



CHALMERS

Utformning av tilläggsisolering med hänsyn till krav på U-värde, fukt och brand

En förstudie för tillämpning av isoleringsmaterialen aerogelmattor, vakuumpaneler och expanderad polystyren som tilläggsisolering

Kandidatarbete inom Väg- och vattenbyggnad

Alexander Liljenhed
Daniel Rehn
Efraim Sandgren
Elin Tjäder

Kandidatarbete inom Väg- och vattenbyggnad

Utformning av tilläggsisolering med hänsyn till krav på U-värde, fukt och brand

En förstudie för tillämpning av isoleringsmaterialen
aerogelmattor, vakuumpaneler och expanderad polystyren som
tilläggsisolering

ALEXANDER LILJENHED

DANIEL REHN

EFRAIM SANDGREN

ELIN TJÄDER

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2014

Utformning av tilläggsisolering med hänsyn till krav på U-värde, fukt och brand

ALEXANDER LILJENHED
DANIEL REHN
EFRAIM SANDGREN
ELIN TJÄDER

© ALEXANDER LILJENHED, DANIEL REHN, EFRAIM SANDGREN, ELIN TJÄDER,
2014.

Kandidatarbete
Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: +46 (0)31-722 1000

Chalmers Reproservice
Göteborg, Sverige 2014

Utformning av tilläggsisolering med hänsyn till krav på U-värde, fukt och brand
En förstudie för tillämpning av isoleringsmaterialen aerogelmattor, vakuumpaneler och expanderad polystyren som tilläggsisolering
Kandidatarbete inom Väg- och vattenbyggnad

ALEXANDER LILJENHED, DANIEL REHN, EFRAIM SANDGREN, ELIN TJÄDER
Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

Rapporten syftar till att för en homogen vägg utforma lösningsförslag av tilläggsisolering med de respektive isoleringsmaterialen expanderad polystyren, aerogelmattor samt vakuumpaneler. Materialen har jämförts med isoleringsmaterialet mineralull, som är ett etablerat material vid tilläggsisolering. För lösningsförslag har det undersökts huruvida de klarar av de krav på U-värde, fukt och brand, vilka ställs av Boverkets byggregler.

Rapporten innehåller en litteraturstudie där brandkraven utretts och materialkonstanter till beräkningarna tagits fram. Till litteraturstudien har boken *Byggnadsmaterial*, P. G. Burström (2007) använts som teoretiskt underlag om isolering. Specifik data gällande materialen har hämtats för expanderad polystyren från Plast- & Kemföretagen (2007) och för aerogelmattor och vakuumpaneler från rapporter av och intervjuer med doktorand Axel Berge och doktor Pär Johansson, vilka är specialister på dessa material. Boverkets byggregler gällande brandkrav har kompletterats och förklarats av brandkonsulterna Gunilla Nilsson och Håkan Rönnqvist från Prevecon Brand & Riskkonsult samt av Per Thureson, som arbetar på brandavdelningen på Sveriges tekniska forskningsinstitut, SP.

Litteraturstudien har resulterat i lösningsförslag för utvändig och invändig tilläggsisolering av de fyra isoleringsmaterialen. För lösningarna har erforderliga tjocklekar beräknats för isoleringen samt temperatur- och fuktfördelning i väggelementet. Beräkningarna har genomförts i Matlab och beräkningsgångar och randvillkor har hämtats från *Introduction to building physics*, C-E Hagentoft (2001) respektive *Byggnadens klimatskärm – Fuktsäkerhet, energieffektivitet, beständighet*, B-Å Pettersson (2009).

Rapporten visar att vakuumpaneler och aerogelmattor bidrar till mindre totala tjocklekar på tilläggsisoleringen gentemot mineralullen för att uppfylla kravet på eftersträvat U-värde. EPS:en, expanderade polystyrenen, ger samma totala tjocklek som med mineralull vid invändig tilläggsisolering men något lägre vid utvändig då en enstegstätning undersökts för EPS:en och lösning med luftspalt för mineralullen.

Utvändig tilläggsisolering är att föredra ur fuktsynpunkt då den befintliga konstruktionen hålls varm. Enligt undersökningen har dock fuktproblem uppstått i samtliga konstruktioner som undersökts. Med hänsyn till hur konstruktionen med tilläggsisoleringen uppfyller fuktkrav bör

en mer omfattande beräkningsmodell ställas upp där problemområden i större utsträckning behandlas och materialegenskaper hos den befintliga väggen noggrant undersöks.

Ur brandsynpunkt skall aerogelmattor och EPS kombineras med obrännbara material för att skydda dessa och uppfylla de brandkrav som ställs av Boverkets byggregler. Vakuumpaneler är klassat som obrännbart material och har således inga problem att användas som ytskikt, dock bör vakuumpaneler skyddas av annat material med hänsyn till punktering som försämrar panelernas isoleringsförmåga. Det föreligger förbättringsmöjligheter i de presenterade lösningarna med hänsyn till brand för aerogelmattorna och hur väl vakuumpanelerna måste skyddas med hänsyn till punktering.

Nyckelord: Tilläggsisolering, brand, brandkrav, fukt, fuktkrav, EPS, expanderad polystyren, aerogel, vakuumpaneler

Designing Retrofitting of Buildings Considering Demands on U-value, Moisture and Fire
A pre-study on application of the insulation materials aerogel carpets, vacuum panels and expanded polystyrene

Thesis for bachelor's degree in Civil and Environmental Engineering

ALEXANDER LILJENHED, DANIEL REHN, EFRAIM SANDGREN, ELIN TJÄDER

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Building technology

Chalmers University of Technology

Abstract

The report aims to design solutions of the added insulation in a homogenous wall using the materials expanded polystyrene, aerogel carpets and vacuum panels. The materials were compared with the insulation material mineral wool, which is an established material for the insulation. For the proposed solutions, it has been investigated whether they can cope with the demands on the U-value, moisture and fire that are set by Boverkets byggregler, the Swedish building standards.

The report consists of a literature study where the demands regarding fire are investigated and if the material properties used for the calculations are presented. The book *Byggnadsmaterial*, P. G. Burström (2007) is used as the theoretical reference for the theory behind insulation materials. The specific material properties for expanded polystyrene are from "Plast- och Kemiföretagen" (2007) and for aerogel carpets and vacuum panels from reports by and interviews with doctoral student Axel Berge and doctor Pär Johansson, which both are specialized with these materials. The information from the Swedish building standard has been complemented and explained by fire consultants Gunilla Nilsson and Håkan Rönqvist from "Prevecon Brand & Riskkonsult" and by Per Thureson, employee at the fire department of the Technical Research Institute of Sweden SP.

The literature study has led to a number of examples on how the different material can be used as external and internal retrofitting. For the presented solution the required thickness of each material has been calculated, as well as the temperature and relative moisture curves through the different example solutions. The program Matlab was used for the calculations and boundary conditions and the formulas were found in *Introduction to building physics*, C-E Hagentoft (2001) and *Byggnadens klimatskärm – Fuktsäkerhet, energieffektivitet, beständighet*, B-Å Pettersson (2009).

The report shows that vacuum panels and aerogel carpets contribute to reducing the thickness of the retrofitting compared to mineral wool when it comes to meet the demands regarding the U-value. Using EPS, expanded polystyrene, leads to a solution with the same thickness as the mineral wool for the internal solutions, but the external solution for EPS is slightly thinner than the external mineral wool solution due to non-existing air gap and instead a plastered facade.

External retrofitting is the preferred method when it comes to moisture problems, because of the fact that it keeps the existing structure warmer. The calculations though show that there are moisture problems in all the external and internal solutions that are presented. To fully investigate the possible moisture problems of the construction, the calculation have to be more comprehensive and all the material properties of the existing wall is carefully analyzed.

Considering the fire aspect the aerogel carpets and EPS have to be combined with non-flammable materials in order to ensure that the standards set are fulfilled. The vacuum panels are regarded as non-flammable and are accepted as a surface layer, the panels though have to be protected by another material which stops them from being punctured that worsen it insulation capacity. There are ways that the solutions containing aerogel can be improved regarding fire safety and the how the vacuum insulation panels are protected from puncturing.

Keywords: Retrofitting, fire, moisture, demands, EPS, expanded polystyrene, aerogel carpets, vacuum panels

Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Syfte.....	2
1.2 Problemställning.....	2
1.3 Metod.....	2
1.4 Avgränsningar	4
2 Tilläggsisolering.....	6
2.1 Utvändig tilläggsisolering.....	6
2.2 Invändig tilläggsisolering	6
3 Krav vid tilläggsisolering	8
3.1 Fukt- och temperaturbetydelse vid tilläggsisolering.....	8
3.2 Krav och rekommendationer beträffande brand	9
3.2.1 Brandklasser för material	9
3.2.2 Byggnadsklassens påverkan av brandklasser.....	10
3.2.3 Brandkrav vid ändring av byggnader.....	12
3.2.4 Metodik vid tilläggsisolering med hänsyn till brandkrav	12
4 Material vid tilläggsisolering	15
4.1 Mineralull	15
4.1.1 Materialtekniska egenskaper.....	15
4.1.2 Brandtekniska egenskaper.....	16
4.1.3 Mineralull tillämpat som tilläggsisolering	16
4.2 Expanderad polystyren, EPS	18
4.2.1 Uppbyggnad	18
4.2.2 Materialtekniska egenskaper.....	18
4.2.3 Brandtekniska egenskaper.....	19
4.2.4 EPS tillämpat som tilläggsisolering	19
4.3 Vakuumpaneler.....	22
4.3.1 Uppbyggnad	22
4.3.2 Materialtekniska egenskaper.....	23
4.3.3 Brandtekniska egenskaper.....	24
4.3.4 Vakuumpaneler tillämpat som tilläggsisolering	24
4.4 Aerogelmattor	26
4.4.1 Uppbyggnad	26

