



CHALMERS



Polyuretanskumisolering i svenska enfamiljsbostäder

- En jämförelse med stenullsisolering

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad

Anton Fredriksson

Lukas Lång

Alfred Ro

Victoria Stigemyr Hill

Abstract

Polyurethane is a versatile plastic material with a wide area of usage. The insulating properties of polyurethane are excellent and when applied as sprayed foam it additionally gains the properties of a homogeneous layer, avoiding the problems of non-continuity that comes with regular insulating materials. However, polyurethane has yet to reach major success in Sweden as an insulation material in buildings. This report will investigate sprayed polyurethane foam insulation in the areas of material properties, fire-durability, usage of energy and in terms of economic relevance. These aspects will be compared against the corresponding properties of stone wool.

Polyurethane foam does not resist fire as well as stone wool and depending on the usage of flame retardants the associated fire class varies from B to E. Since polyurethane is a thermoset plastic it does not drip, otherwise a common issue with plastic isolation. Emission of smoke is another fire-related problem, as carbon monoxide, hydrogen cyanide and isocyanates are all released from polyurethane during fire.

During production and recycling of polyurethane insulation, less energy is consumed than when using stone wool insulation, a consequence of the creation process for polyurethane being exothermic as well as the recycling possibilities being beneficial compared to stone wool. The insulating properties of polyurethane being superior to the ones of stone wool further results in reductions in energy leakage through the external walls of a house, during the whole lifespan of the insulation. The actual advantages of a homogenous layer compared to having ordinary insulation have not been possible to calculate, since the gains will vary with different types of structures.

Pay-off-calculations for three outer walls with the dimensions 120+45, 170+45 and 195+45 mm shows that the extra initial cost the polyurethane foam wall causes in relation to stone wool, pays back after 40, 65 and 80 years due to the lower heating costs for the polyurethane wall. While the economy aspect often is the one that decides within the building sector, the pay-off-time of between 40 and 80 years will probably be considered too long, all though this might be up to the individual to decide.

Sammanfattning

Polyuretan är ett mångsidigt plastmaterial vars användningsområde sträcker sig mellan kylskåpsisolering och vaddering i bilsäten. Materialet polyuretan besitter goda isolerande egenskaper och när det direktappliceras genom sprutning i en vägg bildas ett homogent, heltäckande skikt, utan skarvar. Trots att polyuretanisolering ger goda isoleringsresultat och används i stor utsträckning i andra länder har polyuretantillverkarna svårt att etablera materialet i Sverige. Uppkommer etableringsproblemen för polyuretanisolering av att materialet inte står sig mot andra isoleringsmaterial eller är byggbranschen långsam att acceptera alternativa byggnadsmaterial? Utvärderingen av polyuretanskumisolering sker genom en jämförelse med stenullsisolering med hänsyn till brandbeständighet, energiåtgång samt ekonomiska aspekter under dess livsförlopp.

Polyuretanisoleringens brandbeständighet är sämre än stenullsisoleringens och beroende på användningen av flamskyddsmedel i polyuretanisolering varierar dess brandklass från B till E. Eftersom polyuretan är en termohärdad plast som förkolnar vid höga temperaturer så droppar aldrig materialet vid brand, vilket annars är ett vanligt problem för plastisolering. En nackdel med polyuretan är att det uppkommer kraftig rökutveckling när materialet brinner och då frisläpps kolmonoxid, vätecyanid och isocyanater.

Vid produktion och återvinning av polyuretanisolering sker en mindre energiåtgång än för stenullsisolering, eftersom processen för polyuretantillverkning är en exoterm process samt att dess höga energiinnehåll gör materialet värdefullt att återvinna. På grund av att isoleringsvärdet för polyuretan är bättre än för stenull, kommer även en bostad med polyuretanisolering ha lägre energiläckage och därmed lägre uppvärmningskostnader än en bostad med stenullsisolering. På grund av de lägre energikostnaderna genomförs pay-off-beräkningar, med hänsyn tagen till material- och installationskostnader. Dessa visar för tre enkla ytterväggstyper med måtten 120+45, 170+45 och 195+45 mm att den extra initialkostnad som polyuretanskumvägg medför i förhållande till stenull, återbetalar sig efter 40, 65 respektive 80 år. Då ekonomifrågan ofta är den som blir avgörande inom byggbranschen så bedöms en pay-off-tid på mellan 40 och 80 år tala mot polyuretanskumisolering.

Slutligen ställs polyuretanisoleringens uppenbara energibesparing mot dess hälsopåverkan och läsaren får därmed möjlighet att bilda sin egen uppfattning om polyuretan och till vilket pris energieffektiva byggnader ska uppnås.

1. Inledning	1
1.1 Syfte.....	2
1.2 Problemställning.....	2
1.3 Avgränsningar.....	2
1.4 Metod.....	3
2. Isoleringsmaterialet polyuretanskum	4
2.1 Framställning av polyuretanskum.....	4
2.2 Beskrivning av isocyanat, polyol och blåsmedel.....	5
2.3 Installation av polyuretan i en konstruktion för enfamiljshus.....	6
3. Isoleringsmaterialet stenull	9
3.1 Framställning av stenull.....	9
3.2 Beskrivning av de ingående materialen vid stenullstillverkning.....	9
3.3 Installation av stenull i en konstruktion för enfamiljshus.....	10
4. Brand i enfamiljshus	12
4.1 Hur bränder startar och utvecklas.....	12
4.1.1 Brandutveckling.....	13
4.1.2 Brandspridning.....	13
4.2 Brandklassificering.....	14
4.2.1 Byggnadsklass och verksamhetsklass.....	14
4.2.2 Byggnadens konstruktion och materialval.....	15
4.3 Brand i polyuretan.....	16
4.3.1 Brandförebyggande åtgärder.....	17
4.3.2 Polyuretans brandpåverkan på dess omgivning.....	17
4.4 Brand i stenull.....	18
5. Energianalys sett över materialens livscyklar	19
5.1 Energianalys av polyuretanskumisolering.....	19
5.2 Energianalys av stenullsisolering.....	20
6. Ekonomisk inverkan vid användning av polyuretan	22
6.1 Jämförelse av typväggar.....	22
6.2 Energibesparing.....	23
7. Diskussion	24
7.1 Det eftersökta kontinuerliga skiktet hos polyuretanskum.....	24
7.2 Hälsoproblem vid hantering och användning.....	24
7.3 Beteende vid brand.....	24
7.4 Energimässig jämförelse.....	25
7.5 Ekonomisk granskning.....	26
8. Slutsats	27

1. Inledning

"Regeringen beslutar att ge Boverket i uppdrag att se över och skärpa nivåerna för energihushållning i Boverkets föreskrifter" (Regeringen, 2013). Regeringens beslut påvisar angelägenheten att bygga energieffektiva bostäder. Beslutet grundar sig på att den modernare tekniken inom byggsektorn skapar möjligheter att drastiskt förbättra energihushållningen inom branschen (Regeringen, 2013).

Energhushållning betyder att användningen av energi i större mängd eller med hög kvalitet ska optimeras och inte brukas i onödan (Areskoug & Eliasson, 2012).

I Sverige upptar byggnaders energianvändning 30 procent av den totala energianvändningen (Boverket, 2010). Resultaten från regeringens beslut visar att värmeförluster genom byggnaders klimatskärm är en betydande del av dess energianvändning (Boverket, 2010). För att minska dessa förluster skall den tillförda värmeenergin utnyttjas på bästa vis och således krävs välisolerade byggnader. Öman (2009) skriver i sin artikel "Ett koncept för nya energisåla småhus" att värmeisolering är en långsiktig investering och även en försäkring, med tanke på att framtida energipriser är okända. Vidare menar Öman att med effektiva nyutvecklade värmeisoleringsmaterial är det möjligt att bygga välisolerade byggnader utan att konstruktionen blir allt för tjock.

Ett nytt värmeisoleringsmaterial som börjat etableras i Sverige är polyuretanisolering. Polyuretanisolering används som fabrikstillverkade värmeisolerings-skivor men även i sprutform som appliceras direkt i ytterväggen, då kallat polyuretanskum. I sprutform erhåller materialet en egenskap som är unikt gentemot andra isoleringsmaterial. Då den sprutas kan polyuretanskumisoleringen nämligen bilda ett homogent heltäckande skikt, som leder till att det blir möjligt att helt undvika energiläckage i form av köldbryggor (PU Europe, 2011).

Enligt Isopol (2014), installatör av polyuretanskum, så isolerar polyuretan upp till dubbelt så bra som konventionella isoleringsmaterial och de hävdar vidare att 100 mm stenull motsvaras av 50 mm polyuretan. Detta skulle, som Öman hoppats på, leda till att det med polyuretanskum är möjligt att konstruera väggar med tunnare tjocklek, som fortfarande når de energikrav som ställs av Boverket. Utöver detta marknadsförs polyuretanisolering som ett brandsäkert och fuktsäkert material vars egenskaper är oförändrade under byggnadens livslängd (Isopol, 2014). Med dessa egenskaper leder isoleringen enligt PU Europe (2011) till energibesparing och således ekonomiska fördelar, något som efterfrågas av den svenska regeringen.

Trots att isolering med polyuretanskum lovordas, är det endast en liten del av isoleringen i svenska byggnader som är av detta slag. Finns det hos materialet i sig en anledning till detta? Eller är det den svenska byggbranschen som är svår för nya material att etablera sig i? Genom att undersöka för- och nackdelar hos polyuretanskumisolering ämnar denna rapport att bidra med användbar information gällande nyttjandet av materialet inom byggbranschen.

1.1 Syfte

Syftet med arbetet är att utreda för- och nackdelar med polyuretanskum som ett kontinuerligt isolerande skikt i ett enfamiljshus med hänsyn till materialets brandegenskaper, energiaspekter, byggnadsfysikaliska funktioner och kostnader.

1.2 Problemställning

Följande frågeställningar kommer besvaras i denna rapport:

- Hur står sig polyuretanisolering jämfört med stenullisolering gällande isoleringsförmåga och brandbeständighet?
- Vilka energimässiga och ekonomiska vinster alternativt förluster erhålls vid val av polyuretanisolering i ett enfamiljshus?
- Hur förebyggs problem för att uppnå eventuella energikrav samt beständighet mot brand?

1.3 Avgränsningar

Det är endast i sprutförm polyuretanskumisolering undersöks, då detta bidrar till ett kontinuerligt isolerat och lufttätt klimatskal. Fördelen med sprutad polyuretan är ett heltäckande skikt, vilket endast konstaterats som en teoretisk fördel och inga konkreta uppskattningar av de verkliga fördelarna utreds. I utredningen jämförs materialet med det traditionella isoleringsmaterialet stenull, eftersom det är ett vanligt och välkänt isoleringsmaterial i Sverige. Båda materialen, men främst polyuretanskum, har ett antal användningsområden, dock utreds materialen endast som värmeisolering i ytterväggar till svenska enfamiljsbostäder.

Isoleringsmaterialen analyseras utifrån brandegenskaper, byggnadsfysikaliska egenskaper, energiåtgång och kostnader. De delar i materialens livscyklar som utreds utifrån dessa aspekter är tillverkning, brukande och återvinning, där kostnaderna endast tar hänsyn till produktion och brukande. Brand tar endast hänsyn till brukandestadie. Eftersom byggnadsmaterial bryts ned vid brand på grund av de höga temperaturerna undersöks miljöpåverkan vid brand, dock tar rapporten inte hänsyn till någon annan miljöpåverkan för materialen.

Beräkningarna för den energimässiga och ekonomiska jämförelsen utgår från en typväggskonstruktion för ett enfamiljshus med trästomme. Huset antas vara beläget i Göteborg. Typväggens regling och skikt utöver isoleringens är likvärdig för både polyuretanskum och stenull för att ge en relevant och rättvis jämförelse. Isoleringsmaterialen fyller därmed samma volym i väggen och huset ser efter byggnation för en betraktare identiska ut. Hur väggen uppträder fuktmässigt utreds inte i beräkningarna, eftersom det bara är energin och ekonomin som eftersöks. För att översätta energiåtgången till kostnad med hänsyn till material- och installationskostnad används en pay-off-metod utan avseende till kalkylränta och där en kilowattimme antas motsvara en elkostnad på en krona. Beräkningarna gäller enbart värmeenergi som löper ut genom ytterväggen. Energiutsläpp genom andra byggnadsdelar tas ej med i procentsatserna som anges.

1.4 Metod

I referenssyfte har en jämförelse mellan polyuretanskum och stenull genomförts utifrån aspekterna som formulerats i syftet. Då brand har en betydande del i arbetet har grundläggande kunskap angående brand erhållits från seminarier med yrkeskunniga personer inom ämnet. För att fördjupa informationen gällande brand har även en litteraturstudie utförts.

Information om respektive materials egenskaper har samlats med hjälp av litteraturstudie. Djupare kunskap har erhållits från intervjuer med fackmän i stenulls- och polyuretanskumbranschen. För att källkritiskt granska den insamlade informationen har betydande påståenden diskuterats med tekniskt- och yrkeskunniga personer från seminarierna om brand. Insamlad data har presenterats genom skrift och tabeller i rapporten.

För att erhålla en tydlig jämförelse av materialen gällande ekonomi och byggnadsfysik har enklare beräkningar genomförts. Typiska ytterväggar för respektive material har diskuterats med fackmän och beräkningarna grundas utifrån dessa uppgifter. Typväggen, som är en yttervägg i ett enfamiljshus, har konstruerats som en konventionell träregelvägg. Denna typ av vägg passar både för polyuretanskumisolering samt stenull. Vid beräkningen har hänsyn tagits till olika vägg tjocklekar, vilket har medfört att ett U-värde för respektive vägg tjocklek har beräknats.

Med hjälp av beräkningarna har energimässiga vinster respektive förluster som sker beroende på materialval i enfamiljshuset redovisats. Genom att ha använt klimatdata från Göteborg, där detta fiktiva enfamiljshus ligger, har en årlig energibesparing i kWh tagits fram. En pay-off-tid har beräknats i syfte att ta reda på när en eventuell lönsamhet uppstår beroende på materialval. För att kontrollera rimligheten i beräkningarna har samtliga resultat diskuterats med en ämneskunnig.

2. Isoleringsmaterialet polyuretanskum

Enligt ISOPA (2014) uppfanns polyuretan, ofta förkortat PUR, under 1930-talet. Tidigt under andra världskriget började PUR användas, bland annat som en ersättning till gummi (American Chemistry Council, 2014). Den tekniska utvecklingen har lett till att PUR används i en bred variation av produkter - allt från olika typer av färger och ytbeläggningar till skosulor, skumvaddering i bilsäten, fogmaterial, madrasser och cellplastisolering i bland annat kylskåp och bostäder (ISOPA, 2014). Men det dröjde till 1979 innan sprutpolyuretanskum för isolering av bostäder uppfanns (ISOPA, 2014).

