidareutvecklas genom att ta in kostnaden för materialet cellulosafiber om byggarbetarna själva ska installera. Variabler för tidsanvändningen vid installation av cellulosafiber behöver komplettera den teoretiska tidsanvändningen för att få en tid som är jämförbar med tidsanvändningen för mineralull. Med detta kan en fullständig kalkylering för ytterväggskonstruktion med cellulosafiber göras. Denna vägg kan då jämföras med en ytterväggskonstruktion med mineralull gällande tidsanvändning och kostnad.

7 Tackord

Ett stort tack vill jag rikta till Lars Kilström som har varit min handledare på Karlstad Universitet. Jag vill också tacka Lars-Gunnar Johansson på NCC som bistått med råd och möjliga kontakter. Tack till Sven-Åke Jarl på Thermofloc har hjälpt till med förtydliganden angående sin cellulosafiberprodukt. Ett stort tack vill även ritkas till Birgitta Brattlund på Byggnyckeln som har hjälpt mig med frågor och funderingar om hur kalkylering har genomförts i Kalkyl Blå.

8 Referenslista

- Abel, E. & Elmroth, A. (2006). *Byggnaden som system*. (1 uppl.). Stockholm: Formas.
- Arbetsmiljöverket (2005). *Arbetsmiljöverkets föreskrifter om syntetiska oorganiska fibrer och allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna*. [Elektronisk]. Tillgänglig: http://www.av.se/dokument/afs/afs2004_01.pdf [2010-03-31].
- Burström, P.G. (2007). *Byggnadsmaterial: uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. (2 uppl.). Lund: Studentlitteratur.
- Byggnyckeln (2009a). *Byggnyckeln Kalkyl Blå*. (1 uppl.). Göteborg: BirBra konsult.
- Byggnyckeln (2009b). *Byggnyckeln Kalkyl Grå*. (1 uppl.). Göteborg: BirBra konsult.
- Byggnyckeln *Produktinformation*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://byggnyckeln.se/default.aspx?page=2> [2010-04-08].
- Bynum, R. (2001). *Insulation Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- CIMA (2000). *Standard Practice for the Installation of Sprayed Cellulosic Wall Cavity Insulation*. [Elektronisk]. Tillgänglig: www.cellulose.org/userdocs/TechnicalSpecifications/CIMA-TechnicalBulletin03.pdf [2010-03-18].
- CIMA (1998). *Cellulose insulation: codes, regulations, and specifications*. [Elektronisk]. Tillgänglig: www.cellulose.org/userdocs/TechnicalSpecifications/CIMA-TechnicalBulletin01.pdf [2010-04-09].
- Ekofiber (1998). *Byggvarudeklaration-SundaHus*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.sundahus.se/shmd2/default.asp?WCI=ShowProduct&WCU=3063> [2010-04-06].
- Ekofiber *Information*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.ekofiber.se/> [2010-04-06].
- Freilich, D. & Jagrén, L. (2002). *Sveriges Byggindustriers program för hållbart byggande*. [Elektronisk]. Tillgänglig: http://www.bygg.org/files/publikationer/Program_hallbar_20020918.pdf [2010-05-20].
- Isacson, K. (2009). *SundaHus Miljödata Bedömningskriterier*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.sundahus.se/custom/reference/Bedomningskriterier.pdf> [2010-04-06].
- Isoleringsentreprenörerna *Beslut om tillverkningskontroll*. [Elektronisk]. Tillgänglig: http://www.isolerarna.se/info/artiklar/beslut_om_tillverkningskontroll/ [2010-03-31].
- Isover (2010). *Säkerhetsdatablad*. [Elektronisk]. Tillgänglig: http://www.isover.se/files/Isover_SE/Om_Isover/Miljo_halsa/Sakerhetsdatablad/Sakerhetsdatablad_glasull.pdf [2010-04-09].
- Isover (2007a). *Arbetsanvisningar yttervägg*. [Elektronisk]. Tillgänglig: http://www.isover.se/files/Isover_SE/Produkter/Byggisolering/Arbetsanvisningar/2007/Arb_anv_yttervagg_allmant_2007.pdf [2010-04-27].