4.4.2	Materialtekniska egenskaper.....	27
4.4.3	Brandtekniska egenskaper.....	27
4.4.4	Aerogelmattor tillämpat som tilläggsisolering.....	28
4.5	Sammanställning materialdata.....	30
5	Tekniska lösningar av tilläggsisolering för befintlig byggnad.....	31
5.1	Beräkning av temperatur- och fuktfördelning för utvändiga lösningsförslag	33
5.1.1	Mineralull som utvändig tilläggsisolering	33
5.1.2	Expanderad polystyren som utvändig tilläggsisolering	35
5.1.3	Aerogelmatta som utvändig tilläggsisolering	37
5.1.4	Vakuumpaneler som utvändig tilläggsisolering.....	39
5.2	Beräkning av temperatur- och fuktfördelning för invändiga lösningsförslag	41
5.2.1	Mineralull som invändig tilläggsisolering	41
5.2.2	Expanderad polystyren som invändig tilläggsisolering	43
5.2.3	Aerogelmatta som invändig tilläggsisolering	44
5.2.4	Vakuumpaneler som invändig tilläggsisolering.....	46
5.3	Sammanställning av beräkningar.....	48
6.	Diskussion	50
6.1	Hur lösningsförslagen klarar fuktkraven	52
6.2	Hur lösningsförslagen klarar brandkraven	52
6.3	Påverkan av förenklingar i beräkningsmodellen	54
7	Slutsats	56
	Litteraturlista	57
	Bilaga 1 - Indata beräkningar	
	Bilaga 2 - Funktionsfil för beräkning av tjocklek för valt isoleringsmaterial	
	Bilaga 3 - Funktionsfil för beräkning av temperaturfördelning, utvändiga lösningar.....	
	Bilaga 4 - Funktionsfil för beräkning av temperaturfördelning, invändiga lösningar.....	
	Bilaga 5 - Funktionsfil för beräkning av fuktfördelning, utvändiga lösningar	
	Bilaga 6 - Funktionsfil för beräkning av fuktfördelning, invändiga lösningar	
	Bilaga 7 - Funktionsfil för beräkning av relativ fuktighet	
	Bilaga 8 - Fil för beräkning och plottning av mineralullslösningar	
	Bilaga 9 - Fil för beräkning och plottning av lösningar EPS-lösningar	
	Bilaga 10 - Fil för beräkning och plottning av aerogellösningar	
	Bilaga 11 - Fil för beräkning och plottning av VIP-lösningar	

1 Inledning

De nationella klimatmålen säger att den sammanlagda energianvändningen för att värma byggnader i Sverige ska ha halverats till år 2050 jämfört med 1995 (Boverket, 2009). För att möta dessa mål och minska en byggnads energianvändning kan åtgärder såsom att förbättra klimatskalet, värmesystemet samt att ändra på energihushållningen tas till (Energimyndigheten, 2012). Det är ofta av intresse att förbättra klimatskalet då detta medför att byggnaden behåller den tillförda värmen på ett effektivare sätt. En åtgärd som ofta blir aktuell är att förbättra väggarna i klimatskalet, tilläggsisolering och dess krav blir således en aktuell åtgärd att studera.

Hus från miljonprogrammet byggdes under perioden 1965-1974 med ambitionen att under tio år bygga en miljon bostäder (Jörnmark, u.å.). Under miljonprogrammet var priset för el lågt i jämförelse mot efter energikrisen som kom att börja år 1973 (Energimyndigheten, 2013). Husen byggdes inte med tillräcklig isolering för att möta de kostnader för uppvärmningen efter energikrisen. Detta gav till följd att dessa byggnader ansågs kunna förbättras ur energisynpunkt, och energianvändningen bedömdes kunna halveras (Byman & Jernelius, 2013). Ett hus från denna tid har därför studerats.

Tilläggsisoleringen av byggnader kan utformas på olika sätt, för väggar kan den installeras på insidan eller utsidan av befintlig byggnad. Det är byggnadens förutsättningar som avgör utformningen av tilläggsisoleringen. Om exempelvis fasaden skall förbli orörd blir alternativet att tilläggsisolera invändigt. Ur ekonomisk synvinkel kan det dock vara mer fördelaktigt att isolera på utsidan, då golvytan inte påverkas och således inte den uthyrbara arean¹. Aspekter gällande fukt- och brandkrav är även knutna till dessa förutsättningar. Den relativa fuktigheten i väggen får inte bli för hög då det medför fuktskador som bland annat leder till försämrade isoleringsförmåga och rötskador (Johansson, 2006). Väggens utformning skall även vara säker ur en brandteknisk synpunkt efter tilläggsisoleringen (BFS 2011:26, 2011).

Forskning pågår för att finna effektivare ersättande värmeisoleringsmaterial till det konventionella materialet mineralull. En fördel vid just tilläggsisolering av en byggnad med nya material som har en bättre värmeisolerande förmåga blir att isoleringens tjocklek kan reduceras. Detta gör exempelvis att mindre boyta tas i anspråk och att fönster inte hamnar för långt in i fasaden¹. Exempel på dessa nya material är vakuumpaneler och aerogelmattor. En sorts cellplast, expanderad polystyren är också ett material som kan substituera mineralullen tack vare dess fördelaktiga materialtekniska egenskaper.

Genom att använda sig av isoleringseffektiva material går de klimatmål som ställts upp av Boverket (2009) att uppnås, vilket gör att de material som kan användas istället för de konventionella bör användas i större utsträckning. Den tekniska utformningen av väggar skall klara de krav gällande fukt och brand även då dessa material används som tilläggsisolering.

¹ Persson, Magnus; Tekniklektor vid Chalmers tekniska högskola. 2014. Intervju 20 mars.

Därför är det motiverat att studera hur materialen vakuumpaneler, aerogelmattor samt expanderad polystyren kan användas för att förbättra klimatskalet.

1.1 Syfte

Rapporten syftar till att för en homogen vägg utforma lösningsförslag av tilläggsisolering med de respektive isoleringsmaterialen expanderad polystyren, aerogelmattor samt vakuumpaneler. Förslagen skall uppfylla de krav gällande U-värde, fukt och brand för tilläggsisolering av vägg på befintlig byggnad.

1.2 Problemställning

Huvudproblematiken grundar sig i att ta fram lösningsförslag av tilläggsisolering med isoleringsmaterialen expanderad polystyren, aerogelmattor och vakuumpaneler som uppfyller de krav som finns gällande U-värde, fukt och brand. Denna problematik kan delas upp i följande delproblem:

- Vilka förutsättningar i befintliga byggnader bidrar till utformningen av tilläggsisoleringen?
- Finns det annan problematik med materialen vad gällande exempelvis installation, måttanpassning och liknande som gör att materialet är problematiskt att använda vid tilläggsisolering?
- Bidrar dessa material till bättre lösningar gentemot det konventionella materialet mineralull?
- Vilka lagar, regler och rekommendationer finns det gällande U-värde, fukt och brand?
- Vilka materialegenskaper för tilläggsisolering är avgörande för att uppfylla krav gällande U-värde, fukt och brand?
- På vilket sätt går det att genom kombination av material att anpassa sig till krav gällande U-värde, fukt och brand? Hur går det verifiera att tänkt lösningen uppfyller kraven?

1.3 Metod

Rapporten är uppdelad i en litteraturstudie och en beräkningsdel. Litteraturstudien skall ligga till grund till framtagande av lösningsförslag av tilläggsisoleringar för ett befintligt väggelement i ett miljonprogramshus. För lösningarna beräknas erforderlig tjocklek av tilläggsisolering, temperatur och relativ fuktighet genom väggelementet.

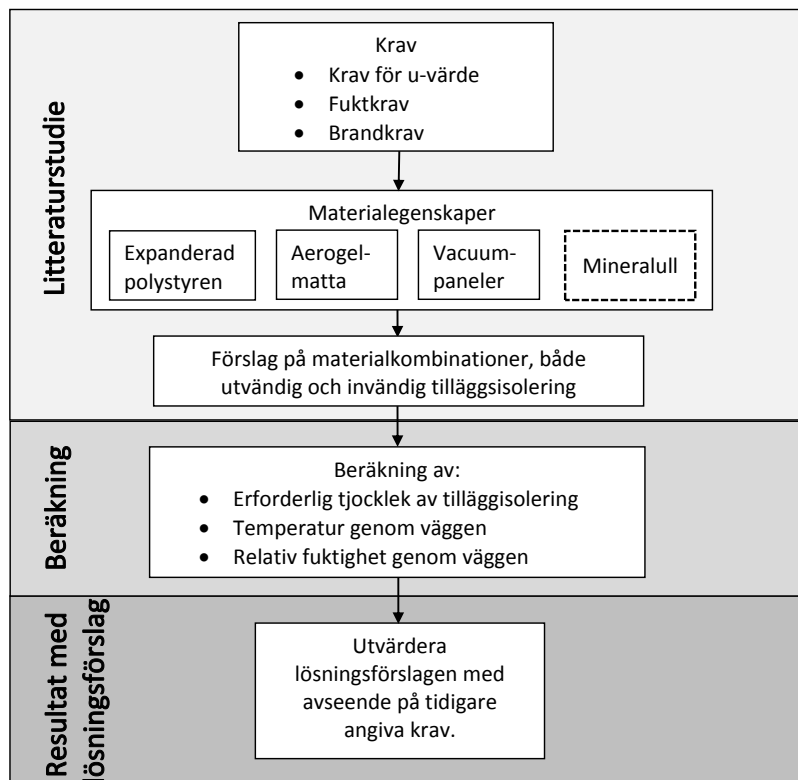
Litteraturstudien innefattar två delar, där den första delen är en studie gällande de krav som finns för byggnader beträffande U-värde, fukt och brand. Kraven appliceras förtilläggsisolering av befintlig byggnad. Denna del av litteraturstudien är det främst Boverkets byggregler som informationen har hämtats från. För att klargöra olika begrepp och regler gällande brand har även intervju med brandkonsulterna Gunilla Nilsson och Håkan Rönqvist från Prevecon Brand & Riskkonsult genomförts. Även ett studiebesök på SP Fire Research har gjorts för att få en genomgång av hur processen gällande brandkrav för nya material ser ut.

Den andra delen av litteraturstudien handlar om materialtekniska egenskaper hos de fyra materialen mineralull, expanderad polystyren, vakuumpaneler och aerogelmattor. För expanderad polystyren har Plast- & Kemiföretagen varit huvudkälla med kompletteringar från boken *Byggnadsmaterial*, P. G. Burström (2007). Datainsamlingen för aerogelmattor och vakuumpaneler har skett genom intervjuer med doktorand Axel Berge och doktor Pär Johansson från Chalmers tekniska högskola, vilka har specialiserat sig på dessa material. Rapporter som de publicerat har även använts som faktaunderlag. Materialkombinationer för både invändig och utvändigt tilläggsisolering för de olika materialen har hämtats från deras huvudkällor.

I beräkningarna för erforderlig tjocklek av tilläggsisolering, temperaturen och relativa fuktigheten i väggen har ekvationer hämtats från boken *Introduction to building physics*, C-E Hagentoft (2001) och beräkningar har genomförts i Matlab. Randvillkoren hämtades från boken *Byggnadens klimatskärm – Fuktsäkerhet, energieffektivitet, beständighet*, B-Å Pettersson (2009).

Den ursprungliga väggen som i denna rapport behandlas är en väggtyp från ett hus byggt under miljonprogrammet hämtad från Björk, et. al (2003). Väggens U-värde och ånggenomgångsmotstånd beräknades med stöd från C-E Hagentoft (2001). Denna vägg används som grund för att utforma förslag på tilläggsisolering med de undersökta materialen vakuumpaneler, aerogelmattor och EPS. Även lösningsförslag med mineralull har undersökts för att ha jämförelse mot detta konventionella material för isolering. Resultatet av beräkningen i att kraven för fukt inte uppfylls, kan inte lösningen rekommenderas eller bör utredas vidare. Lösningarna kommer ur den brandtekniska synvinkeln att granskas utifrån de regler och bestämmelser som presenteras i litteraturstudien samt med konsultation av brandexpert Per Thureson på Sveriges tekniska forskningsinstitut, SP.