I följande avsnitt kommer framställningen och beståndsdelarna av polyuretanskum att beskrivas samt hur materialet installeras i bostadshus. För att ge läsaren en bild av hur PUR ser ut i byggnaden presenteras och utreds även typväggen för ett enfamiljshus, för att slutligen återkoppla väggen i senare kapitel.

2.1 Framställning av polyuretanskum

Polyuretanskum tillverkas med två olika typer av struktur; skum med stängd cell och skum med öppen cell. PUR med sluten cellstruktur skall innehålla över 90% slutna celler medan den öppna strukturen typiskt innehåller under 20% slutna celler (PU Europe, 2013). De slutna cellerna i PUR innesluter gaser som med sina låga termiska konduktiviteter bidrar till att öka de isolerande egenskaperna hos materialet (PU Europe, 2013).



Figur 1 Polyuretanskum under härdning¹

K. Best och Dr. E. Squiller (2008) menar att den vanligaste metoden som används för att framställa polyuretanskum är den så kallade två-komponent-metoden. I metoden förvaras de två grunderredienserna för PUR; isocyanat och polyol, i separata behållare tills att de blandas precis innan applicering (se figur 1). Fördelarna med två-komponent-metoden är att förvaringen med säkerhet sker på

¹ BASF hämtad 2014-05-15

ett stabilt stadium och att härdningsprocessen kan ske snabbt när reaktionen väl är igång (Best & Dr Squiller, 2008).

När isocyanat och polyol blandas så bildas trådar som växer ihop till ett nät (PU Europe, 2006). I blandningen ingår även ett så kallat blåsmedel, vars funktion är att få polyuretannätet att expandera som ett skum. Beroende på vilken materialstruktur som önskas så tillsätts olika blåsmedel, för stängd cellstruktur används ett så kallat "fysiskt blåsmedel" (till exempel pentan, cyklopentan eller HFC) och för öppen cellstruktur används vatten eller CO₂ (PU Europe, 2013). Reaktionen mellan isocyanat och polyol är en exoterm process, alltså bildas ett energiöverskott. Värmen som skapas gör så att blåsmedlet övergår till gasform och får polyuretannätet att utvidgas. Ju mer blåsmedel som tillsätts desto kraftigare blir expansionen av materialet vid applicering. Vid industriell tillverkning används även katalysatorer för att finjustera den slutliga produkten samt för att effektivisera produktionscykeln (Skanska Sverige AB, 2010).

2.2 Beskrivning av isocyanat, polyol och blåsmedel

Som tidigare nämnts är den ena ingrediensen i PUR isocyanat som är en kväveförening. Föreningen är en funktionell grupp, vilket innebär att den i stor utsträckning påverkar egenskaperna hos den förening som den tillhör (Bayer MaterialScience, 2014). Den karakteristiska egenskapen som isocyanat bidrar med är hög reaktivitet, en förmåga att reagera med många andra vanligt förekommande kemiska föreningar (Bayer MaterialScience, 2014). Det är isocyanaters höga reaktivitet som bidrar med att polyuretanprodukter kan tillverkas med olika egenskaper. Den höga reaktiviteten hos isocyanat medför vissa nackdelar då den även förmår att reagera med mänsklig vävnad, så som ögon, organ i andningsvägarna och hud (Bayer MaterialScience, 2014). I "Isocyanates and Asthma" hävdar Yale School of Medicine (2013) att astma är ett av de allvarliga hälsoproblemen som kan orsakas av oförsiktig hantering av isocyanater. Det är dessutom cancerframkallande enligt Lernbrink Wretin & Roxendal¹.

Polyol, den andra ingrediensen i polyuretan, är en alkohol med fler än två funktionella hydroxylgrupper. Bayer MaterialScience (2014) hävdar att hydroxylgruppen, liksom isocyanat, främst bidrar med reaktiva egenskaper när den tillförs en förening och det är tack vare att polyolet innehåller dessa reaktiva grupper som det kan reagera med isocyanat. Egenskaperna hos polyolen varierar med hur många hydroxylgrupper den innehåller och utifrån antalet av dessa grupper så reagerar polyolet med olika andra kemiska föreningar för att bilda en rad olika slutprodukter (Bayer MaterialScience, 2014).

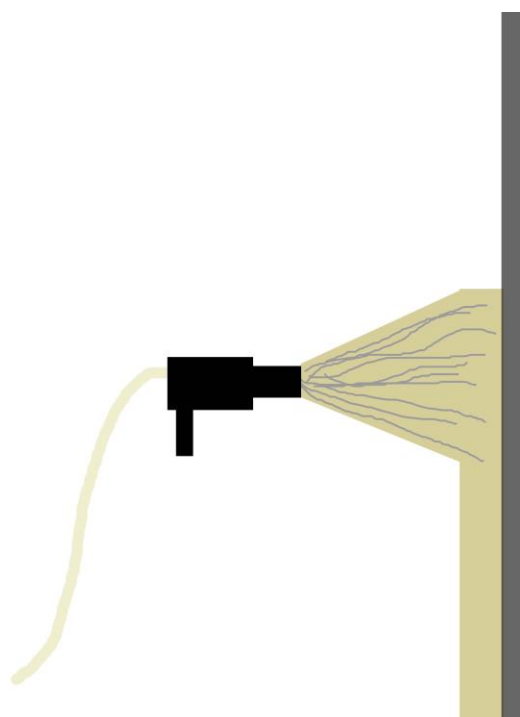
Enligt föregående delkapitel kan en rad olika gaser användas som blåsmedel för tillverkning av polyuretanskum. Då PUR först började tillverkas användes freoner som blåsmedel för att få den skummande effekten men det har ersatts med mindre

¹ Åsa Lernbrink Wretin & Stellan Roxendal (BASF) intervjuad av författarna den 25 februari 2014

miljöfarliga gaser. Dock kan freonhaltiga material fortfarande finnas kvar i äldre produkter (Petersson, 2006). Av den anledningen att värmen som frigörs skall räcka till att få blåsmedlet att koka, är det fördelaktigt att använda ett blåsmedel med låg kokpunkt. Av denna anledning används vanligtvis cyklopentan, pentan eller CO₂, men även växthusgasen HFC används i viss utsträckning enligt Lernbrink Wretin & Roxendal¹.

2.3 Installation av polyuretan i en konstruktion för enfamiljshus

Enligt avsnitt 2.1 finns polyuretanskum i två celltyper – öppen och stängd. Polyuretanskum med öppen cell är i allmänhet något billigare än skum med stängd cell men har sämre isoleringsvärden enligt Hayward². Däremot besitter de båda god dimensionsstabilitet och behåller därför sin form i en väggkonstruktion vid korrekt utförd byggnation (FoamKing, 2012). Detta medför att materialet inte krymper med konstruktionens åldrande (Paroc, 2014). På så vis förebyggs köldbryggor under materialets brukandetid och väggen får inte någon betydande sämre isoleringsförmåga menar Hayward². Lernbrink Wretin & Roxendal¹ menar att i sprutform anses PUR ge ett heltäckande, kontinuerligt isolerande skikt i byggnaden som leder till bättre isolervärde.



Figur 2: Applicering av sprutisolering, PUR

¹ Åsa Lernbrink Wretin & Stellan Roxendal (BASF) intervjuad av författarna den 25 februari 2014

² Jimmi Hayward (Termograför och sprayisoleringsspridare, FoamKing) intervjuad av författarna den 6 mars 2014

Hayward² menar att polyuretanskum med stängd cell främst används som isolering i husets klimatskal. Hayward² hävdar vidare att de stängda cellerna gör att skiktet som sprutas på väggytorna verkar som både ångspärr och vindduk. Nilsson¹ menar att vindduk eller någon annan form av ytmaterial dock ändå brukar användas som fästytta för sprutisoleringen innan den uppnått sin styvhet efter härdningen.

Hayward² menar att öppen cell används i miljöer som är mindre fuktutsatta eller i kombination med stängd cell i husets klimatskal, då de sprutas i lager. Skummet med öppen cell är inte lika styvt som det med stängd cell enligt Lernbrink Wretin & Roxendal³. Den besitter också sämre egenskaper vad gäller ångmotstånd och isoleringsvärde och rekommenderas därför att främst användas i innemiljö eller i kombination med stängd cell (FoamKing, 2012).

Vad gäller konstruktionen i husets stomme skiljer inte en vägg med PUR sig från en vägg med traditionella isoleringsmaterial. PUR kan appliceras på träreglar och kräver ingen förbehandling, tvättning eller ruggning. I en vägg med PUR behövs, som nämnts tidigare, ingen fuktspärr. Diffusionspärren blir då överflödigt och installationsskiktet behövs inte eftersom eldragningar och andra rör ligger tätt gjutet i skummet, utan risk för perforering i det diffusionstäta skiktet enligt Hayward².

Vid installationen av PUR, som måste utföras av fackman, är god ventilation mycket viktig på grund av de cancer- och astmaframkallande isocyanater som finns i det ohärdade skummet menar Lernbrink Wretin & Roxendal³. Även efter utförd applicering är god ventilation viktig, och det sprutisolerade utrymmet ska hållas folktomt i 24 timmar. Lernbrink Wretin & Roxendal³ hävdar vidare att efter dessa 24 timmar är skummet härdat, och isocyanaterna likaså.

För att enklare kunna se skillnaden i energibesparing vid användning av PUR respektive stenudd har en typvägg tagits fram. Denna typvägg (se figur 3 och 5) består av en träregelstomme som är identisk i de båda fallen. Det är en vägg som ytterst har lockpanel med luftspalt på 25 mm, sedan består väggen av en regel på 120/170/195 mm och ett installationskikt på 45 mm. Innerst sitter en gipsskiva på 13 mm. Skillnaden är endast vilket isoleringsmaterial som används. För polyuretanskum har isolering med stängd cellstruktur använts i den framtagna typväggen. Dessa beräkningar finns i bilaga 1 och kommer att presenteras längre fram i rapporten. Installationskiktet är alltså ändå med i denna typvägg med

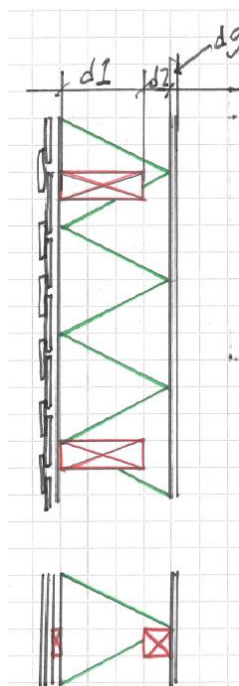
¹ Peter Nilsson (Tekniker, FoamKing) mailkontakt med författarna den 9 april 2014

² Jimmi Hayward (Termograför och sprayisoleringsapplikator, FoamKing) intervjuad av författarna den 6 mars 2014

³ Åsa Lernbrink Wretin & Stellan Roxendal (BASF) intervjuad av författarna den 25 februari 2014

anledningen att förminska köldbryggorna till ett minimum, genom att ha de yttre reglarna stående och de inre liggande.

Värmekonduktiviteten för polyuretanskum med öppen respektive stängd cell ligger på 0,037 W/mK och 0,025W/mK (FoamKing, 2012).



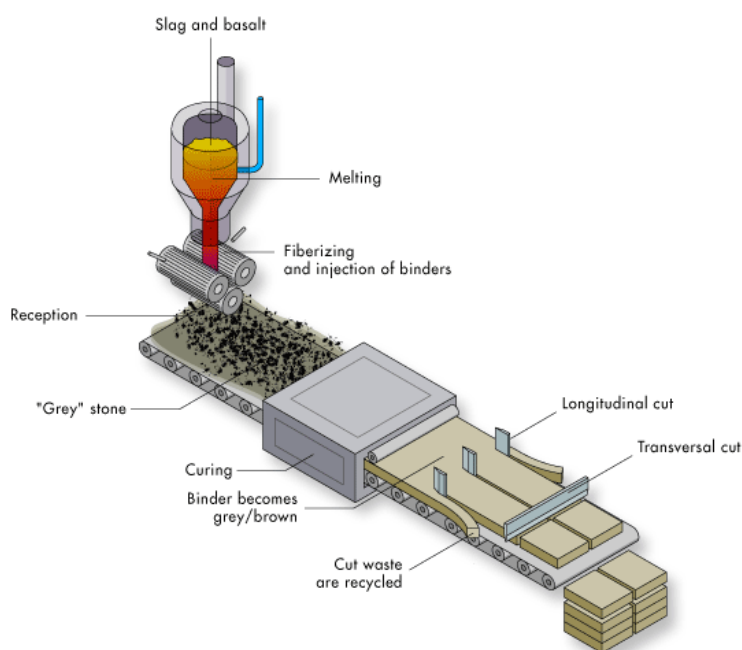
Figur 3: Typvägg med PUR-isolering i grönt och träreglar i rött.

3. Isoleringsmaterialet stenull

Stenullstillverkaren Paroc (2014) menar att stenullens historia i Sverige startar år 1937, då tillverkningen av stenull påbörjades. Vidare skriver Paroc att de som första Europeiska företag lanserade formfast stenullsisolering med bindemedel under 40-talet. Stenull är en typ av mineralull (Burström, 2006) och dess främsta användningsområden är som värme-, brand- och ljudisolering i byggnader (XL-Bygg, 2011).

3.1 Framställning av stenull

Burström (2006) skriver att tillverkningen av stenull inleds genom att materialen som skall ingå i stenulls-receptet förs in i ugnar, där de upphettas till 1600°C. I samband med att den smälta massan lämnar smältugnen spinns den till den fiberstruktur som bygger upp isoleringen (Eurima, 2011) (se figur 4). Detta uppnås antingen genom att de smälta dropparna får falla på snabbt roterande hjul eller att lösningen dras genom små hål i roterande spinnare.



Figur 4: Stenullstillverkning¹

Nästa steg är att tillsätta bindemedlet för att binda samman fibrerna, även olja tillsätts i detta moment. Fibrmassan härdas sedan i en härdningsugn i 200°C. Slutligen beskärs stenullen till önskad form och bortskuret material återanvänds i nästa tillverkningscykel (Eurima, 2011).

3.2 Beskrivning av de ingående materialen vid stenullstillverkning

Burström (2006) skriver att huvuddelen av stenull (cirka 97-98% av total massa) består av en blandning av magmatiska bergarter så som basalt och diabas, koks

¹ Eurima, hämtad 2014-05-15

samt återvunnet material från tidigare tillverkningscykler. Koks är en produkt som används inom bland annat ståltillverkningsindustrin, där det används som reduktionsmedel för stålet (Sundqvist Ökvist, 2007). Dr. A. Dunster (2007) menar att koks används vid tillverkningen av stenull eftersom att det sänker den mängd energi som behöver tillsättas för att smälta stenmaterialet.

I "Säkerhetsdatablad för Rockwool Stenull" skriver Rockwool (2013) att bindemedlet som används är bakelit. Bakelit är en fenolharts, vilket är en hårdbar harts som inte bryts ned vid de temperaturer som används för att härda stenullen. Under härdningsprocessen blir fenolhartsen till en värmestabil fenolplast. Bakeliten bryts ned och illaluktande gaser avges om stenullen skulle utsättas för temperaturer som överstiger 200°C. Detta får alltså till följd att 200°C är högsta användningstemperaturen för stenull som innehåller bindemedel (Rockwool, 2013).