- Isover (2007b). *Byggvarudeklaration-SundaHus*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.sundahus.se/shmd2/default.asp?WCI=ShowProduct&WCU=4373> [2010-04-06].
- Isover *Arbetsanvisningar*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.isover.se/produkter/byggisolering/arbetsanvisningar> [2010-04-27].
- Kemikalieinspektionen (2007). *Borsyra*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://apps.kemi.se/flodessok/floden/kemamne/borsyra.htm> [2010-05-20].
- Lundblad, D., Ödeen, K. & Björk, F. (1995). *Cellulosaisolering - en litteraturstudie*. (1 uppl.). Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.
- Miller, M.R., Miller, R. & Leger, E. (2005). *Complete Building Construction (5th Edition)*. (5 uppl.). Indianapolis: John Wiley & Sons.
- Olson, J. (2010). *Astma- och allergiförbundet*.
- Petersson, B. (2004). *Tillämpad byggnadsfysik*. (2 uppl.). Lund: Studentlitteratur.
- SundaHus (2010a). *Miljödatablad för Ekofiber*. [Elektronisk]. Tillgänglig: http://www.sundahus.se/shmd2/default.asp?WCI=ShowShmdSheet&WCU=3063_63753 [2010-04-06].
- SundaHus (2010b). *Miljödatablad för Isover*. [Elektronisk]. Tillgänglig: http://www.sundahus.se/shmd2/default.asp?WCI=ShowShmdSheet&WCU=4373_63746 [2010-04-06].
- Swed Handling (2003). *Säkerhetsdatablad Borsyra*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.swedhandling.com/pdf/75.pdf> [2010-05-20].
- Thermofloc (a). *Byggvarudeklaration*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.thermofloc.se/dokument/certifikat/byggvarudeklaration.pdf> [2010-04-06].
- Thermofloc (b). *Information*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.thermofloc.se/default.asp> [2010-04-06].
- Warmcel *Varudeklaration*. [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.warmcel.se/page.php?page=3> [2010-04-06].

Referenser figurer

- [1] Gård och torp [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.gardochoorp.se/hall-kylan-bortamed-ratt-isolering.aspx?article=5861> [2010-04-01]
- [2] Charles and Hudson [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.charlesandhudson.com/archives/materials/2007/02/> [2010-04-01]
- [3] Sjömarkens isolering [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.sjomarkens.se/byggentrepr/yttervagggar.html> [2010-04-06]

[4] Traco [Elektronisk]. Tillgänglig: <http://www.tracoconstruction.com/Insulation.html> [2010-04-01]

[5] Southern Insulation Group, LLC [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.southerninsulationgroup.com/> [2010-04-06]

9 Bilagor

9.1 Bilaga 1 Uträkningar energianvändning och teoretisk tidsanvändning för cellulosafiber

9.1.1 Energianvändning för sprutmaskin från Thermofloc

Följande kommer beräkning av energianvändning för Thermoflocs sprutmaskin vid installation av cellulosafiber:

- Siffran 1 divideras med bearbetningsmängden 1400 kg/h för sprutmaskinen (Thermofloc) för att få bearbetningstiden per kg:

$$\frac{1}{1400 \text{ kg/h}} = 0,0007143 \text{ h/kg}$$

- Detta multipliceras med effekten för sprutmaskinen för att få energianvändning per timme:

$$7 \text{ kW} \cdot 0,0007143 \text{ h/kg} = 0,005 \text{ kWh/kg}$$

- I MJ/kg blir detta:

$$0,005 \text{ kWh/kg} \cdot 3,6 = 0,018 \text{ MJ/kg}$$

9.1.2 Teoretisk tidsanvändning vid installation av cellulosafiber

9.1.2.1 195 mm cellulosafiber

En teoretisk tidsanvändning för installation av 195 mm cellulosafiber i en ytterväggskonstruktion då isoleringen installeras med sprutmaskin från Thermofloc fås enligt följande:

- Bearbetningsmängden omvandlas till bearbetningstid:

$$\frac{1}{1400 \text{ kg/h}} = 0,0007143 \text{ h/kg}$$

- Antal kubikmeter cellulosafiber i 2000 m² vägg beräknas:

$$2000 \text{ m}^2 \cdot 0,195 \text{ m} = 390 \text{ m}^3$$

- Antal kg cellulosafiber i 2000 m² vägg:

$$390 \text{ m}^3 \cdot 46 \text{ kg/m}^3 = 17940 \text{ kg}$$

- Antal timmar för installation av cellulosafiber i 2000 m² vägg beräknas:

$$17940 \text{ kg} \cdot 0,0007143 \text{ h/kg} = 12,81 \text{ h}$$

- Tidsanvändning för en kvadratmeter vägg att installeras:

$$\frac{12,8h}{2000m^2} = 0,0064 h/m^2$$

Tidsåtgången för installation av mineralull mellan två regler som är 3,2 m höga och har ett avstånd på 0,6 m:

- $0,0064 \cdot 3,2 \cdot 0,6 = 0,0123 h = 0,7373 min = 44 sek$

9.1.2.2 300 mm cellulosafiber

För installation av 300 mm cellulosafiber i en ytterväggskonstruktion som installeras med sprutmaskin från Thermofloc fås följande teoretiska tidsanvändning:

- Bearbetningsmängden omvandlas till bearbetningstid:

$$\frac{1}{1400 kg/h} = 0,0007143 h/kg$$

- Antal kubikmeter cellulosafiber i 2000 m² vägg beräknas:

$$2000m^2 \cdot 0,300m = 600m^3$$

- Antal kg cellulosafiber i 2000 m² vägg:

$$600m^3 \cdot 46 kg/m^3 = 27600kg$$

- Antal timmar för installation av cellulosafiber i 2000 m² vägg beräknas:

$$27600kg \cdot 0,0007143 h/kg = 19,71h$$

- Tidsanvändning för en kvadratmeter vägg att installeras:

$$\frac{19,71h}{2000m^2} = 0,0099 h/m^2$$

Tidsåtgången för installation av mineralull mellan två regler som är 3,2 m höga och har ett avstånd på 0,6 m:

$$0,0099 \cdot 3,2 \cdot 0,6 = 0,0190 h = 1,1404 min = 68 sek$$

9.2 Bilaga 2 U-värdes beräkningar

U-värdesberäkningar för de omarbetade konstruktionerna har genomförts med hjälp av *Tillämpad Byggnadsfysik* (Petersson 2004). Följande data gäller för byggmaterialet till ytterväggskonstruktionerna:

Tabell 33. Data för beräkning av U-värde (Petersson 2004).

	Dimension [m]	Lambda [W/mK]	R [mK/W]
Rse			0,04
Lockpanel	0,022		0,2
Gipsskiva	0,009	0,22	0,0409
Mineralull/Cellulosafiber	Varierande	0,036/0,039	
Plastfolie	0,0002	-	
Gipsskiva	0,013	0,22	0,0591
Rsi			0,13

- Där värmemotståndet, R, räknas ut genom att dividera dimensionen med lambdavärdet:

$$R = \frac{dim}{lambda}$$

Tabell 34. Omarbetad ytterväggskonstruktion 8:01 med 170 mm mineralull.

Material	Dimension [m]	Lambda [W/mK]	R [mK/W]
Rse			0,04
Lockpanel	0,022		0,2
Gipsskiva	0,009	0,22	0,0409
Mineralull	0,170	0,036	4,7222
Plastfolie	0,0002		
Gipsskiva	0,013	0,22	0,0591
Rsi			0,13
R total			5,1922

U-värde 0,193 W/m²K.

Tabell 35. Omarbetad ytterväggskonstruktion 8:01 med 195 mm cellulosafiber.

Material	Dimension [m]	Lambda [W/mK]	R [mK/W]
Rse			0,04
Lockpanel	0,022		0,2
Gipsskiva	0,009	0,22	0,0409
Cellulosa	0,195	0,039	5
Plastfolie	0,0002		
Gipsskiva	0,013	0,22	0,0591
Rsi			0,13
R total			5,47

U-värde 0,183 W/m²K.

Tabell 36. Omarbetad ytterväggskonstruktion 8:03 med 265 mm mineralull.

Material	Dimension [m]	Lambda [W/mK]	R [mK/W]
Rse			0,04
Lockpanel	0,022		0,2
Gipsskiva	0,009	0,22	0,0409
Mineralull	0,265	0,036	7,3611
Plastfolie	0,0002		
Gipsskiva	0,013	0,22	0,0591
Rsi			0,13
R total			7,8311

U-värde 0,128 W/m²K.

Tabell 37. Omarbetad ytterväggskonstruktion 8:09 med 300 mm cellulosafiber.

Material	Dimension [m]	Lambda [W/mK]	R [mK/W]
Rse			0,04
Lockpanel	0,022		0,2
Gipsskiva	0,009	0,22	0,0409
Cellulosafiber	0,3	0,039	7,6923
Plastfolie	0,0002		
Gipsskiva	0,013	0,22	0,0591
Rsi			0,13
R total			8,1623

U-värde 0,123 W/m²K.