Metoden illustreras grafiskt nedan.



Figur 1. Sammanfattning av metoden för att komma fram till tekniska lösningar av tilläggsisolering av befintlig byggnad.

1.4 Avgränsningar

Väggar kommer vara den del av klimatskärmen som kommer behandlas och då är det tilläggsisoleringens uppbyggnad som har undersökts för att klara uppställda krav. Detaljutformning kring fönster, dörrar och anslutning till bottenplatta och tak kommer inte att finnas med i avhandlingen.

Brand samt de byggnadsfysikaliska aspekterna fukt- och värmetransporter är de områden som främst kommer att behandlas. Ekonomi och miljö kring materialen behandlas således inte i rapporten då en teknisk jämförelse eftersträvas.

Vid beräkningarna antogs stationära förhållanden. Göteborg användes som referensort och dimensionerande förhållanden i februari och juli var de som undersöktes.

För beräkningarna kommer en bestämd vägg i behov av tilläggsisolering att behandlas som ett homogent skikt och användas för alla lösningar som behandlas. Det homogena skiktet grundar sig i en verklighetsförankrad sandwichkonstruktion bestående av betong, cellplast, betong och är hämtad från en konstruktion som användes i byggnader under miljonprogrammen. Samma grundkonstruktion används för samtliga isoleringsmaterial för att göra lösningarna jämförbara. Beräkningarna tar inte hänsyn till regler som kan behövas vid montage av komponenterna.

I beräkningarna kommer luftspalter att behandlas som ventilerade. Förenklingar av beräkningarna innebär att rådande förutsättningar i luftspalten är de fukt- och

värmeförhållanden som råder utomhus. Detta medför att värme-och fuktfördelningarna för väggar med luftspalt kommer att räknas från skikt innanför luftspalten.

Rapporten kommer främst att inrikta sig på hur bra lösningarna för tilläggsisoleringen klarar krav på U-värde samt hur de presterar ur fuktsynpunkt och hur lösningarna relateras till de brandtekniska krav som kommer att ställas på dessa. Vid fuktberäkningar kommer uttorkningsmöjligheter inte tas hänsyn till. Beräkningar grundas på temperaturens månadsmedel för de betraktade månaderna som var utgångspunkt för klimatdata, samt ånghaltens medelvärde utomhus under samma period. Endast fukttillskottet beaktas vid beräkning av ånghalten inomhus.

Befintlig konstruktion antas klara ställda brandkrav. Tilläggsisoleringen bör inte göra konstruktionen sämre ur brandsynpunkt, och därför betraktas bara hur brandsäker tilläggsisoleringen är. Hur brandsäkerhet tas i åtanke under byggnationen med tilläggsisolering kommer inte att tas upp.

Då lösningarna presenteras används exakta mått på ingående material för tilläggsisolering för att uppnå det eftersträvade U-värdet, standarddimensioner tas alltså inte hänsyn till.

2 Tilläggsisolering

Tilläggsisolering är en tillämpning av isoleringsmaterial som byggs till på en befintlig byggnad för att förbättra byggnadens klimatskärm. Isoleringsmaterial i byggnadens klimatskärm har som syfte att klimatet innanför byggnaden ska vara behagligt samtidigt som energiförbrukningen ligger på en rimlig nivå.

Teorin bakom isoleringsmaterial är att luft har lägre värmekonduktivitet än material i fast form och leder därför mindre värme (Burström, 2007). Ett isoleringsmaterial med större andel luft än övrigt kringliggande material kommer att leda mindre värme än ett solitt material. Skulle denna luft bytas ut till vakuum kommer konduktionen att reduceras då det inte kommer finnas partiklar som leder värmen.

Ett isoleringsmaterials förmåga att stå emot temperaturskillnader beror framförallt på den strålning och konvektion som uppstår i dess porer, vilket också påverkar värmekonduktiviteten i materialet (Burström, 2007). Strålningen sker mellan väggarna i porer och vid större porer ökar skillnaden i temperaturen vilket då inte är att föredra. Konvektionen, rotationen av luften orsakad av temperaturdifferenser, ökar vid större porer. Små och många porer är det som eftersträvas hos isolerande material.

Målet med tilläggsisolera väggar är för att sänka energiförbrukningen (Andersson, et al., 2009). Tilläggsisolering kan göras antingen på den befintliga ytterväggens utsida eller insida.

2.1 Utvändig tilläggsisolering

Tilläggsisolering utvändigt gör att den befintliga konstruktionen blir varmare (Andersson, et al., 2009). Metoden för att uppnå detta kan vara att med hjälp av regler bära isoleringsskiktet. Skiktet kan installeras utanpå befintlig fasad, eller efter att fasadskiktet tagits bort. På exempelvis putsade fasader finns det fästordningar som gör reglarna överflödiga. När skiktet byggts på kan den nya fasaden sättas på plats. Detaljutformning kring dörrar och fönster anpassas till den nya fasaden.

Tjockleken för den utvändiga tilläggsisoleringen bör begränsas då om den nya väggen blir för tjock så kan fönster behövas flyttas med ut för att inte skapa för stora hål i väggen¹.

2.2 Invändig tilläggsisolering

När en tilläggsisolering placeras på insidan av ytterväggen är oftast anledningen att fasaden inte får ändras på och en invändig isolering är den enda lösningen (Andersson, et al., 2009). En annan anledning till att invändig isolering inte används i lika stor utsträckning är på grund av de fuktrelaterade problem som kan uppkomma då den befintliga väggen blir kall, som vidare beskrivs i kapitel 3.1 *Fukt- och temperaturbetydelse vid tilläggsisolering*. Det blir efter en invändig tilläggsisolering svårare för fukten från exempelvis slagregn att torka ut när mängden värme som läcker ut genom konstruktionen från insidan minskar.

¹ Persson, Magnus; Tekniklektor vid Chalmers tekniska högskola. 2014. Intervju 20 mars.

Vid uppförandet av den nya tilläggsisoleringen rivs den befintliga väggens ytbeklädnad ut, vilket kommer resultera i att elinstallationer, fuktspärr och eventuella dörr- och fönsterfogar, tacksocklar och liknande måste plockas bort (Andersson, et al., 2009). Det gör att de delar av byggnaden som är anslutna till ytterväggen måste evakueras under byggtiden. Därefter reglas en stödkonstruktion upp för isoleringen, och för att undvika de köldbryggor som uppstår mellan isoleringen och reglarna kan isoleringen ske i två lager. Det första lagret isolering sätts mellan den befintliga väggen och regelstrukturen, och det andra placeras i strukturen. Mellan det första lagret isolering och reglarna läggs en fuktspärr, och utanpå reglarna fästes väggens nya ytskikt.

Invändig tilläggsisolering är även problematiskt i och med att en del av golvytan försvinner i och med ombyggnationen. Det gör att den uthyrbara ytan minskar och därigenom en anledning till att lösningen inte vanlig¹. Det är även svårt att få till anslutningar kring bjälklag och innertak där då värme och fukt kan transporteras och skapa problem (Andersson, et al., 2009).

¹Persson, Magnus; Tekniklektor vid Chalmers tekniska högskola. 2014. Intervju 20 mars.

3 Krav vid tilläggsisolering

Fukt- och brandkrav påverkar hur utformningen av tilläggsisoleringen blir och det är Boverkets byggregler som står för kraven för byggnaden. Boverkets byggregler ger även ett rekommenderat U-värde för en ombyggd yttervägg, vilket är 0,18 W/(m*K) (BFS 2011:26, 2011). Andra krav så som begränsad minskning av golvyta och estetiska preferenser påverkar den möjliga utformningen av tilläggsisoleringen¹.

3.1 Fukt- och temperaturbetydelse vid tilläggsisolering

Högre temperaturer leder till att mer fukt kan hållas i luften, vilket betyder att vid en tilläggsisolering ändras inte bara temperaturen i väggen utan även fuktförhållandet (Petersson, 2009). Placeringen av isoleringen ger konsekvenser i temperaturfördelningen och vidare fuktförhållandena i väggen, även om ungefär samma isoleringseffekt uppnås. Placeras isoleringen nära den varmare insidan, kommer läckaget av värmen från insidan direkt att stoppas och resterande delar av väggen bli därigenom kall vilket kan leda till problem med fukt (Andersson, et al., 2009). Placeras istället isoleringen närmare den kallare utsidan kommer hela väggelementet att värmas upp. Detta kommer leda till att den relativa fuktigheten i väggen kommer vara lägre i det varma väggelementet, då mätnadsånghalten i väggen är högre jämfört med det kalla väggelementet. Problem med fukt kan uppstå i båda varianterna av väggelement även om riskerna är mindre vid utvändigt tilläggsisolering, beräkningar bör därför genomföras innan uppförandet av konstruktionen.

Genom väggar transporteras fukt huvudsakligen genom diffusion och kapillärsugning (Burström, 2007). För att skydda konstruktionen mot detta utnyttjas luftspalter och diffusionstäta plastfilmer. Då ett material blir fuktigt påverkas dess värmeledningsförmåga, som ökar med fuktinnehållet och temperaturen. Luftspalter på utsidan skyddar konstruktionen från den fukt som tränger in vid regn, då luftspalten är ventilerad förhindrar den fukten från att tränga in i väggen och ger möjlighet till uttorkning (Petersson, 2009). Fuktpärren sätts in i väggen för att förhindra diffusion, den sätts så nära insidan som möjligt i väggen för att hålla den relativa fuktigheten så låg som möjligt genom hela väggen (Petersson, 2009). När ytskiktet materialet såsom puts appliceras direkt på isoleringsmaterialet kallas det ofta enstegstätning vilket kan skapa problem då konstruktion blir bristfällig om den inte utförts på rätt sätt (NCC, u.å.).

Enligt Boverkets byggregler ska organiska material ha dokumenterade fuktegenskaper där det kritiska fukttillståndet skall anges (Boverket, 2013). För material som saknar dokumenterade fuktegenskaper går det däremot att använda 75 % som maximalt tillåten relativ fuktighet.

Problem som kan uppstå då den relativa fuktigheten går över det kritiska fukttillståndet är bland annat att det kan bildas en påväxt av mögel på materialet, i vissa fall kan denna påväxt ge en negativ effekt på innemiljön i en byggnad (Johansson, 2006). Till följd av detta kan mögel alltså bildas på ett material även om materialet själv inte är känsligt mot fukt. Det är inte bara fukt som krävs för en mögelpåväxt, de flesta mögelarter trivs i temperaturer som

¹ Persson, Magnus; Tekniklektor vid Chalmers tekniska högskola. 2014. Intervju 20 mars.

ligger mellan 0 och 40 °C (Andersson, 2014). En hög fukthalt kan alltså tillåtas under vintermånaderna så länge väggkonstruktionen har en chans att torka under sommaren. Det finns även fuktskador som är mer specifika för enskilda material, effekten av dessa bör kontrolleras för att förstå den skada en hög fukthalt kan göra på en konstruktion.