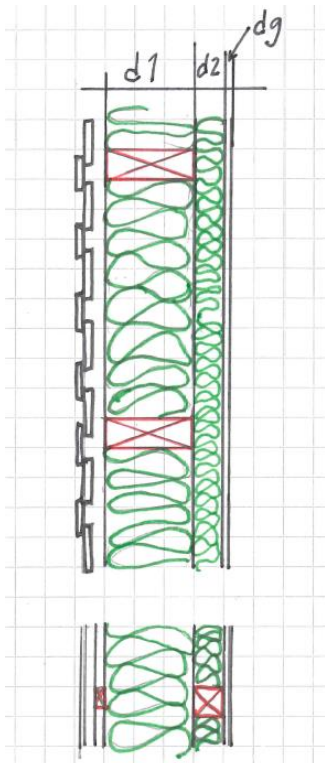
För att göra produkten mer tålig mot vatten och även minska uppkomsten av damm i ullen så adderas olja (cirka 0,5 viktprocent) till de sammanbundna fibrerna (Burström, 2006) Vilken olja som används varierar mellan olika produkter på marknaden. Enligt F. Pettersson (2010) använder sig till exempel Isover av paraffinolja i sina produkter medan Rockwool istället använder mineralolja.

3.3 Installation av stenull i en konstruktion för enfamiljshus

Enligt Burström (2006) så tillverkas stenull i form av lösull, mattor eller skivor. Burström menar att lösullen antingen levereras packad i säckar eller, för fallet då den skall sprutas på plats, i lös form. Mattor och skivor tillverkas i ett antal standardtjocklekar som beror på isoleringens användningsområde men de tillverkas sällan i tjocklekar som överskrider 195 millimeter. Önskas tjockare isolering kan enkelt flera lager läggas i följd.

Som värmeisolering i väggar i enfamiljshus används stenull i form av skivor, men vid isolering av bjälklag kan lösull användas. I trähus används ångspärr och installationsskikt när man isolerar med stenull. Ångspärren är uppsatt innanför installationsskiktet, mellan de två lager stenull som finns i väggen, för att undvika penetration av plastfilmen. Det är denna typvägg som ligger till grund för beräkningarna som utförts i bilaga 1. Väggstommen i figur 5 beskrivs under kapitel 2.2.3.

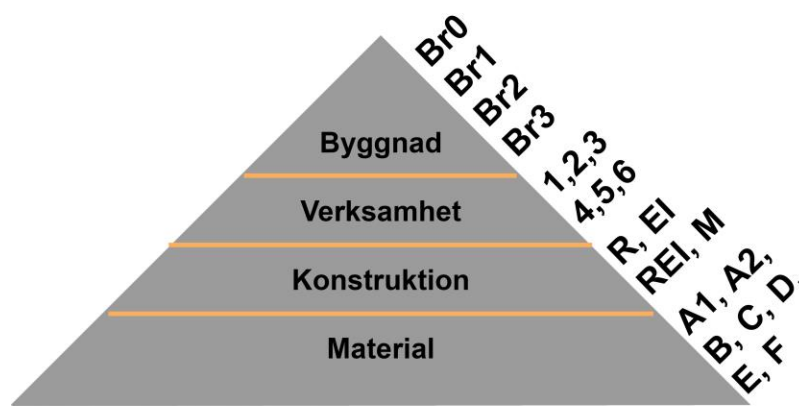
Värmeledningseffekten för stenull som isolering i ytterväggar varierar mellan 0,033W/mK och 0,040W/mK (Paroc, 2014). Beräkningarna baseras på 0,037W/mK, som enligt Burström (2006) är det vanligaste.



Figur 4: Typvägg med stenull i grönt och träreglar i rött.

4. Brand i enfamiljshus

Vid brand måste flera faktorer beaktas, varav den främsta och avgörande är utrymningstiden, eftersom den påverkar antal dödsfall. För att bedöma vilken utrymningstid en byggnad skall byggas efter, klassificeras den utefter byggnad, verksamhet, konstruktion och material (se figur 6). Klassificeringen av material tar hänsyn till materialens benägenhet att börja brinna, rökutveckling och förmåga att avge brinnande droppar, som kan förhindra en säker utrymning. Enligt Bergman¹ är det betydelsefullt för allmänheten att ha insikt i hur brand i olika material och byggnader utvecklas. På så vis kan utvecklingen av branden undvikas, vilket bidrar till att skaderisken minskar.



Figur 5: Brandklassningstriangel

Bergman¹ hävdar att byggnaders brandbeteende förändrats genom tiderna, beroende på byggnadsmaterial och byggnadstekniker. En brand i ett trähus är exempelvis enkel att förutsäga, vilket förenklar släckningsarbetet, medan hus med flera materialtyper och påbyggnader är svårsläckta. Han anser att det till stor del beror på att en brand i exempelvis en byggnad med olika plastmaterial är mycket svår att direkt vid räddningstjänstens ankomst utvärdera omfattningen av. På så vis försvåras släckningsarbetet.

I detta avsnitt presenteras utvecklingen av brand men även hur olika byggnader, specifikt enfamiljshus, klassificeras för att sedan presentera brand av polyuretan samt stenull.

4.1 Hur bränder startar och utvecklas

För att en brand; en okontrollerad förbränningsprocess, skall uppkomma behövs brännbara ämnen, syre och värme menar Segerholm². Segerholm² beskriver att när det brännbara ämnet utsätts för värme omvandlas det till gas innan det

¹ Ronnie Bergman (Insatsledare, Räddningstjänsten) under föreläsning den 7 februari 2014

² Ingemar Segerholm (Universitetslektor, Chalmers) under föreläsning den 14 februari 2014

antänds. Omvandlingen kallas pyrolys eller termisk sönderdelning och är en endoterm process. Segerholm¹ menar däremot att antändningen är en exoterm process och att den sker då pyrolysgaserna blandas med syre. För att branden skall fortskrida krävs då att den frigjorda energin är större än energin som pyrolysen kräver.

4.1.1 Brandutveckling

En brand utlöses under första skedet, antändning, av en så kallad brandstiftare som utgör initialbranden. Brandstiftare kan vara till exempel en cigarett eller ett stearinljus (Bengtsson, 2013). Därefter övergår branden till tillväxtfasen, då pyrolysen startar. Brandstiftaren har då värmt upp andra material, som i sin tur avger ytterligare brandfarliga gaser. Stoppas inte branden i detta skede, kan den fortskrida och orsaka övertändning (Glenting, 2002). Bengtsson (2013, s. 87) har i sin bok Inomhusbrand valt att definiera övertändning med följande formulering;

”Under en rumsbrand kan det inträffa ett stadium där den termiska strålningen från branden, de varma gaserna och de varma omslutningsytorna orsakar att alla brännbara ytor i brandrummet pyrolyseras. Detta plötsliga och sammanhängande övergångsstadium av ökande brand kallas ’övertändning.’”

Efter övertändningen har branden enligt Bergman² nått ett fullt utvecklat stadium och allt i rummet brinner. Bergman² beskriver övertändningsperioden som mycket explosiv och snabb.

4.1.2 Brandspridning

För att inte branden skall sprida sig inom byggnaden byggs avgränsade delar, så kallade brandceller. En brandcell ska under en viss tid motstå att branden sprider sig (Brandskyddsföreningen, 2014). För ett enfamiljshus är huset i sig en enskild brandcell. Dock skall pannrum och garage vara avskilt från brand i 30 minuter (Räddningstjänsten Storgöteborg, 2013).

Enligt Räddningstjänsten Storgöteborg (2013) kan en brand inom en byggnad värma upp konstruktionen vilket leder till spridning i form av värmeledning, eller konduktion som det också kallas. Värmeledningen påverkas av materialets värmeupptagningsförmåga, dess dimensioner samt temperaturskillnaden i materialet (Räddningstjänsten Storgöteborg, 2013). Utöver konduktion kan brand även spridas genom konvektion, då gasen från branden sprids i konstruktionen med luftströmmar. För att minska risken av brandgasspridning, är byggnadens brandcellsindelning viktig, speciellt ventilationssystemet som ingår i brandcellen och som är en spridande del i en byggnad (Räddningstjänsten Storgöteborg, 2013).

¹ Ingemar Segerholm (Universitetslektor, Chalmers) under föreläsning den 14 februari 2014

² Ronnie Bergman (Insatsledare, Räddningstjänsten) under föreläsning den 7 februari 2014

En brand kan även sprida sig mellan byggnader genom värmestrålning menar Segerholm¹. Därav är avståndet mellan byggnader viktig men även här är värmeupptagningsförmåga hos byggnadsmaterialen betydande.

4.2 Brandklassificering

Enligt Boverket (2013) skall byggnader utformas med sådant brandskydd att brandsäkerheten blir tillfredställande, samt hindrar brand från att uppkomma. Förutom att förebygga uppkomsten av brand skall även brandskyddet möjliggöra trygg utrymning, upprätthålla byggnadsdelarnas bärförmåga, minska risken för spridning samt underlätta släckning menar Segerholm¹. Dessa krav fastställs genom verifiering av byggnaden. Verifieringen skall undersöka brandskyddet med avseende på motsvarande metoder:

- Kvalitativ bedömning
- Scenarioanalys
- Kvantitativ riskanalys

Utefter metoderna klassificeras byggnaden in i olika klasser med avseende på byggnad, verksamhet, konstruktion och material (se tabell 1- 4).

4.2.1 Byggnadsklass och verksamhetsklass

Enligt Boverket (2013) tar byggnadsklasserna hänsyn till faktorer i samband med utrymning av byggnaden och byggnadens bärförmåga vid brand. Vidare erhålls byggnadsklasserna (se tabell 1).

Tabell 1: Byggnadsklasser enligt Boverket (2013)

Byggnadsklass	Förklaring	Exempelbyggnad
Br1	Byggnader med stort skyddsbehov	Flerbostadshus högre än tre våningar, hotell
Br2	Byggnader med måttligt skyddsbehov	Byggnad med samlingslokal på markplan
Br3	Byggnader med litet skyddsbehov	Villa

För ett enfamiljshus klassas alltså enligt tabell 1 byggnaden i brandklass Br3, och brandcellen skall då stå emot brand i 60 minuter (Boverket, 2011).

Utifrån verksamhet delas utrymmen i byggnader in i verksamhetsklasser. Byggnadens verksamhetsklass beror på brandens förmåga att utvecklas och dess omfattande förlopp, om personerna förväntas vara vakna under vistelsen samt personernas kännedom om byggnaden och dess utrymningsmöjligheter, därmed om personerna kan utrymma på egen hand eller ej (Boverket, 2013). Verksamhetsklasserna presenteras enligt Boverket (2013) (se tabell 2).

¹ Ingemar Segerholm (Universitetslektor, Chalmers) under föreläsning den 14 februari 2014

Tabell 2: Verksamhetsklasser enligt Boverket (2013)

Verksamhetsklass	Exempelbyggnader
1	Industri, kontor mm
2	Samlingslokaler mm
3	Bostäder
4	Hotell mm
5	Vårdmiljöer mm
6	Lokaler med förhöjd sannolikhet för uppkomst av brand

Verksamhetsklassen påverkar hur enkelt det ska vara att utrymma till säkerhet vid händelse av brand. De olika verksamhetsklasserna har bland annat olika maximalt gångavstånd till närmaste utrymningsväg och ibland olika dörrar som bör vara monterade. Bostäder ingår i verksamhetsklass 3 enligt tabell 2, där personerna förväntas ha god lokalkännedom samt inte kan förutsättas vara vakna (Boverket, 2013).

4.2.2 Byggnadens konstruktion och materialval

Enligt BBR 20 delas byggnadens konstruktion in i olika klasser (Boverket, 2013). Beteckningarna ger även ett tidskrav, uttryckt i minuter. Exempelvis EI 30, vilket betyder att konstruktionen skall vara tät och isolera i 30 minuter. Klasserna kan även kombineras med tilläggsbeteckningar. Konstruktionsklass med tilläggsbeteckningar hittas i tabell 3.

Tabell 3: Konstruktionsklasser och tilläggsbeteckningar från Boverket (2013)

Konstruktionsklass		Tilläggsbeteckningar	
Bärförmåga	R	Mekanisk stöt	M
Täthet	E	Strålning	W
Isolering	I	Röktäthet	S
		Självstängning	C

Med hjälp av Euroklasser bestäms brandsäkerheten hos byggnadsmaterial. Produkterna måste även testas och klassificeras efter varje lands krav. Enligt SP (2014) baseras Euroklasserna på fyra testmetoder inom brand:

- Obrännbarhet EN ISO 1182
- Värmevärde EN ISO 1716
- Byggprodukter (utom golvbeläggningar) utsatta för termisk påverkan av ett enskilt brinnande föremål (SBI, Single Burning Item) SS-EN 13823
- Antändlighet vid direkt påverkan av en låga – Del 2: Provning med enkel låga, EN ISO 11925-2
- Del 1: Bestämning av brandtekniskt beteende vid påverkan av värmestrålning, EN ISO 9239-1

Utefter testmetoderna delas materialen beroende på deras reaktion på brand in i någon av Euroklasserna (se tabell 4) (Boverket, 2013).

Tabell 4: Materialklasser från Boverket (2013)

Materialklass	Förklaring
A1, A2	Ingen påverkan av brand (obrännbar)
B	Väldigt begränsad påverkan av brand
C	Begränsad påverkan av brand
D	Acceptabel påverkan av brand
E	Acceptabel påverkan av brand
F	Inget påverkanskrav

Tilläggsklasser som beskriver rökutveckling samt mängden brinnande droppar som avges i olika material kan läggas till Euroklasserna. Följande tilläggsklasser finns (Boverket, 2013).

Tabell 5: Tilläggsklasser från Boverket (2013)

Tilläggsklasser	Förklaring
s1	Byggnadsdelen får avge mycket begränsad mängd brandgaser
s2	Byggnadsdelen får avge begränsad mängd med brandgaser
s3	Inget krav på begränsad produktion av brandgaser
d0	Brinnande droppar eller partiklar får inte avges från byggnadsdelen
d1	Brinnande droppar eller partiklar får avges i begränsad mängd
d2	Inget krav på begränsning av brinnande droppar och partiklar

I allmänhet används gips som yttersta lagret i väggar för att tillgodose utrymningstiden (Knauf Danogips, 2013). Gips fungerar mycket bra som ett hinder mot höga temperaturer och flammor och används bl. a för att skydda stålkonstruktioner mot brand (Knauf Danogips, 2013).