9.3 Bilaga 3 Indata till kalkyleringar

9.3.1 Reglar

Tabell 38. Kostnad och tidsåtgång för reglar från Kalkyl Grå (Byggnyckeln 2009b).

	kr/m		Tidsåtgång/m och mängd				
	Fabrik	Lager	20	100	1000	2000	4000
45x170 Reglar	25	36	0,24	0,14	0,13	0,12	0,11
45x195 Reglar	32	45	0,24	0,14	0,13	0,12	0,11
195 Lättregel K12	71	100	0,20	0,12	0,10	0,10	0,09
300 Lättregel K12	89	125	0,24	0,14	0,13	0,12	0,11
45x70 Spikreglar 2,90 m/m ²	12	17	0,15	0,09	0,08	0,07	0,07

9.3.2 Isolering

Tabell 39. Kostnad och tidsåtgång för mineralull från Kalkyl Grå (Byggnyckeln 2009b).

	kr/m ²		Tidsåtgång/m ² och mängd				
	Fabrik	Lager	10	50	500	1000	2000
70 Mineralull	36	47	0,13	0,07	0,07	0,06	0,06
170 Mineralull	85	111	0,15	0,09	0,08	0,07	0,07
195 Mineralull	96	125	0,15	0,09	0,08	0,07	0,07

Tabell 40. Kostnad för cellulosafiber från Kalkyl Grå (Byggnyckeln 2009b).

Mängd	Kostnad/m ² och mängd				
	10	50	500	1000	2000
195 Cellulosafiber	324	261	240	229	210
300 Cellulosafiber	497	400	368	352	323

9.4 Bilaga 4 Kalkylering ytterväggskonstruktion

En jämförelse gjordes ifall 170+95 mm regler samt mineralull skulle bli billigare i den välisolerade väggkonstruktionen för mineralull. Så var inte fallet utan det blev 38,9 kr dyrare.

Tabell 41. Kostnad och tidsåtgång för regler från Kalkyl Grå, 2:01, 2:05 (Byggnyckeln 2009b).

	kr/m		Tidsåtgång/m och mängd				
	Fabrik	Lager	20	100	1000	2000	4000
170 Lättreglar K12 3,20 m/m ²	78	105	0,20	0,12	0,10	0,10	0,09
195 Lättreglar K12 3,20 m/m ²	71	100	0,20	0,12	0,10	0,10	0,09
45x70 Spikreglar 2,90 m/m ²	12	17	0,15	0,09	0,08	0,07	0,07
45x95 Spikreglar 2,90 m/m ²	17	22	0,15	0,09	0,08	0,07	0,07

Det som skiljer reglarna åt är kostnaden per meter. Tidsåtgången är den samma. Mängden beräknas på 4000 m.

Tabell 42. Kalkylering för regler.

	Material kr/m ²	Tid h/m ²	Arbete kr/m ²	Omkost. kr/m ²	UE kr/m ²	Å-pris kr/m ²
170 Lättreglar K12 3,20 m/m ²	249,6	0,29	41,76	70,88	0,00	362,24
45x95 Spikreglar 2,90 m/m ²	49,3	0,20	29,44	49,96	0,00	128,7

Tabell 43. Kostnad och tidsåtgång för mineralull från Kalkyl Grå, 2:19 (Byggnyckeln 2009b).

	kr/m ²		Tidsåtgång/m ² och mängd				
	Fabrik	Lager	10	50	500	1000	2000
170 Mineralull	85	111	0,15	0,09	0,08	0,07	0,07
195 Mineralull	96	125	0,15	0,09	0,08	0,07	0,07
70 Mineralull	36	47	0,13	0,07	0,07	0,06	0,06
95 Mineralull	49	64	0,13	0,07	0,07	0,06	0,06

Det som skiljer mineralullskivorna åt är kostnaden per m². Tidsåtgången är den samma. Mängden beräknas på 2000 m².

Tabell 44. Kalkylering för mineralull.

	Material kr/m ²	Tid h/m ²	Arbete kr/m ²	Omkost. kr/m ²	UE kr/m ²	Å-pris kr/m ²
170 Mineralull	85	0,07	10,15	17,23	0,00	112,38
95 Mineralull	49	0,06	8,7	14,77	0,00	72,47