Den relativa fuktigheten varierar över året och kan under sommaren uppgå till runt 80 % inomhus och 75 % utomhus (Petersson, 2009). Under vintern kan den uppgå till värden i närheten av 40 % inomhus och 85 % utomhus. Under sommaren uppnås de höga fuktigheterna på grund av att ånghalten inomhus utgörs av summan av den utomhus och ett fuktillskott som produceras av de fuktkällor som finns inomhus. Dessa fuktkällor kommer från exempelvis tvätt, disk, bad, rengöring, matlagning, blommor, människor och djur. När ånghalten från början är hög utomhus tack vare luftens högre temperatur, uppstår detta fenomen. För att bemöta problematiken kan luftomsättningen ökas, mer luft med lägre ånghalt tas in och ersätter den luft som fått en högre.

3.2 Krav och rekommendationer beträffande brand

Vid uppförande av byggnader ställs ett flertal krav på byggnaden vid brand men också på materialen som byggnaden består av (BFS 2011:26, 2011). I Sverige används BBR, Boverkets byggregler, som ställer kraven på den standard en byggnad ska ha i Sverige.

Varje enskild byggnad måste uppfylla kraven på brandskydd som ställs av Boverkets byggregler. Kraven som ställs innefattar hur materialen skall fungera vid eventuell brand och i byggreglerna står följande:

”Material i tak, väggar, golv och fast inredning ska ha sådana egenskaper eller ingå i byggnadsdelar på ett sådant sätt att de

- *är svåra att antända,*
- *inte medverkar till snabb brandspridning,*
- *inte snabbt utvecklar stora mängder värme eller brandgas,*
- *inte deformeras vid ringa brandpåverkan så att fara kan uppstå,*
- *inte faller ned eller på annat sätt förändras så att risken för personskador ökar,*
- *inte smälter och droppar utanför brandhårdens omedelbara närhet.*

Kravnivån på material beror på den mängd värme och brandgas som kan tillåtas utvecklas i byggnaden.” (BFS 2011:26)

BBR tar hänsyn till kraven genom att ta hjälp av klassningssystem så som brandklasser och byggnadsklasser. Det finns även allmänna råd som rekommenderas för att klara av kraven.

3.2.1 Brandklasser för material

Varje enskilt material delas in i brandklasserna A1, A2, B, C, D och E där A1 är det högsta kravet (BFS 2011:26, 2011). Med dessa beteckningar klassas A1 och A2 som obrännbara material (SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, u.å.). Temperaturökning, viktförlust, flamperiodens varaktighet, brandutvecklingshastighet, total förbränningsvärme, total rökproduktion, rökutvecklingshastighet är olika exempel på faktorer om särskiljer

brandklasserna (SP, 2014). Om materialet innehåller klass F är prestandan ej fastställd enligt Björn Sundström (2001) på Sveriges tekniska forskningsinstitut, detta blir då den lägsta brandklassen som kan uppnås.

I Boverkets byggregler förklaras att om brandklass A2, B, C eller D uppfylls så används alltid någon tilläggsklass för att vidare beskriva de brandtekniska egenskaperna eller kraven:

- s1 byggnadsdelen får avge mycket begränsad mängd med 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.

Brandteknisk klass E är den lägsta klassen och kombineras med tilläggsklassen d2 om inget droppkrav uppfylls (BFS 2011:26, 2011).

I BBR finns även allmänna råd som säger att om ett material såsom brännbar isolering, skivmaterial eller liknande i lägre brandteknisk klass D-s2,d0 används så bör en beklädnad användas för att skydda dessa (BFS 2011:26, 2011). Om ett nytt material introduceras på marknaden kan SP, Sveriges tekniska forskningsinstitut, testa materialet och ge det en brandklass¹.

3.2.2 Byggnadsklassens påverkan av brandklasser

Byggnadsklasserna i BBR, Boverkets byggregler, delas in i fyra olika klasser; Br0, Br1, Br2 och Br3, där Br0 är den högsta klassen med högst säkerhet (BFS 2011:26, 2011). Vilken klass som en byggnad hamnar i är beroende av antalet våningar och typ av verksamhet, vilken även beskrivs i BBR. Byggnader som tillhör Br0 har mycket stort skyddsbehov, exempelvis vårdlokaler. Brandskydd gällande Br0 skall ske genom analytisk dimensionering, vilket innebär att utformningen har en väl känd effekt på brandsäkerheten och goda marginaler förses.

Dimensioneringen för väggarna i Br1, Br2 och Br3 är olika för innervägg och yttervägg (BFS 2011:26, 2011). Byggnadsklasserna har olika brandklasser för ytmaterialet för väggen, se tabell 1. Här skiljs även kraven för utrymningsväg.

Tabell 1. Byggnadsklassernas krav för ytskikt för innerväggen angivet i brandklasser (BFS 2011:26, 2011).

Byggnadsklass	Brandklass för ytskikt för innervägg, utrymningsväg	Brandklass för ytskikt för innervägg
Br1	B-s1,d0	C-s2,d0
Br2	B-s1,d0	D-s2,d0
Br3	C-s2,d0 (B-s1,d0 vid speciella)	D-s2,d0

¹ Thureson, Per: Arbetar för SP, Sveriges tekniska forskningsinstitut, med brandprovning av material. 2014. Intervju 30 april.

	verksamheter)	
--	---------------	--

För ytterväggar gäller att brandspridningen skall begränsas längst fasadytan för Br2 och Br3 och att fasadklädnaden bör uppfylla kraven för klass D-s2,d2 (BFS 2011:26, 2011). För Br1 finns det flertal krav gällande ytterväggen. Krav som finns är att brandceller skall upprätthållas, brandspridning i väggen skall begränsas, begränsning av risk för brandspridning längs fasadytan och risk personsador av nedfallande delar av ytterväggen skall begränsas. För Br1 finns det allmänna råd för hur denna nivå skall uppnås. Främst bör material A2-s1,d0 användas för varje ingående material, men det finns undantag från den rekommendationen. Kan ett material med lägre brandklass avskiljas på sådant sätt att den hindras att sprida sig vidare i väggen går det enligt Boverkets byggregler att användas i ytterväggen. Ingen lägsta klass för det materialet som skyddas finns med i de allmänna råden från Boverkets byggregler om avskildheten säkerställs. Material som kan användas för att skydda ett brännbart material är exempelvis gips och puts som ofta använts för att skydda exempelvis EPS som är ett brännbart material¹. En standardgipsskiva har brandklass A2-s1,d0, vilket är klassad som ett obrännbart material (Gyproc AB, 2008a). Även som ytskiktsskiva har gips brandklass A2-s1,d0 (Gyproc AB, 2008b). Enligt Plast- & Kemiföretagen (2007) har ett flertal lösningar med puts på cellplast provats med SP Fire 105, en provmetod som nedan beskrivs.

Anledningen till att det ställs krav på ytskiktet av en vägg är att även om en brand ofta uppstår på insidan av en byggnad så kommer branden till slut att göra så att glaset i fönster spricker². Detta medför att flammor kommer slå ut och sprida sig ut ur fönstret som då kan medföra att fasaden på utsidan antänds.

För att begränsa risken för brandspridning för fasadytan för byggnader i byggnadsklass Br1 bör väggelementet bestå av A2-s1,d0 (BFS 2011:26, 2011). Den lägsta brandklassen som tillåts att byggas med i Br1 är D-s2,d2 om vissa villkor är uppfyllda. Villkoren grundar sig främst till antalet våningar och kombinationer av släcksystem och begränsningar i mängden av ytmaterial som har den lägre brandklassen.

Brandklassen för ytskiktet i Br2 och Br3 bör som lägst vara D-s2,d2.

Tabell 2. Rekommendationer för byggnadsklasser i ytterväggar (BFS 2011:26, 2011). För Br2 och Br3 ställs inga krav på ingående material.

Byggnadsklass	Brandklass ingående material i yttervägg	Brandklass för ytskikt för ytterväggar
Br1	A2-s1,d0	A2-s1,d0
Br2	-	D-s2,d2
Br3	-	D-s2,d2

¹ Nilsson, Gunilla: Brandkonsult på Prevecon Brand & Riskkonsult. 2014. Intervju 4 april.

² Thureson, Per; Arbetar för SP, Sveriges tekniska forskningsinstitut, med brandprovning av material. 2014. Intervju 30 april.

Vanliga lösningar för fasader är att en luftspalt finns bakom fasadskivorna för att ventileras bort fukt. Enligt brandkonsulten Gunilla Nilsson¹ bör materialet direkt innanför luftspalten klara av de rekommendationerna som BBR ställer, då den ventilerade luftspalten gör att syre finns att tillgå om materialitet börjar brinna.

För att kunna säkerställa att ytterväggskonstruktionen uppfyller de krav som ställs enligt BBR kan den enligt de allmänna råden testas enligt SP Fire 105 utgåva 5 (BFS 2011:26, 2011). Då säkerställs att samtliga kraven för byggnadsklass Br1 uppfylls. SP gör inte tester på eget initiativ utan det är en beställare, oftast en tillverkare, som har i intresse att väggen skall testas enligt SP Fire 105¹. Testet går ut på att en hel konstruktionsdel testas för att se hur den reagerar vid brand. Bevisas det vid ett tillfälle att väggelementet klarar testet medför det att just den specifika kombinationen av material är godkänt enligt kraven. Vid minskning av brännbart material går det att använda sig av samma test för att bevisa det, men skulle det obrännbara minska skulle testet behöva göras om.

3.2.3 Brandkrav vid ändring av byggnader

Vid tilläggsisolering sker en ändring av byggnaden. Enligt BBR skall denna ändring uppfylla samma krav som beskrivs i föreskrifterna (BFS 2011:26, 2011). Krav från BBR handlar alltså inte bara om nybyggnation, utan samma krav ställs även på renovering och gäller då för byggnader där tilläggsisolering kommer att användas.

3.2.4 Metodik vid tilläggsisolering med hänsyn till brandkrav

För att ett material ska få användas i Sverige måste det uppfylla olika krav. Om ett tilläggsisoleringsmaterial ska användas måste det först vara brandklassificerat, som exempelvis SP kan bestämma enligt allmänna råd från Boverket (SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, u.å.). Om ett material redan är brandklassificerat inom EU så är det även godkänt att använda i Sverige¹. Klassbeteckning visar materialets brandegenskaper baserat på hur materialet reagerar mot brand, hur stor mängd brandgaser som avges samt om materialet avger brinnande droppar eller partiklar vid brand (BFS 2011:26, 2011). Efter detta kan materialet CE-märkas förutsatt att övriga egenskaper har setts över och verifierats (SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, u.å.).