4.3 Brand i polyuretan

Polyuretanskum är ett organiskt material vilket gör att PUR är brännbart (ISOPA, 2014). När ett byggmaterial innehåller stora delar organiskt material, kan det aldrig uppnå de bästa brandklasserna A1 och A2 menar Thuresson¹. Beroende på producent, då polyuretanrecepten är olika, varierar brandklassen för PUR mellan B och E. Lernbrink Wretin och Roxendal² menar att PUR på grund av tillsatta

¹ Per Thuresson (SP) intervjuad av författarna den 30 april 2014

² Åsa Lernbrink Wretin & Stellan Roxendal (BASF) intervjuad av författarna den 25 februari 2014

flamskyddsmedel är mycket svårantändligt, men till följd av sitt höga energinnehåll kommer branden fortskrida då den väl utvecklats. Enligt ett typgodkännandebevis för PUR börjar materialet brytas ned vid temperaturer över 150 °C och vid samma temperatur börjar även isocyanater utsöndras från materialet (Sintef, 2011). Flamskyddsmedlen utreds vidare under brandförebyggande åtgärder.

Eftersom PUR är en termohärdad plast, förkolnar materialet vid höga temperaturer och kommer på så vis aldrig droppa eller ge upphov till gnistregn (PU Europe, 2012). Detta medför att PUR alltid har klassificeringen d0. PUR-isoleringsprodukterna uppfyller rökkraven i bestämmelserna för de tillämpningar som de används i (PU Europe, 2012).

4.3.1 Brandförebyggande åtgärder

Som nämnts tidigare används gips som yttersta lager i väggen för att uppnå utrymningstiden. För att även begränsa PURs möjlighet att börja brinna tillsätter man flamskyddande medel då man tillreder materialet enligt Lernbrink Wretin & Roxendal¹. Det finns otaliga flamskyddsmedel som används i Sverige enligt Kemikalieinspektionen, och alla påverkar miljön i olika utsträckning (Kemikalieinspektionen, 2011). Därför är det svårt att bedöma PUR som ett material med en specifik egenskap när olika tillverkare använder sig av olika flamskyddsmedel. Kemikalieinspektionen understryker dock att många flamskyddsmedel kan vara bioackumulerande och att dessa ska undvikas i så stor utsträckning som möjligt.

4.3.2 Polyuretans brandpåverkan på dess omgivning

Lernbrink Wretin & Roxendal¹ menar att det vid låga temperaturer bildas kolmonoxid som med tiden tar över i luftsammansättningen. När materialet börjar utsöndra farliga gaser som vätecyanid, uppger Lernbrink Wretin & Roxendal¹ att det redan är en så hög halt kolmonoxid och hög temperatur i rummet att ett eventuellt dödsfall redan inträffat. Rökutvecklingen vid brand i polyuretanskum är kraftig och risken för rökgasexplosion stor enligt Bergman². Thuresson³ påpekar att flamskyddsmedlet inte stoppar materialets rökutveckling, vilket ofta kan tros vara fallet. Som nämnts i styckena ovan frigörs isocyanaterna vid temperaturer över 150 °C. Thuresson³ säger dock att detta inte medtages vid en brandklassning. Oftast är halten isocyanat vid bränder inte dödlig, men individer som har exponerats kan drabbas av exempelvis astma och hjärt-/kärlsjukdomar (Hertzberg, et al., 2003).

Vid brand riskerar många miljö- och hälsofarliga ämnen att utvecklas. Detta stämmer för de flesta material, och för plaster blir gaserna nästan alltid farligare

¹ Åsa Lernbrink Wretin & Stellan Roxendal (BASF) intervjuad av författarna den 25 februari 2014

² Ronnie Bergman (Insatsledare, Räddningstjänsten) under föreläsning den 7 februari 2014

³ Per Thuresson (SP) intervjuad av författarna den 30 april 2014

och fler än för till exempel trä (Dinbyggare, 2014). Just plastbränder är dessutom svårsläckta, vilket kräver mer släckvatten som ska tas omhand som dagvatten enligt Bergman¹. Detta släckvatten sköljer bort partiklar och ämnen från plastbranden som sedan går ut i vattendrag med dagvattnet, ofta helt utan någon slags rening. Detta är anledningen till att bränder inom vattenskyddsområden ibland, om det inte går att släcka på ett säkert sätt, tillåts fortsätta brinna menar Bergman¹. Bergman¹ menar att på så vis minskar risken att förorena vattendrag med farliga ämnen från bränder. När polyuretan brinner bildas kolmonoxid och vätecyanid, vilket nämnts tidigare. Båda är giftiga och orsakar syrebrist hos organismer som utsätts för dessa gaser (Brandforsk, 2013).

4.4 Brand i stenull

Stenull är ett material som inte brinner, utan snarare smälter vid höga temperaturer (över 1000°C) enligt Leander & Viking². Detta beror på att de ingående komponenterna, som nämnts tidigare, är mestadels sten. Dock är det sällan en brand i ett enfamiljshus kommer upp i dessa temperaturer och oftast påverkas inte fibrerna alls menar Leander & Viking². Leander & Viking² hävdar vidare att bindemedlet bakelit är det som sönderdelas i stenullen vid brand, men den förekommer i relativt små mängder (cirka 2 procent) och stenullen har ändå A1 som brandklass. Dock kan mängden bakelit påverka brandklassningen i till exempel en hårdare skiva stenull. I dessa hårda skivor är innehållet av bakelit större för att få till en styv struktur, och brandklassningen för denna skiva är ofta A2, jämfört med A1 för en vanlig skiva stenull menar Leander & Viking.² Redan vid 200°C börjar bakeliten sönderdelas och vid långvarig exponering kan stenullen förlora sin struktur (Pfundstein & al, 2008).

Vid bränder där stenull är involverat är den enda miljöpåverkan den från bindemedlet bakelit och från mineraloljan som används som vattenavvisare i stenullen. Själva stenullen (98 %) smälter endast och påverkar inte miljön något märkvärdigt menar Leander & Viking².

¹ Ronnie Bergman (Insatsledare, Räddningstjänsten) under föreläsning den 7 februari 2014

² Johan Leander & Maria Viking (Rockwool) intervjuad av författarna den 18 mars 2014

5. Energianalys sett över materialens livscyklar

För att ge en helhetsbild av ett isoleringsmaterials energipåverkan bör ett flertal olika skeden betraktas. Typiskt för isoleringsmaterial är att de önskas släppa ut så lite energi som möjligt genom byggnadens klimatskal. Utöver den energi som förbrukas i form av läckor genom klimatskalet så används och produceras energi även för att skapa och återvinna isoleringen. För att utvärdera ett isoleringsmaterials totala energivinster eller -förluster måste alltså hela dess livsförlopp tas med i beaktningen.

Genom att använda typväggarna som presenterats i kapitel 2.3.2 och 3.3.2 kan skillnaden i mängd utsläppt värmeenergi mellan väggarna beräknas. Energimyndigheten rekommenderar att eftersträva ett U-värde på 0,13 för en yttervägg (Energimyndigheten, 2013). Resultatet från beräkningarna vägs sedan samman med den energianvändning- eller besparing som görs i samband med tillverkning och återvinning. I följande stycken kommer PUR och stenull att utvärderas ur energisynpunkt, i kronologisk ordning sett till materialens livsförlopp.

5.1 Energianalys av polyuretanskumisolerering

Vid tillverkning av polyuretanskum så krävs ingen tillförd energi då reaktionen mellan isocyanat och polyol är exoterm, vilket nämnts under kapitel 2.1. Energirikedomen i PUR kan utnyttjas senare under dess återvinning.

Då PUR brukas som isoleringsmaterial i en vägg kan vi utifrån dess U-värde beräkna värmeenergin som flödar genom typväggen som presenterats i avsnittet 2.3. I tabell 6 presenteras denna information. Energiberäkningen (se bilaga 1) baseras på en kvadratmeter vägg, av PUR med stängd cell, i Göteborgs klimat med en innertemperatur på 22 grader. Därigenom fås ett årligt energiutsläpp per kvadratmeter (se tabell 6).

Tabell 6: Olika polyuretanisolerade väggars energiegenskaper

Väggtyp [mm]	Material	U-värde [W/m^2K]	Flöde/år [kWh/m^2]
120+45	PUR	0,162	20,51
170+45	PUR	0,129	16,25
195+45	PUR	0,117	14,75

När polyuretan skall återvinnas kan det ske genom att materialet återanvänds alternativt att materialet återvinns mekanisk, kemiskt eller genom att utnyttja dess inneboende energianvändning (ISOPA, 2014). På grund av att PUR sprutas in i konstruktionen på plats kan inte hela bitar nedmonteras och återanvändas (PU Europe, 2005). Enligt PU Europe mals istället ren och oskadad polyuretanskum ned och används bland annat till att öka isolerförmågan hos bruk men även som fyllnadsmaterial i skivor som används främst som golvmaterial då hög ångtäthet efterfrågas. Vid återvinning särskiljs även PUR som innehåller föroreningar samt skumdelar med kvarstående byggnadsmaterial gentemot oförorenade delar, vilket är råvarukomponenten. För att utnyttja materialets inneboende energi kan de

förorenade restprodukterna eldas i förbränningsanläggningar där primärenergi utvinns (PU Europe, 2005). PU Europe menar vidare att ingen negativ energipåverkan sker eftersom anläggningarna som används redan förbränner hushållsavfall.

5.2 Energianalys av stenullsisolering

Som tidigare beskrivits under kapitel 3.1.1 måste stenullsingredienserna värmas till cirka 1600°C under det inledande tillverkningsmomentet. Enligt Dr Andrew Dunster (2007) kan dock 20-30% av energin som går åt till att värma upp ugnarna räknas bort om koks (återanvänt material från stålframställning) används vid tillverkningen av stenull.

Under bruksskedet sker endast energimässiga förluster, i form av läckage genom klimatskalet. I tabell 7 presenteras U-värden och energiåtgång för stenullsväggen enligt beräkningar (se bilaga 1). Energiberäkningen baseras, som tidigare nämnts, på en kvadratmeter vägg i Göteborgs klimat med en innertemperatur på 22 grader.

Tabell 7: Olika stenullsisolerade väggars energiegenskaper

Väggtyp [mm]	Material	U-värde [W/m ² K]	Flöde/år [kWh/m ²]
120+45	Stenull	0,226	28,58
170+45	Stenull	0,179	22,64
195+45	Stenull	0,163	20,52

Dr Andrew Dunster (2007) hävdar att stenull kan återvinnas och återanvändas direkt i tillverkningen av ny stenull om materialet plockas från dess tidigare konstruktioner fritt från föroreningar. Dunster menar att det vore möjligt att åstadkomma ett återvinningssystem för stenull där all gammal ull återanvänds för att bilda ny stenull, ett så kallat "closed loop recycling system". En förutsättning för detta är dock att det utvecklas ett system för omhändertagande och transport av använd stenull. Stenullstillverkaren Rockwool erbjuder några av sina större kunder som regelbundet byter ut sin isolering att ta hand om deras använda stenullsmaterial, eftersom att stenullen ofta kan återfås "ren" och återvinnas till ny stenull om materialbyten utförs med jämna mellanrum (Dr Dunster, 2007). Dock så är denna typ av samarbeten i verkligheten ovanliga och enligt Leander & Viking¹ så hamnar majoriteten av använd stenull slutligen på deponi.

Att stenull ofta läggs på deponi sker enligt Leander & Viking¹ på grund av två anledningar. För det första för att stenull sällan återfås i tillräckligt rent skick efter användning för att det skall vara återanvändningsdugligt och för det andra eftersom att det inte går att elda stenull i syfte att utvinna energi, på grund av dess brandresistentia karaktär. Ett alternativ är att återvinna stenull i form av lösull som då passar lämpligt till bland annat vindsbjälklag. Leander & Viking¹ menar dock att

¹ Johan Leander & Maria Viking (Rockwool) intervjuad av författarna den 18 mars 2014

detta är en dyr process som sällan tillämpas i verkligheten och att det främst är när
entreprenören är ute efter en image som miljötänkande som denna metod
används.

6. Ekonomisk inverkan vid användning av polyuretan

I det här avsnittet jämförs isoleringsmaterialen i typväggen ur ekonomisk synvinkel. Med andra ord vägs de installations- och brukandekostnader som kan vara aktuella vid byggnation av en enfamiljsvilla med trästomme samman för respektive typvägg. Det som söks är lönsamheten, alltså efter hur lång tid det dyrare och mer energieffektiva alternativet betalar sig.

För den ekonomiska jämförelsen utgås det från beräkningsresultaten av typväggarna som beskrivs i figur 3 och figur 5. För att ge en jämförbar kostnad, anges varje pris per kvadratmeter. För att ha klimatvärden som beräkningsgrund, placeras huset i Göteborg.

Skikten i de båda väggarna skiljer sig något från varandra. Stenullen verkar som isoleringsmaterial och behöver därtill vindsydd och ångspärr. Polyuretanskummet verkar däremot som både ångspärr, vindsydd och isoleringsmaterial i ett, men behöver någon yta att fastna på vid sprutning. Det brukar oftast vara en uppspänd plastfilm menar Nilsson¹.

6.1 Jämförelse av typväggar

Material- och installationskostnad för respektive material i väggarna presenteras i tabell 8 och återfinns i bilaga 1. Varje kostnad är inklusive material- och installationskostnad, men exklusive moms.

Tabell 8: Material- och installationskostnader

Arbete och material	Kronor/m ²
Vindpapp, som sprutyta för PUR	53,47
165 mm PUR	546
215 mm PUR	686
240 mm PUR	742
Ångspärr, plastfolie	57,11
45 mm stenullskiva	87,46
120 mm stenullskiva	137,41
170 mm stenullskiva	175,45
195 mm stenullskiva	191,95

I polyuretanskumväggen behövs ingen ångspärr. Den enda kostnaden som tillkommer utöver polyuretananet är den vindpapp som sätts upp för att erhålla en yta att spruta på. Den slutliga kostnaden för isoleringen med tillhörande skikt för de olika väggarna framgår av tabell 9.

¹ Peter Nilsson (Tekniker, FoamKing) mailkontakt av författarna den 9 april 2014

Tabell 9: Kostnader för färdig vägg

Vägg	Kronor/m ²
120-45, PUR	599,47
120-45, stenull	281,98
170-45, PUR	739,47
170-45, stenull	320,02
195-45, PUR	795,47
195-45, stenull	336,52

6.2 Energibesparing

Typväggarna med polyuretanskum ger bättre U-värden och därför också mindre värmeflöde och i sin tur lägre uppvärmningskostnad än för stenullsväggarna. Material- och installationskostnaderna är däremot högre. I tabell 10 presenteras efter hur lång tid polyuretanskumväggen har betalat sig i förhållande till stenullsväggen för respektive typväggs tjocklek. Med andra ord beräknas det antal år det tar för den extra investeringen utöver stenull som PUR kräver för att återbetala sig.

Enligt PU Europe kan en ombyggnad med installation av polyuretanskum medföra en besparing i uppvärmningskostnad med upp till 30 procent över en period av minst 50 år. Enligt beräkningarna i bilaga 1 är värmeflödet cirka 30 procent lägre för PUR-väggarna än för stenullsväggarna med samma dimension. I beräkningarna förutsätts en kilowattimme motsvara en energikostnad på en krona.

Tabell 10: Olika vägg tjocklekers inverkan på pay-off-tid

Väggtyp	Pay-off-tid för polyuretanskum [år]
120+45	40
170+45	65
195+45	80

7. Diskussion

Vid informationssökning av polyuretanskum uppkommer problem med partiska källor, då majoriteten av de som informerar om PUR är tillverkningsföretag som vill utvidga sin verksamhet inom byggbranschen. Detta medför att källorna måste granskas kritiskt och deras objektivitet ifrågasättas. I detta kapitel diskuteras fördelar och nackdelar vid användning av isolering med sprutad polyuretanskum jämfört med stenullsisolering.

7.1 Det eftersökta kontinuerliga skiktet hos polyuretanskum

Sprutad PUR ger, till skillnad från andra isoleringsmaterial, ett homogent, heltäckande skikt. Som tidigare nämnts i kapitel 2.3 så resulterar detta i att eventuella skarvar, och därigenom köldbryggor, undviks. Hur stor betydelse för isoleringsresultatet som köldbryggorna ger kommer att variera med kvaliteten på utförandet och grundkonstruktionen, vilket gör det svårt att veta exakt hur stor vinst som görs med polyuretanskum. Det kan alltså vara allt från en stor vinst, om köldbryggorna hade varit stora, till små om köldbryggorna i stor utsträckning undvikits även vid användning av andra material. Det går däremot med större säkerhet att säga att möjligheterna till olika konstruktioner ökar med PUR, med dess stora flexibilitet under installationen.

7.2 Hälsoproblem vid hantering och användning

Isocyanat är troligen det mest hälsoskadliga ämnet i PUR på grund av sina astma- och cancerframkallande egenskaper. Faktumet att det börjar avges redan vid 150°C gör även att det kommer att släppas ut relativt tidigt vid ett brandscenario. Brandklassningen påverkas dock inte av detta, men bör beröras vid val av isoleringsmaterial. Den avvägningen får alltså göras på projektnivå och inte av någon klassificering.

Om installationen av PUR utförs med nödvändiga säkerhetsåtgärder, det vill säga att skyddsutrustning används, att byggnaden spärras av samt att man låter utsläppta gaser vädras ut under ett dygn, så kan de skadliga effekterna av isocyanat under detta skede undvikas. Arbete med dessa material medför dock alltid risker som vid okunskap eller oförsiktighet hos inblandade får negativa konsekvenser. Tillverkningsbranschen hävdar att efter härdat tillstånd avges inga isocyanater från materialet, dock kan detta ifrågasättas och fler prover i härdat tillstånd anses nödvändigt. Därmed bör dessa risker som uppkommer vid användning varsamt vägas mot de vinster som hoppas uppnås.

7.3 Beteende vid brand

En stor tvivelaktighet gällande PUR är om materialet besitter tillräckligt bra brandegenskaper för att installeras i enfamiljshus. Då plaster nämns i brandsammanhang är det ofta i samband med dåliga brandegenskaper, eftersom de antänder vid betydligt lägre temperaturer än exempelvis stenull, som inte antänder alls, och dessutom att de sprider brand via brinnande droppar då platen smälter. I fallet med PUR visar brandklassificeringen att så inte är fallet. Detta har granskats kritiskt av flera olika granskningsorgan i branschen vilket har medfört

att deras brandklassificering varierar mellan B och E, dock är den alltid droppfri, och får tilläggsklass d0.

Trots att brandklassificeringen höjs avsevärt vid användande av flamskyddsmedel så är det vissa brandegenskaper som ej förebyggs via användning av dessa. Till exempel så kommer materialets rökutveckling att vara ett kvarstående problem och eftersom PUR innehåller mycket inre energi så kan materialet agera som bränsle då det antänts, något som ses negativt ur brandsynpunkt.

7.4 Energimässig jämförelse

Under tillverkningen av stenull förbrukas energi då härdningsugnarna som används till att smälta stenmaterial i hettas upp till 1600°C. Som beskrivet i kap 3.1 så kan dock mängden använd energi reduceras med 20-30% på grund av att restmaterialet koks återanvänds i tillverkningsprocessen. Denna process bör ses i relation till motsvarande tillverkningsreaktion för PUR, som istället är en exoterm process.

Under brukandeskedet leder användning av PUR-isolering till en lägre energiförbrukning än vid isolering med stenull. Detta är en direkt följd av att PUR har lägre värmekonduktivitet än stenull, 0,025 W/mK respektive 0,037 W/mK. Polyuretanskumväggen med 120+45-reglar har i det närmaste samma U-värde som stenullsväggen med 195+45-reglar. PUR-väggen med 195+45-reglar är med god marginal under det U-värde som energimyndigheten rekommenderar. Med andra ord kan man med en relativt tunn vägg uppnå ett bra U-värde genom att isolera med polyuretanskum, medan en stenullsvägg kräver förhållandevis tjocka väggar.

Gällande återvinningen har båda materialen potential till att återvinnas, frågan är i vilken utsträckning detta sker i praktiken? Stenull kan sorteras och återvinnas för att producera nytt stenullsmaterial. Detta utförs dock inte ofta i praktiken utan vanligen läggs ullen på deponi, detta eftersom processen att sortera stenull från andra material är omständig och dyr. Eftersom stenull är ett obrännbart material kan det inte förbrännas i syfte att utvinna energi. Den energi som finns i PUR kan däremot återvinnas genom eldning av materialet, något som är godkänt ur energisynpunkt. Det kan tänkas att eventuella flamskyddsmedel hindrar PUR från att förbrännas, men i de stora ugnarna i avfallskraftvärmeverk är temperaturerna så höga att detta inte ska vara något problem. PU Europe menar att ingen energiförbrukning sker då materialet förbränns tillsammans med hushållsavfall. Dock måste det ändå påpekas att det krävs energi för att komma upp i temperaturer då PUR brinner av sig självt, men denna energi finns redan tillgänglig i dessa stora ugnar i form av bland annat brinnande hushållssopor. Detta medför att ur energisynpunkt och återvinning är PUR att föredra då det, trots viss energipåverkan, återvinns på ett smart och innovativt sätt i motsats till stenull. Det faktum att stenull ofta hamnar på deponi är ur energisynpunkt inte acceptabelt och det sämsta sättet att hantera avfall på.

7.5 Ekonomisk granskning

När PUR och stenull skall jämföras utifrån enbart uppvärmningskostnader, visar beräkningarna på typväggarna att PUR medför en trettioprocentig minskning av uppvärmningskostnad, som värmeutsläpp genom ytterväggarna orsakar, i förhållande till stenull. Detta kommer av att PUR har betydligt bättre värmekonduktivitet än stenull. En ytterligare fördel med PUR är att ingen diffusionsspärr behöver monteras, vilket medför minskade arbetstimmar.

Om däremot initialkostnaden; kostnaden för installation samt för själva materialen, medtages i beräkningen så visar sig skillnaderna bli större. Kostnaden för polyuretanskum för en 120+45-vägg visar sig vara det dubbla i förhållande till stenullsväggen med samma dimension. Eftersom materialkostnaden är så hög för PUR ökar kostnadsskillnaderna med ökande dimension. Därför ökar pay-off-tiden för PUR från 40 år till 80 år mellan en 120+45- och en 195+45-vägg. En pay-off-tid på mellan 40-80 år är förmodligen i sammanhanget ganska höga siffror för byggnation av en enfamiljsvilla. Ett alternativt sätt att jämföra på skulle vara att ha en tunnare vägg med PUR mot en tjockare av stenull. Då skulle den boyta man tjänar på PUR kunna värderas i pengar, men detta är inte beräkningar som genomförts i denna rapport.

Under installationen av PUR kan inga andra arbeten utföras samtidigt, eftersom att lokalen helst skall vädras ut under 24 timmar på grund av utsläpp av isocyanater. Det resulterar i att appliceringen av isoleringen stannar upp andra arbeten, vilket medför att byggprocessen ineffektiviseras och att arbetet därmed fördras.

En pay-off-tid på upp till 80 år är troligen inte ett starkt argument nog för att övertyga en barnfamilj att investera i isolering med polyuretanskum. Eftersom isolering med stenull är så pass standardiserat på byggmarknaden så är det inte troligt att stenullens kostnad kommer att sjunka vad gäller installation- och materialkostnader. Däremot är det möjligt att dessa kostnader kunde reduceras för PUR om dess användning kom att ske i större skala, vilket då skulle kunna medföra att pay-off-tiden minskade.

För att kunna applicera PUR krävs specifik utrustning och utbildning för sprutningen. Det gör att villabyggare, som har för avsikt att utföra stora delar av arbetet själva, måste lägga ytterligare utgifter på att anlita någon som utför isoleringsarbetet åt dem. För att installera stenull behövs däremot inga avancerade verktyg eller specialkompetens vilket gör materialet mer flexibelt för den enskilde och även mindre kostsamt som en engångsinvestering.

8. Slutsats

Gällande energieffektivisering kan det säkras att PUR är ett värmeisoleringsmaterial som ligger i framkant inom byggbranschen, med energiläckagebesparingar på 30 procent jämfört med stenull, då polyuretan- och stenullsisoleringar med samma tjocklekar används. En investering i polyuretanskum istället för stenullsisolering kommer att leda till energibesparingar under hela isoleringens brukandestadie. Dessutom bedöms möjligheterna till återvinning av polyuretanisolering som goda.

Däremot sett till PURs brandbeständighet är det inte längre att föredra framför andra material. De utredningar som utförts har resulterat i att PUR godkänts för användning som isolering i bostäder, men om det läggs stor vikt vid att bygga så brandsäkert som möjligt så visar sig stenull att vara ett klart bättre alternativ.

I samband med att isoleringen skall installeras i en byggnad så utgör PUR en extra hälsorisk, eftersom att isocyanater frisläpps under sprutningskedet. Motsvarande risk finns ej för andra isoleringsmaterial och kan därför bidra till att polyuretan väljs bort.

Den enda ekonomiska fördelen med polyuretanskumisolering jämfört med stenull är att energikostnaderna kommer att reduceras så länge byggnaden används. Dessa besparingar är dock små jämfört med hur mycket mer det kostar att köpa polyuretanskum samt att få den installerad. Pay-off-tiderna för typväggarna är alla över 40 år.

Nej, ur ekonomisk synvinkel lockar inte PUR som isoleringsalternativ, men om målsättningen ska vara att minska energiförbrukningen för huset är det ganska tydligt att PUR är det bästa av de två alternativen. De klara energimässiga vinster som PUR för med sig gentemot de brand- och hälsorisker som uppkommer är en viktig fråga då polyuretanisolering ställs mot stenullsisolering. Det kan alltså ännu inte avgöras om polyuretanisolering totalt sett för med sig positiva eller negativa egenskaper då det används som isolering i ett enfamiljshus. Valet blir upp till individen och kommer troligen att variera därefter. Mer forskning kommer att krävas kring bland annat polyuretanets hälsoeffekter för att en definitiv uppfattning kring materialets vara eller icke-varande kan tas.

Referenser

American Chemistry Council, 2014. *History of polyurethanes*. [Online]
Tillgänglig på: <http://polyurethane.americanchemistry.com/Introduction-to-Polyurethanes/History>
[Hämtad 10 mars 2014].

Areskoug, M. & Eliasson, P., 2012. *Energi för hållbar utveckling - Ett historiskt och naturvetenskapligt perspektiv*. 2:a ed. Lund: Studentlitteratur.

Bayer MaterialScience, 2014. *Isocyanates*. [Online]
Tillgänglig på:
<http://www.bayermaterialsciencenafta.com/businesses/pur/isocyanates.html>
[Hämtad 15 mars 2014].

Bengtsson, L.-G., 2013. *Inomhusbrand*. 4:e ed. Karlstad: Myndigheten för samhällskydd och beredskap.

Best, K. & Dr Squiller, E., 2008. 2-component polyurethane topcoats. *Paint & Coatings Industry*, 1 oktober.

Boverket, 2010. *Energi i bebyggelsen - tekniska egenskaper och beräkningar*, Karlskrona: Boverket.

Boverket, 2011. *BBR 18*. [Online]
Tillgänglig på: <https://rinfo.boverket.se/BBR/PDF/BFS2011-6-BBR18.pdf>
[Hämtad 9 maj 2014].

Boverket, 2013. *Boverkets byggregler - föreskrifter och allmänna råd*. [Online]
Tillgänglig på: <https://rinfo.boverket.se/BBR/PDF/BFS2013-14-BBR20.pdf>
[Hämtad 24 april 2014].

Brandforsk, 2013. *Produktionen av vätecyanid kan simuleras med CFD*. [Online]
Tillgänglig på:
www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.brandskyddsforeningen.se%2FMediaBinaryLoader.axd%3FMediaArchive_FileID%3D20f6e108-1d6e-4d85-a0dc-b047b5d490f1%26MediaArchive_ForceDownload
[Hämtad 10 mars 2014].

Brandskyddsföreningen, 2014. *Vad innebär en brandcell*. [Online]
Tillgänglig på: <http://www.brandskyddsforeningen.se/i-hemmet/fragor-och-svar-om-brandkydd-i-hemmet/brandcell>
[Hämtad 13 april 2014].

Burström, P.-G., 2006. *Byggnadsmaterial: uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. 2:a ed. Lund: Studentlitteratur.

Dinbyggare, 2014. *Brand i plastmaterial*. [Online]
Tillgänglig på: <http://www.dinbyggare.se/communicate/artiklar/article.aspx?id=5073>
[Hämtad 12 april 2014].

Dr Dunster, A., 2007. *Mineral wool insulation*, s.l.: DEFRA.

Energimyndigheten, 2013. *Klimatskal*. [Online]
Tillgänglig på: <http://www.energimyndigheten.se/Hushall/Bygga-nytt-hus/Klimatskal/>
[Hämtad 17 maj 2014].

Eurima, 2011. *Production process*. [Online]
Tillgänglig på: <http://www.eurima.org/about-mineral-wool/production-process>
[Hämtad 10 mars 2014].

Foamking, 2012. *Öppen cell isolering tekniskt datablad*. [Online]
Tillgänglig på: http://www.foamking.se/admin/files_cz/ModuleText/540-FL-500.pdf
[Hämtad 15 mars 2014].

FoamKing, 2012. *Öppen-cell skum*. [Online]
Tillgänglig på: <http://www.foamking.se/interior-exterior/fl-500-interior>
[Hämtad 13 februari 2014].

FoamKing, 2012. *Tekniskt datablad Stängd Cell isolering*. [Online]
Tillgänglig på: http://www.foamking.se/admin/files_cz/ModuleText/542-FL-2000.pdf
[Hämtad 15 maj 2014].

Glenting, M., 2002. *Brand i äldre trähusbebyggelse*, Lund: Lunds Universitet.

Hertzberg, T., Blomqvist, P., Dalene, M. & Skarping, G., 2003. *Particles and isocyanates from fires*, Borås: SP.