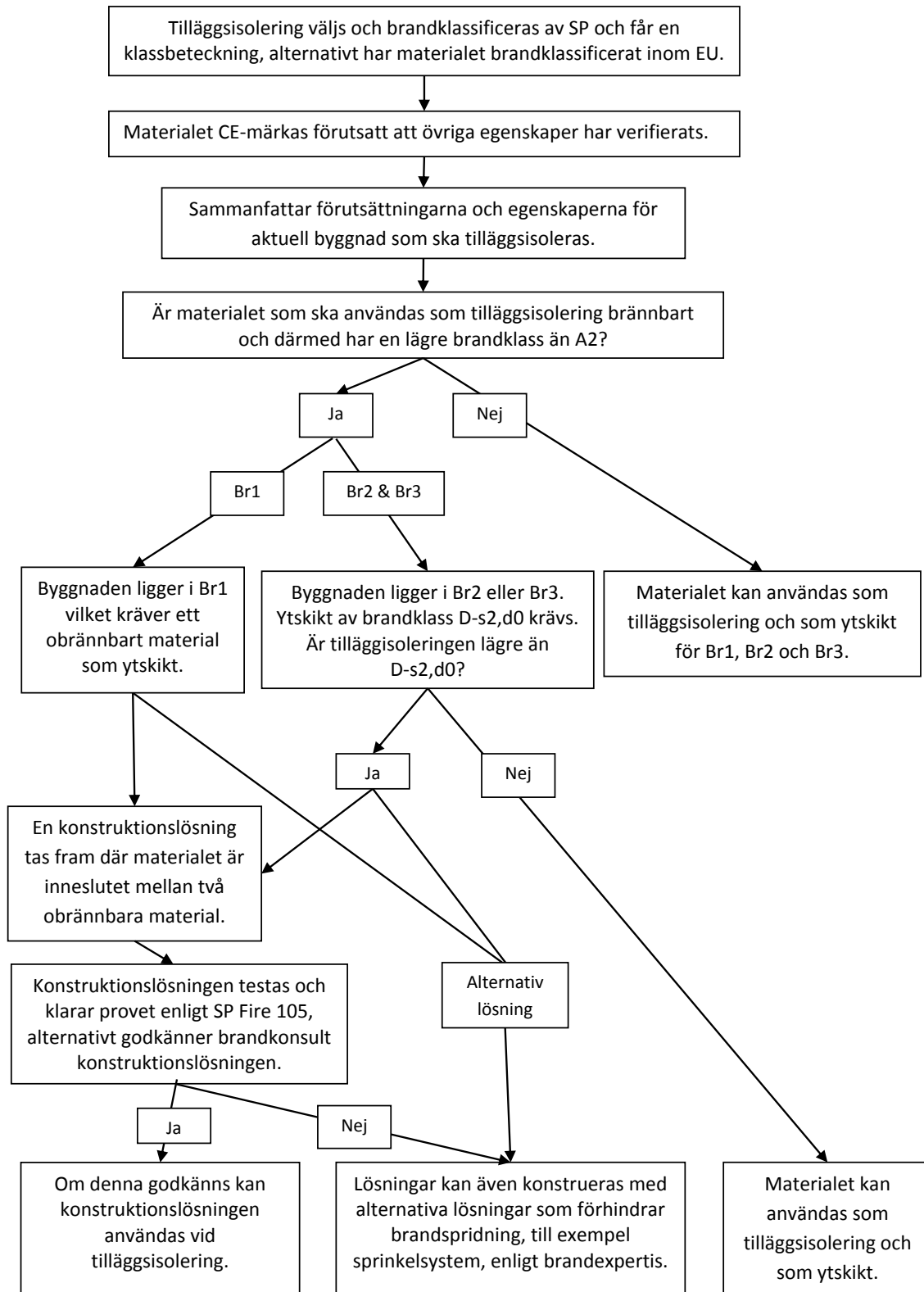
Om materialet har en brandklass som visar att materialet inte är brännbart kan detta användas som tilläggsisolering och som ytskikt¹. Om materialet är brännbart och skall användas på en byggnad i Br1 så tas en konstruktionslösning fram där materialet enligt Boverkets byggregler ska vara inneslutet mellan två obrännbara material. Ett brännbart material som ytskikt kan alltså användas i en byggnad med klass Br2 och Br3 enligt Boverkets byggregler (2011). Denna konstruktionslösning kan sedan testas av SP enligt testmetoden SP Fire 105¹. Om lösningen klarar testet kan denna konstruktion användas.

Om ett material inte klarar testen enligt SP Fire 105 eller om tillverkaren inte vill testa det enligt den metoden, går det att bygga in funktionslösningar¹. Det kan till exempel vara

¹ Thureson, Per; Arbetar för SP, Sveriges tekniska forskningsinstitut, med brandprovning av material. 2014. Intervju 30 april.

sprinkelsystem eller annat som hindrar brandspridningen. Denna måste godkännas av en brandexpert.

Nedan följer ett förenklat flödesschema från det att materialet tas fram till dess att det kan användas i praktiken.



Figur 2. Flödesschema för det att material har valts för tilläggsisolering till dess att det kan användas vid tilläggsisolering med hänsyn till brandkrav vid byggnadsklass Br1, Br2 och Br3.

4 Material vid tilläggsisolering

De material som undersöks beskrivs under denna del av avhandlingen. Som introduktion presenteras mineralull som referensmaterial och därefter expanderad polystyren, vakuumpaneler samt aerogelmattor. Materialtekniska och brandtekniska egenskaper presenteras såväl som förslag på tekniska lösningar för respektive material.

4.1 Mineralull

Mineralull är ett samlingsbegrepp för materialen stenull och glasull (Burström, 2007). Den ingående strukturen i dessa material utgörs av små fibrer. Burström skriver vidare att för en fiber av glasull, vars diameter är något mindre än en av stenullen, är diametern 5-10 μm . Råvaran mineralull baseras på är för stenull vanligen diabas samt för glasull sand och glaskross. För att kunna hantera fibrerna som bildats så tillsätts små mängder lim i form av fenolharts. Det framgår även att en liten mängd mineralolja tillsätts för att göra materialet vattenavvisande och så att det dammar mindre.



Figur 3. Mineralull (Bygg-Ole, u.å.).

4.1.1 Materialtekniska egenskaper

Materialets värmekonduktivitet är beroende av densiteten och det den optimala värmekonduktivitet uppnås då densiteten ligger mellan 60-70 kg/m^3 (Burström, 2007). Värmekonduktiviten, λ , för mineralull ligger enligt Burström mellan 0,030 och 0,039 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Värmekonduktiviteten är även temperaturberoende, för mineralull kan en temperaturhöjning med 200 °C medföra en ökning av λ med 100-200 % (Burström, 2007). Mineralull vars densitet är lägre än den optimala har en snabbare ökning av värmekonduktiviteten än vad en mineralull med högre densitet än optimal.

Livslängden hos mineralull ligger omkring 100 år och motsvarar då också den ungefärliga livslängden som byggnaden (Swedisol, u.å.).

Mineralull isolerar även bra mot ljud och vibrationer (Burström, 2007). Porositet för materialet ligger enligt Burström på ungefär 95 %. Materialet har en ånggenomsläpplighet

som ligger runt $25 \cdot 10^{-6}$ (m^2/s) (Hagentoft, 2001). Dessa data presenteras i nedanstående tabell.

Tabell 3. Materialegenskaper för mineralull.

Densitet	60-70 kg/m^3
Värmeledning	0,035 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Livslängd	100 år
Änggenomsläpplighet	$25 \cdot 10^{-6}$ m^2/s

Mineralull har mycket hög mögelbeständighet enligt Arndt (2006).

4.1.2 Brandtekniska egenskaper

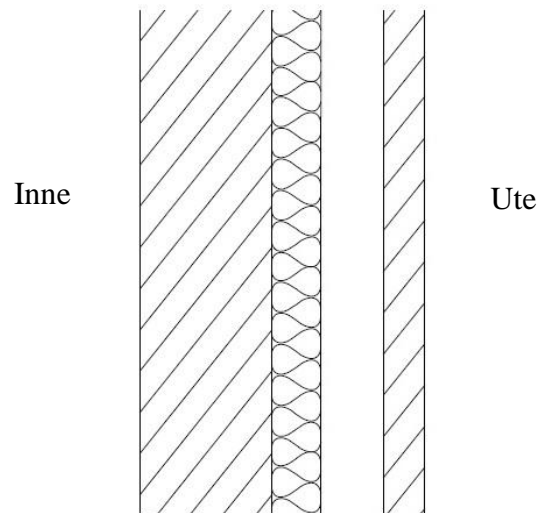
Tillverkningstemperaturen för stenull är $1600\text{ }^\circ\text{C}$ och för glasull $1400\text{ }^\circ\text{C}$ (Burström, 2007). Vidare kan läsas att mineralullen är ett obrännbart material och de små tillsatserna påverkar inte brandbelastningen. Glasullen sintrar vid $600\text{ }^\circ\text{C}$, alltså att fibrerna börjar smälta samman vid denna temperatur, och stenullen vid $800\text{ }^\circ\text{C}$. Fenolhartsen klarar temperaturer på $200\text{ }^\circ\text{C}$, vilket utgör den högsta användningstemperaturen för materialet. Glasull börjar krympa när temperaturen stiger upp till $500\text{-}600\text{ }^\circ\text{C}$, detta medför att den isolerande förmågan försämras och värmeledningseffekten ökar (Just, 2012).

Mineralull betraktas som ett obrännbart material (Burström, 2007). Andra förutsättningar skapas genom att mineralullen samverkar med något annat material, till exempel att ullen är inklädd i papp eller gipsskivor. Då stenullen är obrännbar så kan den användas som brandskydd för exempelvis stålkonstruktioner. Mineralull är med några undantag brandklassat som ett obrännbart material och innehar därmed brandklass A1 eller A2 (Isover, u.å.).

När mineralull exponeras mot brand beter det sig olika beroende på om det är stenull eller glasull (Just, et al., 2010). Det finns glasullsprodukter som liknar stenull, med avseende på hur temperaturen utvecklas på den sida som inte är exponerad mot brand, men att glasullens isolerande förmåga annars är sämre än stenullens. De skriver vidare att även stenullens skyddande förmåga kan variera mellan produkter.

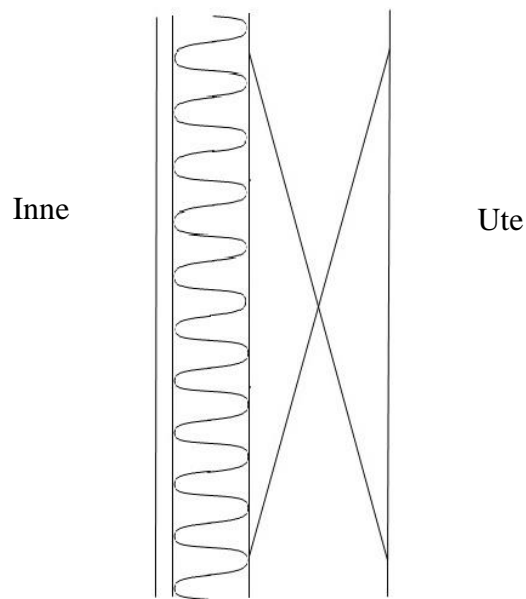
4.1.3 Mineralull tillämpat som tilläggsisolering

Den utvändiga lösningen som presenteras nedan i figur 4 är hämtad från Andersson et al. (2009).



Figur 4. Principskiss över en utvändig lösning av tilläggsisolering med mineralull. Materialsikt inifrån och ut: befintlig vägg, mineralull, luftspalt och slutligen fasad.

Även den invändiga lösningen är hämtad från Andersson et al. (2009) och presenteras nedan i figur 5.



Figur 5. Principskiss över en invändig lösning av tilläggsisolering med mineralull. Materialsikten inifrån och ut: gipsskiva, mineralull, fuktspärr och slutligen befintlig vägg.

4.2 Expanderad polystyren, EPS

Expanderad polystyren, EPS, är en typ av cellplast och som i dagsläget används bland annat som isolering av bottenplattor och som väggisolering (EPS-Bygg, u.å.).

På 30-talet uppfann svensken Carl Munters en metod för att göra skumplast, som sedan vidareutvecklades till cellplast. Till en början användes plasten i flytvästar och livbåtar (Sanberg, 2012). Cellplastmaterial har funnits på byggmarknaden sedan 1950-talet (Plast- & Kemiföretagen, 2007). Cellplast finns i olika fabrikat och i följande kapitel redogörs EPS, vilken är en av de vanligare cellplasterna.

4.2.1 Uppbyggnad

Expanderad polystyren är en termoplast, vilket innebär att den är formbar vid uppvärmning (Burström, 2007). Burström skriver att EPS framställs genom att plastkulor innehållande kolväten värms upp och på grund av detta expanderar. Porer bildas således i plastkulorna och de läggs sedan i en form och hettas upp igen. Detta leder till att kulornas kontaktytor smälter ihop och bildar skivor. Som sista steg i processen är enligt författaren att kolväten ersätts av luft som har en sämre värmeledningsförmåga och därmed minskar värmeöverföringen genom materialet. Som färdigt material innehåller EPS-skivorna 98 % luft och 2 % polystyren (Cellplaster.nu, 2010).



Figur 6. Bild på expanderad polystyren (Bygg-Ole, u.å.).

4.2.2 Materialtekniska egenskaper

Efter tillverkningen av EPS-skivor krymper materialet, vilket gör att innan installation måste materialet förvaras en tid för att inte restkrympning ska ske i väggen (Plast- & Kemiföretagen, 2007). Vidare framgår i litteraturen att normalt har skivorna krympt vid leverans, detta är något som tillverkaren ska ansvara för. Dessutom påpekar källan att om EPS skall användas som putsbärare bör inte skivorna krympa efter det att putsen har applicerats, då finns risk för att sprickor uppstår i putsen.

Expanderad polystyren absorberar vatten i liten utsträckning, trots hög relativ fuktighet bibehåller materialet sin värmeledningsförmåga (Örtengren-Sikander, 1993). Materialet är okänsligt för fukt (ThermiSol, u.å.). Ånggenomsläppligheten för EPS är $1,15 \cdot 10^{-6}$ s/m (Hagentoft, 2001).

Burström presenterar att materialets porositet är 98 %, värmekonduktiviteten är 0,035 W/(m*K) och att högsta användningstemperatur är mellan 75-80 °C. Författaren skriver också att EPS vanligtvis har en densitet mellan 15-30 kg/m³. Materialets livslängd kan betraktas motsvara byggnadens (EPS-Bygg, 2010). Dessa data presenteras i nedanstående tabell.

Tabell 4. Materialegenskaper för expanderad polystyren.

Densitet	15-30 kg/m ³
Värmekonduktivitet	0,035 W/(m*K)
Livslängd	Motsvarar byggnadens
Ånggenomsläpplighet	0,9-1,4*10 ⁻⁶

4.2.3 Brandtekniska egenskaper

Polystyren är som tidigare påpekat en termoplast som smälter i ett tidigt skede vid direkt exponering av brand. Som ovan presenterat är högsta användningstemperatur 75- 80 °C, vid högre temperaturer mjuknar plasten och smälter. Om cellplasten antänder i smält tillstånd kan den bidra till en snabbare brandspridning då den kan rinna ut genom sprickor i vägen (Nilsson & Rönnqvist, 2009). Expanderad polystyren har brandklass F (Helgar, 2013).

Det föreligger möjligheter att brinnande EPS slocknar om syretillförseln är låg, dock uppstår kolmonoxid och kraftig rökutveckling vid ofullständig förbränning av cellplast (Nilsson & Rönnqvist, 2009). EPS används vanligen i sandwichelement mellan betong alternativt stål (Plast- & Kemiföretagen, 2007). I denna litteratur omnämns även att i båda konstruktionslösningarna begränsas risken för att EPS-materialet skall antändas, men materialet påverkas däremot av temperaturen och smälter.

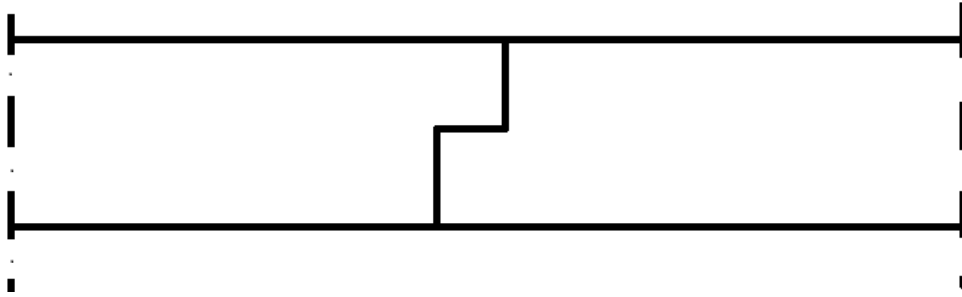
4.2.4 EPS tillämpat som tilläggsisolering

Skivor av cellplast är styva och går att skäras till önskad dimension, detta kan göras på byggplatsen (Burström, 2007). Skivorna kan skäras till antingen med en kniv eller med en upphettad ståltråd som smälter plasten och därigenom skapar ett snitt (Plast- och Kemibranscherna, 1995). Vid denna typ av beskärning bör inte ångorna som bildas andas in. Skivorna kan limmas upp eller fästas mellan reglar.

Vid utvändigt tilläggsisolering kan EPS-skivorna fästas till befintlig fasad och sedan monteras en ny fasad på skivan (Plast- & Kemiföretagen, 2007).

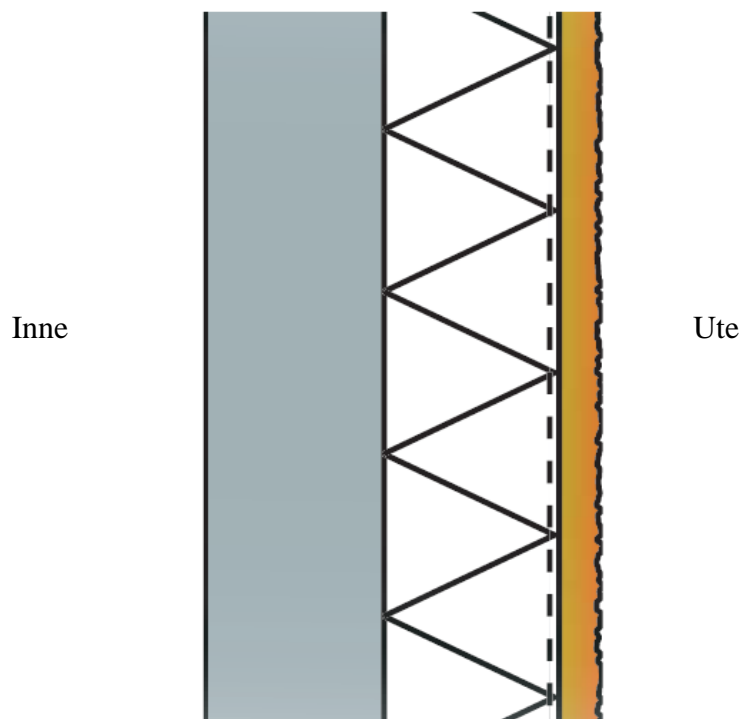
Plast- & Kemiföretagen (2007) hänvisar till tillverkarna gällande hur de tekniska lösningarna för EPS skall utformas för att lösa problematiken vid brand. De påpekar att det finns system med putsbärande EPS som har testats med SP Fire 105 och uppfyller kraven från BBR, men att detaljutformningen då bör ses över vid exempelvis fönster och dörrar. Vidare framhäver de att all EPS måste vara täckt av något obrännbart material för att minska risken för spridning av brand i isoleringsmaterialet.

För att minska köldbryggor så utformas vissa EPS-skivor vid produktion med en överlappande kant enligt figur 7 (Plast- och Kemibranscherna, 1995). Det motverkar värmetransporten genom att det inte finns en genomgående skarv genom isoleringsmaterialet.



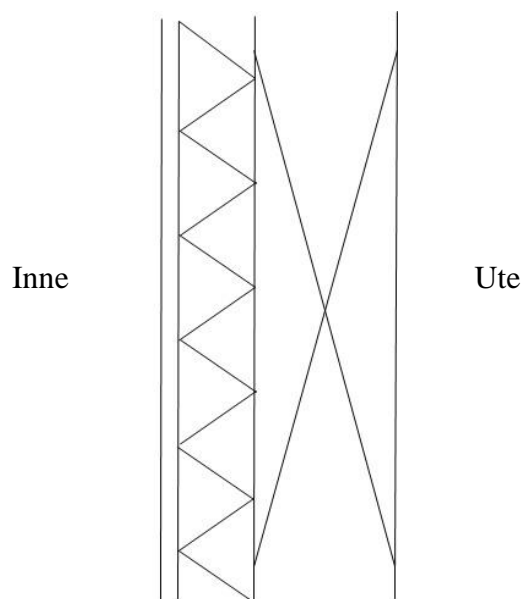
Figur 7. Principiell bild sett ovanifrån över hur vissa EPS-skivor är utformade för att minska köldbryggor.

Följande lösning har hämtats från Plast- & Kemiföretagen (2007) och visar hur en utvändigt tilläggsisolering med EPS kan se ut, se figur 8. Det är en lösning som innebär att EPS används som putsbärare. Det innebär att EPS:en skyddas av putsen ur brandsynpunkt.



Figur 8. Principskiss över en utvändigt lösning av tilläggsisolering med EPS. Materialskikten inifrån och ut är: befintlig vägg, cellplast och slutligen puts. (Plast- & Kemiföretagen, 2007).

Även den invändiga lösningen presenteras av Plast- och Kemibranscherna (1995) och exemplifierar på hur en principiell invändig tilläggsisolering med EPS kan utformas, se figur 9. Gipsskivan som finns utanpå EPS:en skyddar då materialet vid brand.