ISOPA, 2014. *Environment*. [Online]
Tillgänglig på: <http://www.isopa.org/isopa/index.php?page=environment>
[Hämtad 15 maj 2014].

ISOPA, 2014. *History*. [Online]
Tillgänglig på: <http://www.polyurethanes.org/index.php?page=history>
[Hämtad 14 mars 2014].

ISOPA, 2014. *Polyurethanes timeline*. [Online]
Tillgänglig på: <http://www.polyurethanes.org/index.php?page=timeline>
[Hämtad 16 maj 2014].

Isopol, 2014. *Polyuretan - ett fantastiskt material*. [Online]
Tillgänglig på: <http://www.isopol.se/polyuretan-ett-fantastiskt-material/>
[Hämtad 15 april 2014].

Kemikalieinspektionen, 2011. *Flamskyddsmedel*. [Online]
Tillgänglig på: <http://www.kemi.se/sv/Innehall/Fragor-i-fokus/Flamskyddsmedel/>
[Hämtad 4 maj 2014].

Knauf Danogips, 2013. *Material och brand*. [Online]
Tillgänglig på:
http://byggsystem.knaufdanogips.se/physics/ph_fire/products.html
[Hämtad 22 mars 2014].

Paroc, 2014. *Brandklassificering*. [Online]
Tillgänglig på: <http://www.paroc.se/knowhow/brand/brandklassificering>
[Hämtad 1 april 2014].

Paroc, 2014. *Historia*. [Online]
Tillgänglig på: <http://www.paroc.se/om-paroc/historia>
[Hämtad 29 mars 2014].

Paroc, 2014. *PAROC produktöversikt*. [Online]
Tillgänglig på: <http://www.paroc.se/losningar-och-produkter/produkter>
[Hämtad 29 mars 2014].

Petersson, G., 2006. *Kemisk miljövetenskap*. 6:e ed. Göteborg: Chalmers.

Petterson, F., 2010. *En jämförelse mellan mineralull och cellulosafiber*, Karlstad: Karlstad Universitet.

Pfundstein, M. & al, e., 2008. *Insulating materials*. 1:a ed. Basel: Birkhäuser.

PU Europe, 2005. *Options in practice - Recycling and recovering polyurethanes*.
[Online]
Tillgänglig på: http://www.pu-europe.eu/site/fileadmin/Factsheets_public/Options_in_practise-Recycling_and_Recovering_Polyurethanes.pdf
[Hämtad 15 maj 2014].

PU Europe, 2006. *Thermal insulation materials made of rigid polyurethane foam*.
[Online]
Tillgänglig på: http://www.pu-europe.eu/site/fileadmin/Reports_public/BING_TECH_REP_on_Thermal_insulation_materials_made_of_rigid_polyurethane_foam.pdf
[Hämtad 15 maj 2014].

PU Europe, 2011. *Applications for polyurethane insulation*. [Online]
Tillgänglig på: [http://www.pu-europe.eu/site/fileadmin/Factsheets_public/Applications_for_polyurethane_insulation - Today s solution for tomorrow s needs version 2011 .pdf](http://www.pu-europe.eu/site/fileadmin/Factsheets_public/Applications_for_polyurethane_insulation_-_Today_s_solution_for_tomorrow_s_needs_version_2011_.pdf)
[Hämtad 15 maj 2014].

PU Europe, 2012. *PU Europe Fire Handbook*, Bryssel: PU Europe.

PU Europe, 2013. *Fire resistance of timber frame wall constructions*. [Online]
Tillgänglig på: [http://www.pu-europe.eu/site/fileadmin/Factsheets_public/Factsheet 20 Fire resistance of timber frame wall constructions.pdf](http://www.pu-europe.eu/site/fileadmin/Factsheets_public/Factsheet_20_Fire_resistance_of_timber_frame_wall_constructions.pdf)
[Hämtad 15 maj 2014].

Räddningstjänsten Storgöteborg, 2013. *Dokument*. [Online]
Tillgänglig på: <http://www.rsgbg.se/Documents/L%C3%A4rarhandledning%20-%20S%C3%A5%20brinner%20husen.pdf>
[Hämtad 22 februari 2014].

Regeringen, 2013. *Regeringsbeslut IV:2*. [Online]
Tillgänglig på: <http://www.regeringen.se/content/1/c6/22/52/13/9da56795.pdf>
[Hämtad 22 april 2014].

Rockwool, 2013. *Säkerhetsdatablad för Rockwool stenull*. [Online]
Tillgänglig på:
<http://download.rockwool.se/media/23243685/rockwool%20s%C3%A4kerhetsdatablad%2020131126.pdf>
[Hämtad 24 februari 2014].

Sintef, 2011. *Technical approval no. 20114*, Oslo: Sintef Building and Infrastructure.

Skanska Sverige AB, 2010. *Inventering och utvärdering av högpresterande isolering*, Göteborg: Skanska Sverige AB.

SP SITAC, 2011. *Typgodkännandebevis SC0705-11*. [Online]
Tillgänglig på: [http://www.foamking.se/admin/files_cz/ModuleText/514-Typgodkannande SITAC FL2000.pdf](http://www.foamking.se/admin/files_cz/ModuleText/514-Typgodkannande_SITAC_FL2000.pdf)
[Hämtad 15 februari 2014].

SP, 2014. *Byggprodukters brandtekniska egenskaper*. [Online]
Tillgänglig på:
http://www.sp.se/sv/index/services/firetest_building/firetest_bu%C3%ADlding/Sidor/default.aspx
[Hämtad 15 maj 2014].

SP, 2014. *Klasser för byggprodukters reaktion vid brandpåverkan utom golvbeläggningar, rörisolering och elektriska kablar*. [Online]

Tillgänglig på:

<http://www.sp.se/sv/index/information/fireclassification/table1/Sidor/default.aspx>

[Hämtad 15 maj 2014].

Statens offentliga utredningar, 2009. *Skatt på flourerade växthusgaser*, Stockholm: Regeringskansliet.

Sundqvist Ökvist, L., 2007. *Slutrapport MEFOS*, Luleå: Energimyndigheten.

XL-Bygg, 2011. *Stenull*. [Online]

Tillgänglig på: <http://www.xlbygg.se/Sortiment/Isolering/Stenull/>

[Hämtad 15 februari 2014].

Yale School of Medicine, 2014. *Isocyanates and asthma*. [Online]

Tillgänglig på:

<http://medicine.yale.edu/intmed/prep/worker/hazards/isocyanates/index.aspx>

[Hämtad 15 mars 2014].

Öman, R., 2009. Ett koncept för nya energisnåla småhus. *Bygg & teknik*, maj, pp. 12-16.

Muntliga källor

Bergman, Ronnie, 2014. *Insatsledare, Räddningstjänsten* [Föreläsning] (7 februari 2014).

Hayward, Jimmi, 2014. *Termograf/sprayisoleringsapplikatör, Foamking* [Intervju] (6 mars 2014).

Leander, Johan & Viking, Maria, 2014. *Teknisk rådgivare, resp. Marketing manager, Rockwool* [Intervju] (18 mars 2014).

Lernbrink Wretin, Åsa & Roxendal, Stellan, 2014. *Account Manager Technical sales, resp. Account Manager, BASF* [Intervju] (25 februari 2014).

Nilsson, Peter, 2014. *Tekniker, FoamKing* [Mailkontakt] (9 april 2014).

Segerholm, Ingemar, 2014. *Universitetslektor, Chalmers* [Föreläsning] (14 februari 2014).

Thuresson, Per, 2014. *Brandexpert, SP* [Intervju] (30 april 2014).

Bildkällor

Figur 1: BASF (2014) [Polyuretanskum]

http://www.polyurethanes.basf.de/pu/solutions/en/content/group/Arbeitsgebiete_und_Produkte/index [åtkomst 2014-05-15]

Figur 4: Eurima, (2011) [Stenullstillverkning] [elektronisk bild]
<http://www.eurima.org/about-mineral-wool/production-process> [åtkomst 2014-05-15]

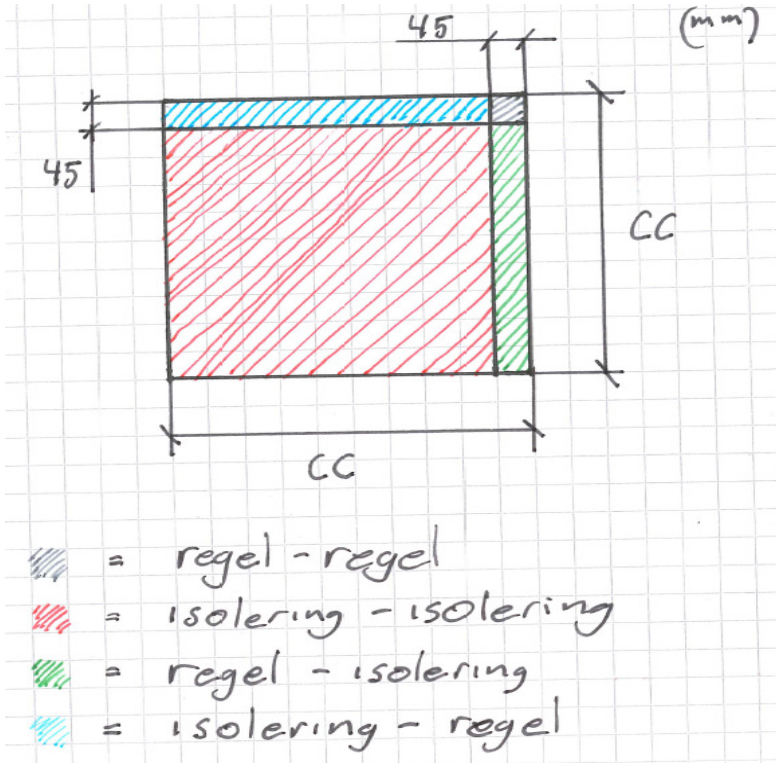
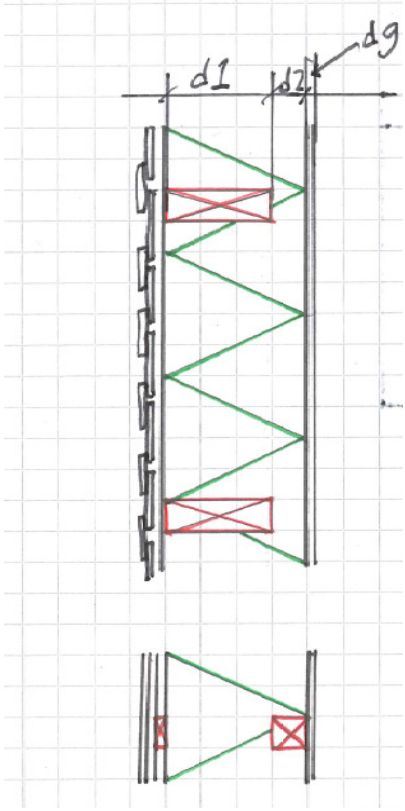
Bilaga 1

U-värde- och pay-off-beräkningar

Innehåll:

U-värde-beräkning, 120+45-vägg, polyuretanskum	sida 2
U-värde-beräkning, 170+45-vägg, polyuretanskum	sida 5
U-värde-beräkning, 195+45-vägg, polyuretanskum	sida 8
U-värde-beräkning, 120+45-vägg, stenull	sida 11
U-värde-beräkning, 170+45-vägg, stenull	sida 14
U-värde-beräkning, 195+45-vägg, stenull	sida 17
Pay-off-beräkning för polyuretanskumsvägg	sida 20

U-värde-beräkning för polyuretanskum, 120+45-vägg



lambda:	värde:	enhet:	källa	kommentar:
polyuretanskum	0,025	W/m.K	Foamkings certifikat för Foam Lok 2000	
trä	0,14	W/m.K	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	
gips	0,25	W/m.K	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	

R:	värde:	värde:	källa	kommentar:
si	0,17	m ² K/W	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	interiört
se	0,04	m ² K/W	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	exteriört
sal	0,15	m ² K/W	EN 13947:2006, slightly ventilated air layer	luftspalt

dimensioner:	värde:	enhet:	källa:	kommentar:
d1=	0,12	m	figur för polyuretanskumsvägg	bärande, stående regel
d2=	0,045	m	figur för polyuretanskumsvägg	installationsregel, liggande
cc	0,6	m	figur för polyuretanskumsvägg	cc-avstånd
dg=	0,013	m	figur för polyuretanskumsvägg	gipskiva

$$K=(\lambda \cdot A)/d$$

Ekvation (3.16) i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

$$K=1/R=1/\sum_i^N(1/K_i)$$

Ekvation (3.23) för seriekoppling i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

$$Q=K \cdot (T_2 - T_1)$$

Ekvation (3.49) i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

K	värde:	värde:	kommentar:
Ktt=	0,004772727	W/K	regel-regel
Kiso=	0,129640152	W/K	isolering-isolering
Kt1=	0,0809375	W/K	regel i grön
Kiso2=	0,038541667	W/K	isolering i grön
Kt2=	0,215833333	W/K	regel i blå
Kiso1=	0,014453125	W/K	isolering i blå
Ke=	5,263157895	W/K	exteriör
Ki=	5,882352941	W/K	interiör
Kg=	19,23076923	W/K	gips
Kgrå=	0,004772727	W/K	se färgfigur
Kröd=	0,129640152	W/K	se färgfigur
Kgrön=	0,026108871	W/K	se färgfigur
Kblå=	0,013546025	W/K	se färgfigur
Kkrets=	0,174067775	W/K	exklusive gips, interiör och exteriör K
Ktot=	0,162419696	W/K	inklusive gips, interiör och exteriör K
A=	1	m ²	
U-värde=K/A=	0,162	W/m ² K	

Installation- och materialkostnad:

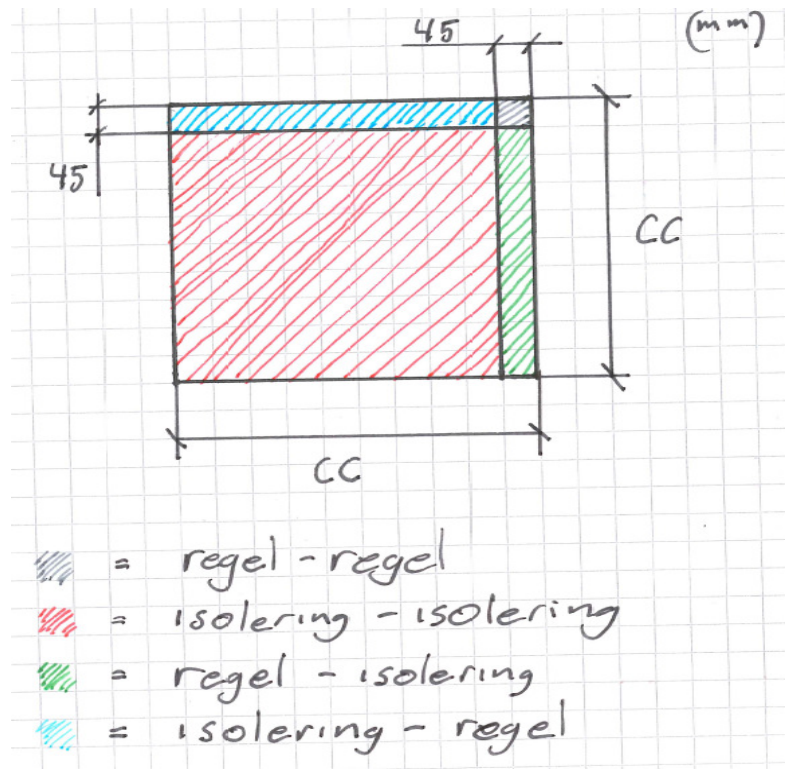
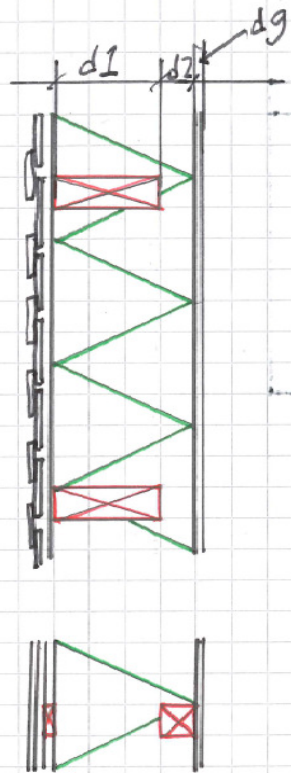
Arbete och material	enhet	pris	källa	BSAB 96
Vindpapp, som sprutyta	m ²	53,47	Sektionsfakta-Rot 13-14, teknisk- ekonomisk sammanställning av rot-bygghdelar, wikells	JSG.14
165 mm polyuretanskum	m ²	546	Foamking, installation- och materialpriser	-

Summa: **599,47** kr

Flödesberäkning

T _{inne} =	22	C
T _{ute} är hämtad för varje timme i en klimatdatafil och differensen hämtas cellvis. Varje timtemperatur som överskrider innetemperaturen har satts till innetemperaturen. Då utesluts kylbehovet.	<22	C
$Q_{\text{år}} = \Sigma(T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}}) * U$	20,5119997	kWh/m ²
Kronor (1kwh=1kr)	20,5119997	SEK/m ²

U-värde-beräkning för polyuretanskum, 170+45-vägg



lambda:	värde:	enhet:	källa	kommentar:
polyuretanskum	0,025	W/m.K	Foamkings certifikat för Foam Lok 2000	
trä	0,14	W/m.K	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	
gips	0,25	W/m.K	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	

R:	värde:	enhet:	källa	kommentar:
si	0,17	m ² K/W	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	interiört
se	0,04	m ² K/W	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	exteriört
sal	0,15	m ² K/W	EN 13947:2006, slightly ventilated air layer	luftspalt

dimensioner:	värde:	enhet:	källa:	kommentar
d1=	0,17	m	figur för polyuretanskumsvägg	bärande, stående regel
d2=	0,045	m	figur för polyuretanskumsvägg	installationsregel, liggande
cc	0,6	m	figur för polyuretanskumsvägg	cc-avstånd
dg=	0,013	m	figur för polyuretanskumsvägg	gipskiva

$$K=(\lambda \cdot A)/d$$

Ekvation (3.16) i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

$$K=1/R=1/\sum_i^N(1/K_i)$$

Ekvation (3.23) för seriekoppling i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

$$Q=K \cdot (T_2-T_1)$$

Ekvation (3.49) i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

K	värde:	värde:	kommentar:
Ktt=	0,003662791	W/K	regel-regel
Kiso=	0,099491279	W/K	isolering-isolering
Kt1=	0,057132353	W/K	regel i grön
Kiso2=	0,038541667	W/K	isolering i grön
Kt2=	0,215833333	W/K	regel i blå
Kiso1=	0,010202206	W/K	isolering i blå
Ke=	5,263157895	W/K	exteriör
Ki=	5,882352941	W/K	interiör
Kg=	19,23076923	W/K	gips
Kgrå=	0,003662791	W/K	se färgfigur
Kröd=	0,099491279	W/K	se färgfigur
Kgrön=	0,023015403	W/K	se färgfigur
Kblå=	0,009741725	W/K	se färgfigur
Kkrets=	0,135911198	W/K	exklusive gips, interiör och exteriör K
Ktot=	0,128704345	W/K	inklusive gips, interiör och exteriör K
A=	1	m ²	
U-värde=K/A=	0,129	W/m ² K	

Installation- och materialkostnad:

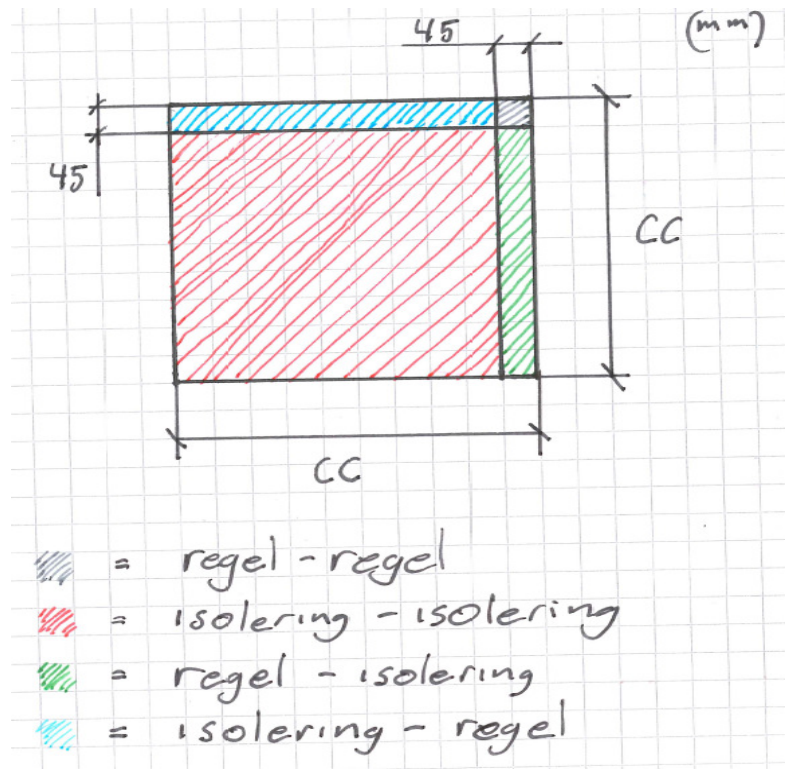
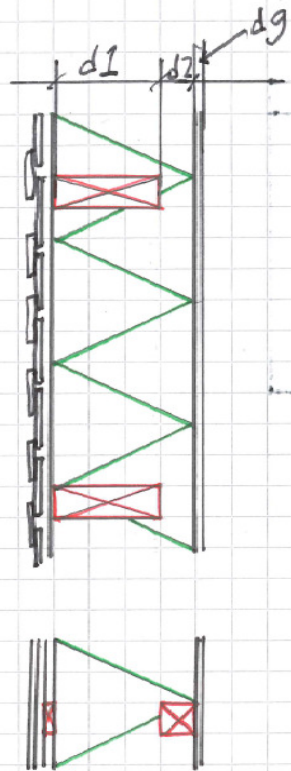
Arbete och material	enhet	pris	källa	BSAB 96
Vindpapp, som sprutyta	m ²	53,47	Sektionsfakta-Rot 13-14, teknisk- ekonomisk sammanställning av rot-bygghdelar, wikells	JSG.14
215 mm polyuretanskum	m ²	686	Foamking, installation- och materialpriser	-

Summa: **739,47** kr

Flödesberäkning

T _{inne} =	22	C
T _{ute} är hämtad för varje timme i en klimatdatafil och differensen hämtas cellvis. Varje timtemperatur som överskrider innetemperaturen har satts till innetemperaturen. Då utesluts kylbehovet.	<22	C
$Q_{\text{år}} = \Sigma(T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}}) * U$	16,25408457	kWh/m ²
Kronor (1kwh=1kr)	16,25408457	SEK/m ²

U-värde-beräkning för polyuretanskum, 195+45-vägg



lambda:	värde:	enhet:	källa	kommentar:
polyuretanskum	0,025	W/m.K	Foamkings certifikat för Foam Lok 2000	
trä	0,14	W/m.K	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	
gips	0,25	W/m.K	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	

R:	värde:	enhet:	källa	kommentar:
si	0,17	m ² K/W	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	interiört
se	0,04	m ² K/W	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	exteriört
sal	0,15	m ² K/W	EN 13947:2006, slightly ventilated air layer	luftspalt

dimensioner:	värde:	enhet:	källa:	kommentar
d1=	0,195	m	figur för polyuretanskumsvägg	bärande, stående regel
d2=	0,045	m	figur för polyuretanskumsvägg	installationsregel, liggande
cc	0,6	m	figur för polyuretanskumsvägg	cc-avstånd
dg=	0,013	m	figur för polyuretanskumsvägg	gipskiva

$$K=(\lambda \cdot A)/d$$

Ekvation (3.16) i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

$$K=1/R=1/\sum_i^N(1/K_i)$$

Ekvation (3.23) för seriekoppling i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

$$Q=K \cdot (T_2-T_1)$$

Ekvation (3.49) i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

K	värde:	värde:	kommentar:
Ktt=	0,00328125	W/K	regel-regel
Kiso=	0,089127604	W/K	isolering-isolering
Kt1=	0,049807692	W/K	regel i grön
Kiso2=	0,038541667	W/K	isolering i grön
Kt2=	0,215833333	W/K	regel i blå
Kiso1=	0,008894231	W/K	isolering i blå
Ke=	5,263157895	W/K	exteriör
Ki=	5,882352941	W/K	interiör
Kg=	19,23076923	W/K	gips
Kgrå=	0,00328125	W/K	se färgfigur
Kröd=	0,089127604	W/K	se färgfigur
Kgrön=	0,021728188	W/K	se färgfigur
Kblå=	0,008542216	W/K	se färgfigur
Kkrets=	0,122679258	W/K	exklusive gips, interiör och exteriör K
Ktot=	0,116776904	W/K	inklusive gips, interiör och exteriör K
A=	1	m ²	
U-värde=K/A=	0,117	W/m ² K	

Installation- och materialkostnad:

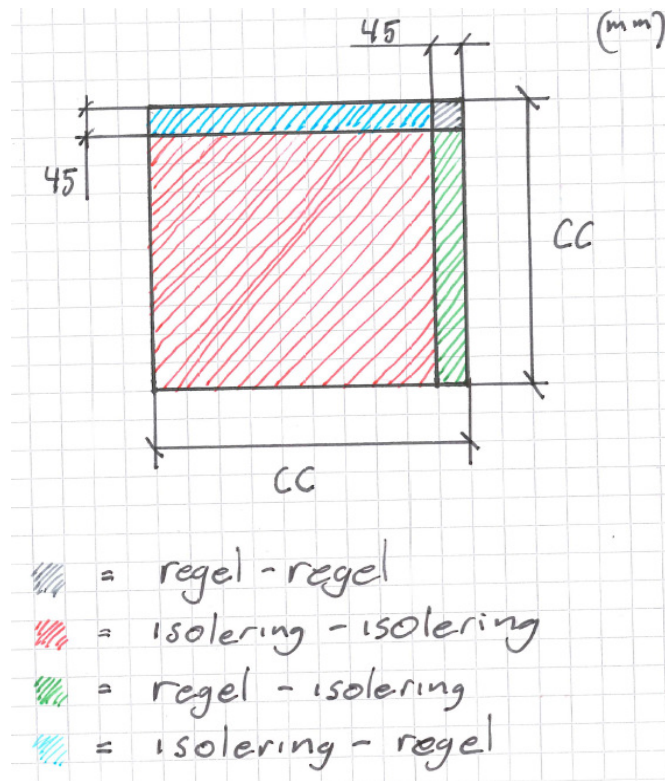
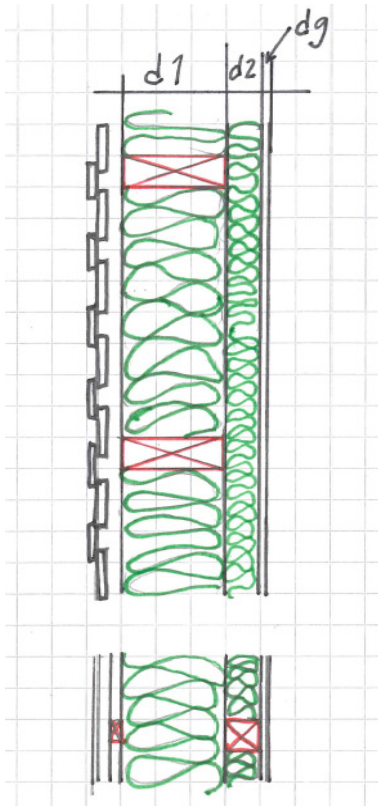
Arbete och material	enhet	pris	källa	BSAB 96
Vindpapp, som sprutyta	m ²	53,47	Sektionsfakta-Rot 13-14, teknisk- ekonomisk sammanställning av rot-bygghdelar, wikells	JSG.14
240 mm polyuretanskum	m ²	742	Foamking, installation- och materialpriser	-

Summa: **795,47** kr

Flödesberäkning

T _{inne} =	22	C
T _{ute} är hämtad för varje timme i en klimatdatafil och differensen hämtas cellvis. Varje timtemperatur som överskrider innetemperaturen har satts till innetemperaturen. Då utesluts kylbehovet.	<22	C
$Q_{\text{år}} = \Sigma(T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}}) * U$	14,74776684	kWh/m ²
Kronor (1kwh=1kr)	14,74776684	SEK/m ²

U-värde-beräkning för stenull, 120+45-vägg



lambda:	värde:	enhet:	källa	kommentar:
Stenull	0,037	W/m.K	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	
trä	0,14	W/m.K	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	
gips	0,25	W/m.K	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	

R:	värde:	enhet:	källa	kommentar:
si	0,17	m ² K/W	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	interiört
se	0,04	m ² K/W	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	exteriört
sal	0,15	m ² K/W	EN 13947:2006, slightly ventilated air layer	luftspalt

dimensioner:	värde:	enhet:	källa:	kommentar
d1=	0,12	m	figur för stenuvsvägg	bärande, stående regel
d2=	0,045	m	figur för stenuvsvägg	installationsregel, liggande
cc	0,6	m	figur för stenuvsvägg	cc-avstånd
dg=	0,013	m	figur för stenuvsvägg	gipskiva

$$K=(\lambda \cdot A)/d$$

Ekvation (3.16) i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

$$K=1/R=1/\sum_i^N(1/K_i)$$

Ekvation (3.23) för seriekoppling i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

$$Q=K \cdot (T_2-T_1)$$

Ekvation (3.49) i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

K	värde:	värde:	kommentar:
Ktt=	0,004772727	W/K	regel-regel
Kiso=	0,191867424	W/K	isolering-isolering
Kt1=	0,0809375	W/K	regel i grön
Kiso2=	0,057041667	W/K	isolering i grön
Kt2=	0,215833333	W/K	regel i blå
Kiso1=	0,021390625	W/K	isolering i blå
Ke=	5,263157895	W/K	exteriör
Ki=	5,882352941	W/K	interiör
Kg=	19,23076923	W/K	gips
Kgrå=	0,004772727	W/K	se färgfigur
Kröd=	0,191867424	W/K	se färgfigur
Kgrön=	0,033460196	W/K	se färgfigur
Kblå=	0,01946182	W/K	se färgfigur
Kkrets=	0,249562167	W/K	exklusive gips, interiör och exteriör K
Ktot=	0,22629464	W/K	inklusive gips, interiör och exteriör K
A=	1	m ²	
U-värde=	0,226	W/m ² K	