Figur 9. Principskiss över en invändig lösning av tilläggsisolering med EPS. Materialskikten inifrån och ut är: gipsskiva, EPS och slutligen befintlig vägg.

För den invändiga lösningen som sedan kommer användas för beräkningar så har en fuktspärr lagts in mellan den befintliga väggen och EPS:en.

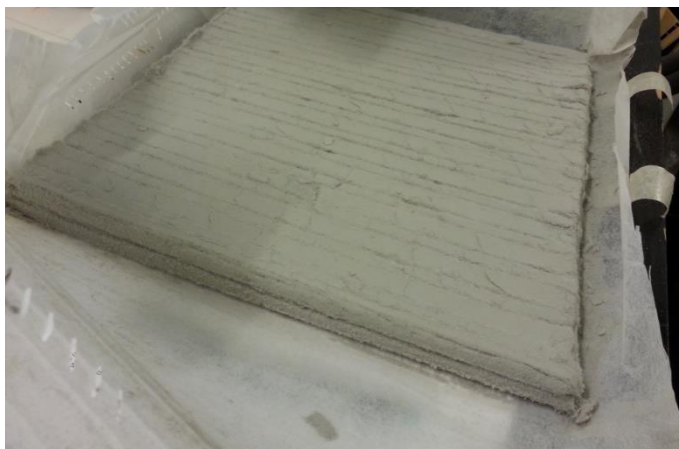
4.3 Vakuumpaneler

Redan på 1980-talet började vakuumisoleringspaneler användas till bland annat kylskåp där det finns lite utrymme för isolerande material (Johansson, 2012). Då kylskåp inte kräver en vidare lång livslängd, så var vakuumpaneler som har en livslängd omkring 25-40 år ett passande material då det gav god isoleringsförmåga utan att ta för stor plats.

Vakuumpanelerna började dock först användas på 2000-talet inom byggindustrin (Fyhr, et al., 2011). I byggindustrin måste det dock ta hänsyn till vakuumpanelernas livslängd då en byggnad bör ha en livslängd på ungefär 80-100 år (Johansson, 2012).

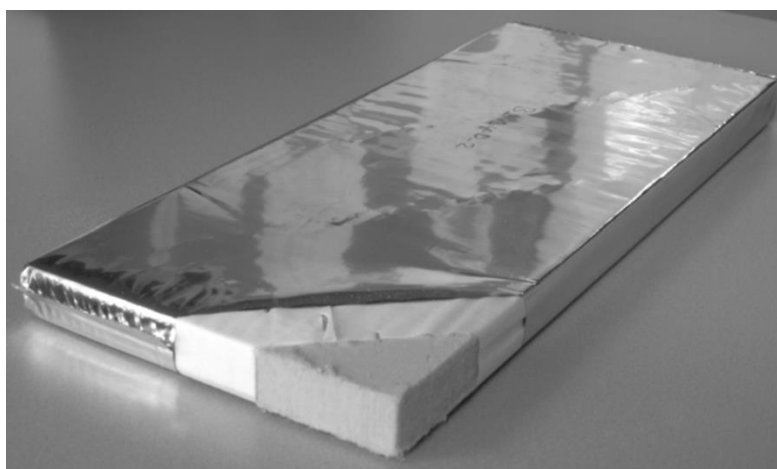
4.3.1 Uppbyggnad

Huvudmaterialet i vakuumpanelerna utgörs av en kärna med ett fint pulver eller fiber, vilket i Europa är oftast är bestående av kiseloxid (Johansson, 2012).



Figur 10. Bilden visar en öppnad vakuumpanel. Det gråa materialet är kiselkärnan i vakuumpanel som sedan försluts och tömts på luft (Bild: Alexander Liljenhed).

Detta pulver består av nano-stora silikat-kärnor som innesluts i en polymerfilm med tunna lager av aluminiumfolie (Johansson, 2012). Polymerfilmen töms på luft så att gstrycket går ner till ca 0,2 mbar och de inneslutna silikat-kärnorna måste då kunna stå emot det atmosfäriska trycket på ca 1000 mbar.



Figur 11. Vakuumpanel med den inre kärna synlig och den silverfärgade polymerfilmen utanpå (Tenpierik, et al., 2007).

Konvektion och konduktion som bygger på flöde av material eller genom material blir då närmare noll då vakuum uppstått. Kvar att leda värme är då konduktion på ytan av panelen och strålning (Johansson, 2012). Då isoleringsmaterialet innesluts i en konstruktion blir dock strålning relativt låg¹. Att minimera dessa tre typer av värmeöverföring ger vakuumpanelerna dess isolerande förmåga som då ger en tjocklek som är en femtedel av mineralull för att uppnå samma värmeledningsförmåga (Bärtås, 2011).

Panelerna bör heller inte täckas av ett material med hög värmekonduktivitet då det leder till att eventuella trasiga paneler inte går att upptäcka med hjälp av till exempel infraröd termografi, av samma anledning bör materialet inte heller sättas bakom ett ventilerat utrymme. Ett sätt att skydda panelerna från punktering är att täcka materialet med ett lager av EPS.

4.3.2 Materialtekniska egenskaper

Värmekonduktiviteten för det kiselbaserade kärnmaterialet är 0,004 W/(m*K) men då värme även leds runt kärnan av aluminiumfolien blir den effektiva värmeledningsförmågan ca 0,006-0,008 W/(m*K) (Fyhr, et al., 2011). Om en panel skulle punkteras tappar den stora delar av sin isolerande förmåga, vilket innebär att det bör vara enkelt att byta ut en trasig panel vid behov (Johansson, 2012). Enligt Johansson så ökar värmekonduktiviteten för vakuumpanelen till 0,020 W/(m*K) då den punkteras.

Livslängden för plattorna varierar enligt Johansson (2012) mellan 25-40 år. Bärtås (2011) uppger dock en livslängd som ligger runt 30-50 år.

Panelerna är i princip helt ångtäta genom panelen (Johansson, 2012). Dock så kan fukt ta sig igenom panelerna på sidorna där de fäst mot varandra¹. För att minska detta fuktflöde vid sammanfogningarna av panelerna så kan exempelvis tejp användas för att se till att luft inte kan bära med sig fukt. Då fukttransport genom sidorna av panelerna tas i åtanke kan en ånggenomsläpplighet på ca $1,25 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ användas (Agstrand & Odby, 2011).

Densiteten hos vakuumpanelerna kan variera något beroende på typ av kärnmateriell och vilken film som används för att försluta panelerna, densiteten hamnar i alla fall mellan 160 och 220 kg/m³ (Baetens, et al., 2010). Porositeten hos panelerna är hög och ligger på cirka 90 % eller högre (Simmer, et al., 2005). Dessa data presenteras i tabell 6.

Tabell 5. Materialegenskaper för vakuumpaneler.

Densitet	160-220 kg/m ³
Värmekonduktivitet	0,004 W/(m*K) för kärnmaterialet 0,006-0,008 W/(m*K) för hela panelen
Livslängd	25-40 år alt 30-50 år
Ånggenomsläpplighet	~0 m ² /s genom panelerna, dock så kan fukt diffundera där panelerna fästs mot varandra och värdet $1,25 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ kan då användas.

¹ Johansson, Pär; Doktor vid Chalmers tekniska högskola. 2014. Intervju 11 april.

4.3.3 Brandtekniska egenskaper

Kärnmaterialet i vakuumpaneler, kiseldioxid, är värmebeständigt och därmed icke-brännbart (Johansson, 2012). Polymerfilmen som kapslar in detta kärnmaterial är dock brandfarligt och redan vid 150 °C så avger den farliga gaser såsom kolmonoxid. Kolmonoxid är direkt dödande vid höga koncentrationer (Nyström, 2009). Vid 350 °C så kommer filmen sedan att självantända, nyare vakuumpaneler har dock ett 6 µm brandretarderande lager på utsidan av den brandfarliga filmen (Johansson, 2012).

Om den kiselbaserade kärnan används så är denna icke-brännbar och har brandklass A1 enligt europeisk standard (Skanska Sverige AB , 2012). Detta är den högsta brandklassen som kan uppnås.

4.3.4 Vakuumpaneler tillämpat som tilläggsisolering

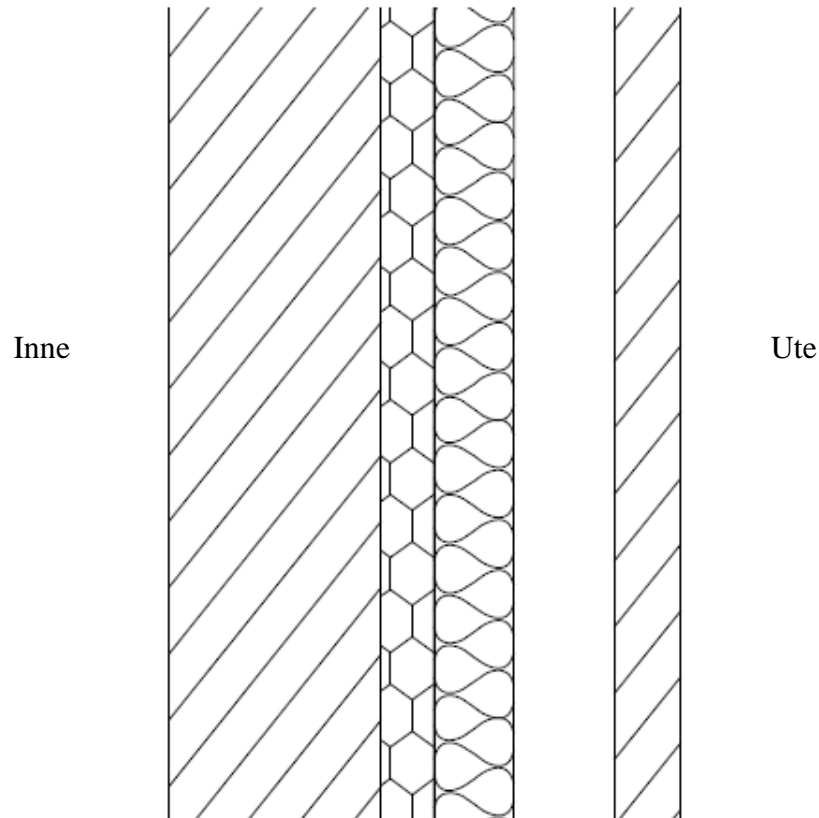
Installationen är inte lika enkel som för till exempel mineralull, panelerna kan inte skäras till då de ej får punkteras, till följd av detta måste panelerna måttbeställas exakt för att passa runt fönster och dörrar med mera (Johansson, 2012).

Om det ska göras en tilläggsisolering så används exempelvis laser för att få fram de exakta måtten (Fyhr, et al., 2011). Med hjälp av lasern så kan exakta positioner av fönster och måtten på fasaden som ska förbättras fås ut.