Installation- och materialkostnad:

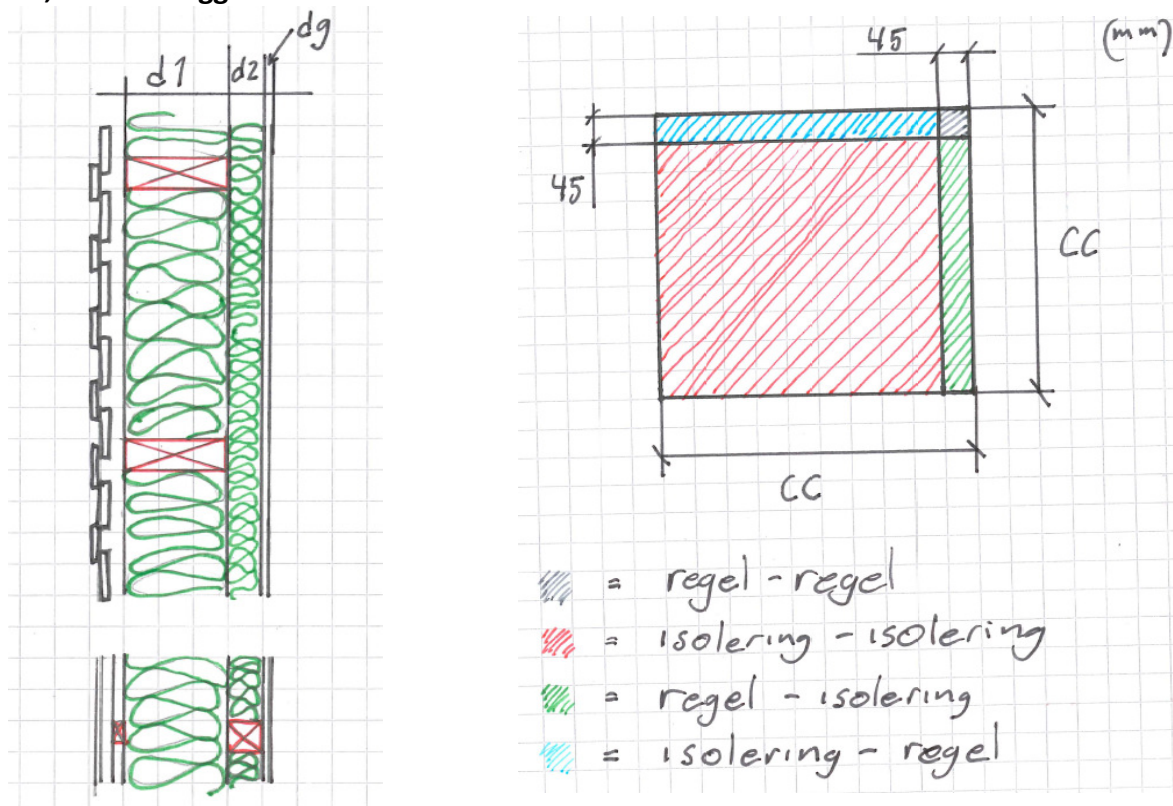
Arbete och material	enhet	pris	källa	BSAB 96
120 mineralullskiva	m ²	137,41	Sektionsfakta-Rot 13-14, teknisk- ekonomisk sammanställning av rot-bygghäls	IBE.24
45 mineralullsskiva	m ²	87,46	Sektionsfakta-Rot 13-14, teknisk- ekonomisk sammanställning av rot-bygghäls	IBE.24
ångspärr, plastfolie 0,20	m ²	57,11	Sektionsfakta-Rot 13-14, teknisk- ekonomisk sammanställning av rot-bygghäls	JSF.54

Summa:

281,98 kr**Flödesberäkning**

T _{inne} =	22	C
T _{ute} hämtas för varje timme från en klimatdatafil och differensen hämtas cellvis. Varje timtemperatur som överskrider innetemperaturen har satts till innetemperaturen. Då utesluts kylbehovet och ingen överlappning uppstår.	<22	C
$Q_{\text{år}} = \sum (T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}}) * U$	28,57877265	kWh/m ²
Kronor (1kwh=1kr)	28,57877265	SEK/m ²

U-värde-beräkning för stenull, 170+45-vägg



lambda:	värde:	enhet:	källa	kommentar:
Stenull	0,037	W/m.K	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	
trä	0,14	W/m.K	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	
gips	0,25	W/m.K	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	

R:	värde:	enhet:	källa	kommentar:
si	0,17	m ² K/W	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	interiört
se	0,04	m ² K/W	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	exteriört
sal	0,15	m ² K/W	EN 13947:2006, slightly ventilated air layer	luftspalt

dimensioner:	värde:	enhet:	källa:	kommentar
d1=	0,17	m	figur för stenullsvägg	bärande, stående regel
d2=	0,045	m	figur för stenullsvägg	installationsregel, liggande
cc	0,6	m	figur för stenullsvägg	cc-avstånd
dg=	0,013	m	figur för stenullsvägg	gipskiva

$$K=(\lambda \cdot A)/d$$

Ekvation (3.16) i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

$$K=1/R=1/\sum_i^N(1/K_i)$$

Ekvation (3.23) för seriekoppling i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

$$Q=K \cdot (T_2 - T_1)$$

Ekvation (3.49) i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

K	värde:	värde:	kommentar:
Ktt=	0,003662791	W/K	regel-regel
Kiso=	0,147247093	W/K	isolering-isolering
Kt1=	0,057132353	W/K	regel i grön
Kiso2=	0,057041667	W/K	isolering i grön
Kt2=	0,215833333	W/K	regel i blå
Kiso1=	0,015099265	W/K	isolering i blå
Ke=	5,263157895	W/K	exteriör
Ki=	5,882352941	W/K	interiör
Kg=	19,23076923	W/K	gips
Kgrå=	0,003662791	W/K	se färgfigur
Kröd=	0,147247093	W/K	se färgfigur
Kgrön=	0,028543487	W/K	se färgfigur
Kblå=	0,014112016	W/K	se färgfigur
Kkrets=	0,193565387	W/K	exklusive gips, interiör och exteriör K
Ktot=	0,179268884	W/K	inklusive gips, interiör och exteriör K
A=	1	m ²	
U-värde=	0,179	W/m ² K	

Installation- och materialkostnad:

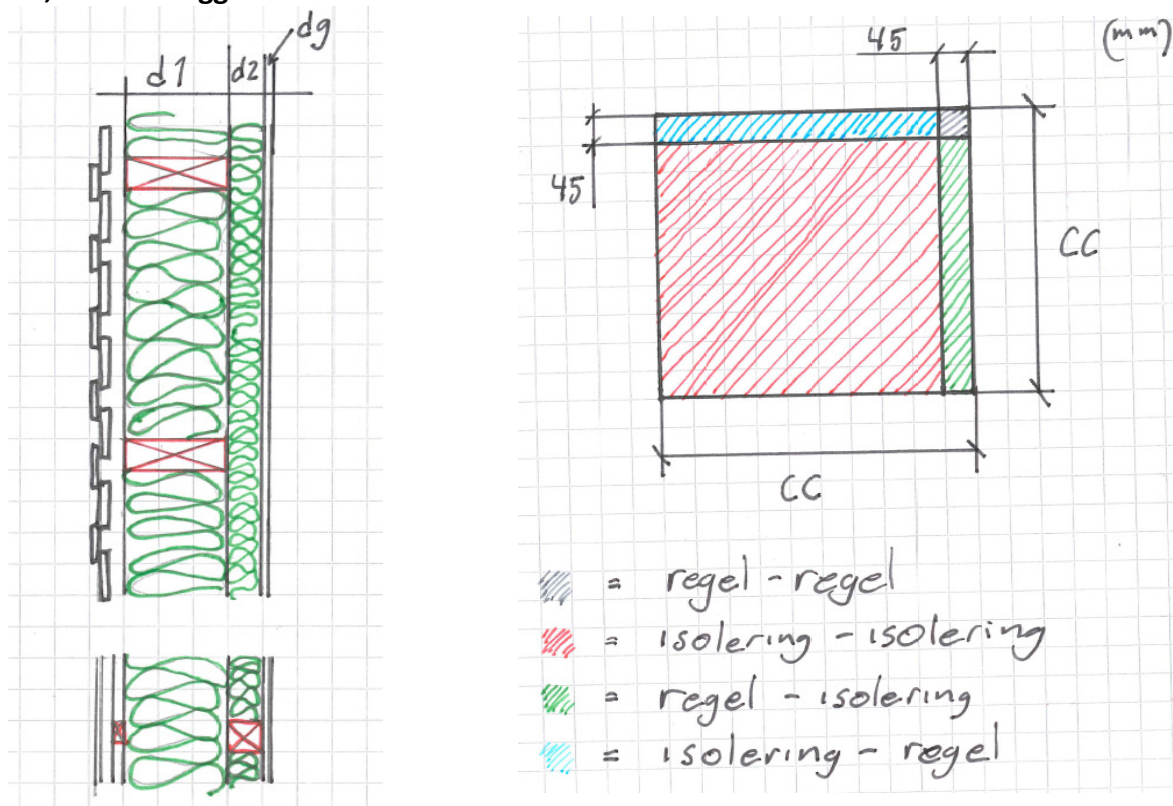
Arbete och material	enhet	pris	källa	BSAB 96
170 mineralullskiva	m ²	175,45	Sektionsfakta-Rot 13-14, teknisk- ekonomisk sammanställning av rot-byggedelar, wikells	IBE.24
45 mineralullsskiva	m ²	87,46	Sektionsfakta-Rot 13-14, teknisk- ekonomisk sammanställning av rot-byggedelar, wikells	IBE.24
ångspärr, plastfolie 0,20	m ²	57,11	Sektionsfakta-Rot 13-14, teknisk- ekonomisk sammanställning av rot-byggedelar, wikells	JSF.54

Summa: **320,02** kr

Flödesberäkning

T _{inne} =	22	C
T _{ute} hämtas för varje timme från en klimatdatafil och differensen hämtas cellvis. Varje timtemperatur som överskrider innetemperaturen har satts till innetemperaturen. Då utesluts kylbehovet och ingen överlappning uppstår.	<22	C
$Q_{\text{år}} = \Sigma(T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}}) * U$	22,63988526	kWh/m ²
Kronor (1kwh=1kr)	22,63988526	SEK/m ²

U-värde-beräkning för stenull, 195+45-vägg



lambda:	värde:	enhet:	källa	kommentar:
Stenull	0,037	W/m.K	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	
trä	0,14	W/m.K	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	
gips	0,25	W/m.K	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	

R:	värde:	enhet:	källa	kommentar:
si	0,17	m ² K/W	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	interiört
se	0,04	m ² K/W	Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft	exteriört
sal	0,15	m ² K/W	EN 13947:2006, slightly ventilated air layer	luftspalt

dimensioner:	värde:	enhet:	källa:	kommentar
d1=	0,195	m	figur för stenullsvägg	bärande, stående regel
d2=	0,045	m	figur för stenullsvägg	installationsregel, liggande
cc	0,6	m	figur för stenullsvägg	cc-avstånd
dg=	0,013	m	figur för stenullsvägg	gipskiva

$$K=(\lambda \cdot A)/d$$

Ekvation (3.16) i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

$$K=1/R=1/\sum_i^N(1/K_i)$$

Ekvation (3.23) för seriekoppling i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

$$Q=K \cdot (T_2 - T_1)$$

Ekvation (3.49) i Introduction to building physics, Carl-Eric Hagentoft

K	värde:	värde:	kommentar:
Ktt=	0,00328125	W/K	regel-regel
Kiso=	0,131908854	W/K	isolering-isolering
Kt1=	0,049807692	W/K	regel i grön
Kiso2=	0,057041667	W/K	isolering i grön
Kt2=	0,215833333	W/K	regel i blå
Kiso1=	0,013163462	W/K	isolering i blå
Ke=	5,263157895	W/K	exteriör
Ki=	5,882352941	W/K	interiör
Kg=	19,23076923	W/K	gips
Kgrå=	0,00328125	W/K	se färgfigur
Kröd=	0,131908854	W/K	se färgfigur
Kgrön=	0,0265899	W/K	se färgfigur
Kblå=	0,012406784	W/K	se färgfigur
Kkrets=	0,174186788	W/K	exklusive gips, interiör och exteriör K
Ktot=	0,16252331	W/K	inklusive gips, interiör och exteriör K
A=	1	m ²	
U-värde=	0,163	W/m ² K	

Installation- och materialkostnad:

Arbete och material	enhet	pris	källa	BSAB 96
195 mineralullskiva	m ²	191,95	Sektionsfakta-Rot 13-14, teknisk- ekonomisk sammanställning av rot-bygghandboken, Wikells	IBE.24
45 mineralullskiva	m ²	87,46	Sektionsfakta-Rot 13-14, teknisk- ekonomisk sammanställning av rot-bygghandboken, Wikells	IBE.24
ångspärr, plastfolie 0,20	m ²	57,11	Sektionsfakta-Rot 13-14, teknisk- ekonomisk sammanställning av rot-bygghandboken, Wikells	JSF.54

Summa:

336,52 kr**Flödesberäkning**

T _{inne} =	22	C
T _{ute} hämtas för varje timme under en klimatdatafil och differensen hämtas cellvis. Varje timtemperatur som överskrider innetemperaturen har satts till innetemperaturen. Då utesluts kylbehovet och ingen överlappning uppstår.	<22	C
$Q_{\text{år}} = \sum (T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}}) * U$	20,52508507	kWh/m ²
Kronor (1kwh=1kr)	20,52508507	SEK/m ²

Pay-off-beräkning

Väggtyp	Material	U-värde	Flöde/år [kWh/m2], [kr]	Installation- och materialkostnad [kr]	Pay-off-tid för polyuretanskum [år]
120+45					
	Stenull	0,226	28,58	281,98	
	Polyuretanskum	0,162	20,51	599,47	
					39,34200743
170+45					
	Stenull	0,179	22,64	320,02	
	Polyuretanskum	0,129	16,25	739,47	
					65,64162754
195+45					
	Stenull	0,163	20,52	336,52	
	Polyuretanskum	0,117	14,75	795,47	
					79,5407279