Då vakuumpaneler kommer i skivor som ska sättas bredvid varandra uppstår det köldbryggor mellan skivorna. Ett sätt att lösa problemet är att lägga panelerna omlott och alltså få två lager med vakuumpaneler (Johansson, 2012). Detta kan dock ge andra konsekvenser, aluminiumfolie leder nämligen värme 1000 gånger bättre än plast (Clase, 2010). För att minska denna ledning är ett alternativ att varva aluminiumfoliet i plast. För att minska på köldbryggorna är också stora paneler att föredra. Ofta förekommer det att mineralull läggs utanpå panelerna för att motverka denna problematik¹.

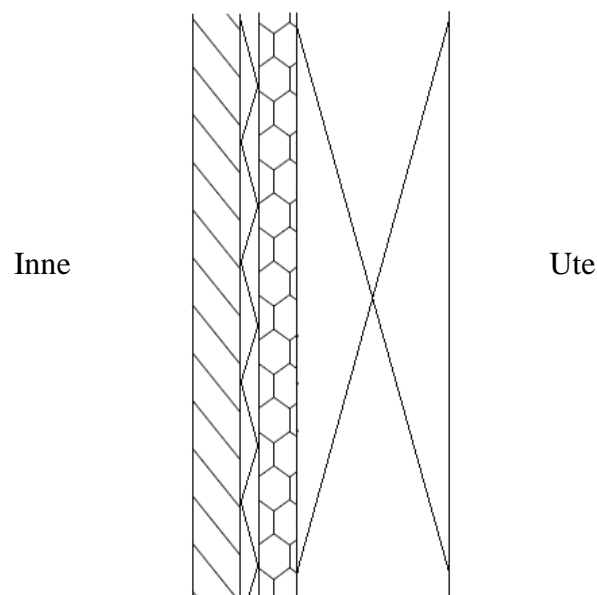
Ett flerfamiljshus byggt på 30-talet tilläggsisolerades med vakuumpaneler (Fyhr, et al., 2011), lösningen illustreras nedan.

¹ Johansson, Pär; Doktor vid Chalmers tekniska högskola. 2014. Intervju 1 april.



Figur 12. Principskiss över en utvändig lösning av tilläggsisolering med vakuumpaneler. Materialskit inifrån och ut: befintlig vägg, vakuumpanel, mineralull, luftspalt och slutligen träfasad.

I figur 13 presenteras en invändig lösning hämtad från Binz, et al. (2005). Luftspalten som där används har i den lösningen som sedan kommer användas för beräkningar ersatts med en skiva expanderad polystyren som i kapitel 4.3.1 *Uppbyggnad* förklaras skydda panelerna.



Figur 13. Principskiss över en invändig lösning av tilläggsisolering med vakuumpaneler. Materialskit inifrån och ut: gipsskiva, EPS, vakuumpanel, fuktspärr och slutligen befintlig byggnad.

4.4 Aerogelmattor

Aerogelkonceptet började utredas för första gången på 1930-talet av den amerikanske forskaren och kemiingenjören Samuel Stephens Kistler, hans teori byggde på att strukturen i en gel kunde hållas intakt om vissa förutsättningar uppnåddes (Berge & Johansson, 2012).

I byggnadsindustrin används kiselbaserade aerogeler, de är lämpliga på grund av sin höga porositet (Berge & Johansson, 2012). Materialet har dock inte tillämpats i någon större utsträckning i byggnadsindustrin, vilket till stor del beror på det höga priset¹.

4.4.1 Uppbyggnad

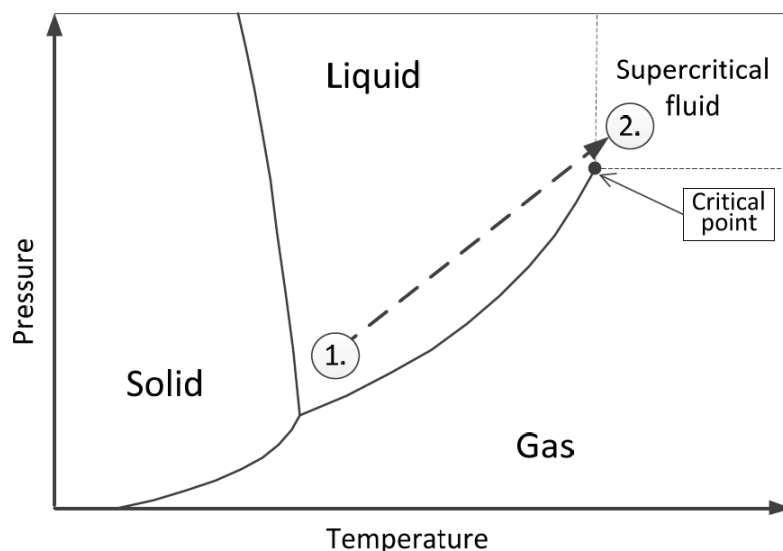
Aerogel kan tillverkas i blockform, i pelletsform, eller som mattor där pellets vävs in i ett annat material (Berge & Johansson, 2012). Exempel på material som används vid invävningen är plaster eller mineralull. Anledningen till att det vävs in i ett fibröst material är för att pelletsen är mycket sköra och det hade inte fungerat att använda som till exempel lösullsisolering (Berge & Johansson, 2012).



Figur 14. Aerogelmatta där aerogel har vävts samman med plast (Berge & Johansson, 2012).

Aerogelmattorna som behandlas för beräkningar i denna rapport är laminerade plastmattor som får sin isolerande förmåga ifrån invävda kiseloxidpellets, materialet tillverkas genom att en gel av kiseloxid utsätts för höga tryck- och värmeförhållanden för att nå de kritiska nivåerna för vätska, se figur 15. Det leder till att vätskefasen i materialet dunstar och kvar blir då ett mycket poröst material med goda isolerande egenskaper.

¹ Johansson, Pär; Doktor vid Chalmers tekniska högskola. 2014. Intervju 16 maj.



Figur 15. Fasdiagram för att exemplifiera var den kritiska nivån för en vätska, här vatten, kan vara. Genom högt tryck och temperatur går det att passera den kritiska punkten mellan gas och flytande fas. (Berge & Johansson, 2012).

4.4.2 Materialtekniska egenskaper

Materialet består av upp till 97 % luft eller vakuum, vilket ger materialet dess isolerande förmåga (Ciruela Pérez, 2012). Densiteten för aerogelpellets ligger på 100 kg/m^3 (Berge & Johansson, 2012). För aerogelmattorna ligger densiteten på 150 kg/m^3 (Ciruela Pérez, 2012). Enligt Berge och Johansson (2012) har materialet en porstorlek som varierar mellan 20-40 nm.

Materialet är hydrofobt men fuktgenomsläppligt (Skanska Sverige AB , 2012). Samma källa uppskattar livslängden genom simulerat åldrande till 60 år, och anger en värmekonduktivitet på den aerogelmatta som här studeras med värdet $0,014 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Ånggenomsläppligheten har efter experiment uppmätts till $8,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (Ciruela Pérez, 2012). Presenterad data kan sammanfattas i nedanstående tabell.

Tabell 6. Materialegenskaper för aerogelmatta.

Densitet	150 kg/m^3
Värmekonduktivitet	$0,014 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Livslängd	60 år
Ånggenomsläpplighet	$8,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

4.4.3 Brandtekniska egenskaper

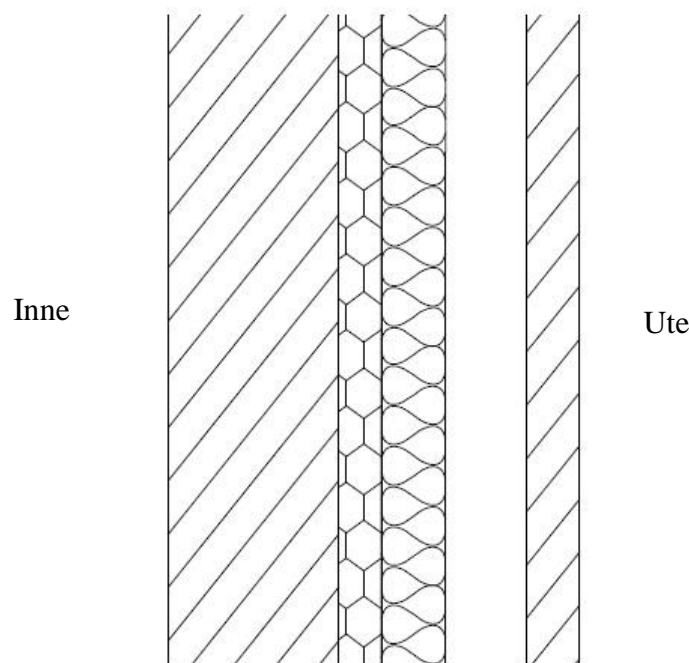
Aerogelen i sig brinner inte då den består av kiseloxid som är ett obrännbart material. Plastväven som aerogelen förvaras i är dock brännbar (Ciruela Pérez, 2012). Denna plast kan i värsta fall påskynda ett brandförlopp, vilket innebär att för att använda materialet på ett säkert sätt i byggnader måste materialet brandskyddas. Brandklassen för materialet är C-s1,d0 (Skanska Sverige AB , 2012).

Högsta användningstemperatur för materialet är $200 \text{ }^\circ\text{C}$ (Ciruela Pérez, 2012), vid denna temperatur börjar plasten smälta vilket leder till att materialet tappar sin funktion.

4.4.4 Aerogelmattor tillämpat som tilläggsisolering

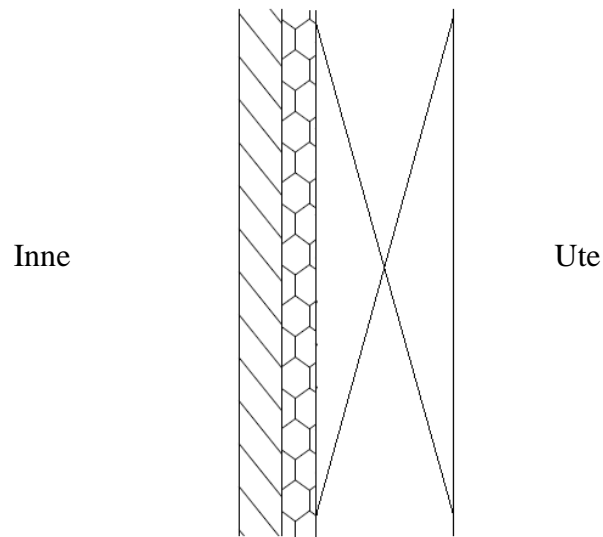
Materialet installeras antingen med hjälp av lim eller med mekaniska metoder, till exempel läggs mattorna bakom reglar (Ciruela Pérez, 2012). Installationssvårigheterna kan jämföras med de mer traditionella isoleringsmaterialen som till exempel mineralull, med andra ord kan materialet skäras till på plats och behöver inte måttbeställas. Det går att böja materialet, vilket kan förenkla installation (Skanska Sverige AB , 2012). Materialet dammar också en hel del enligt Skanska Sverige AB vid installation vilket medför att vis skyddsutrustning kan behövas för de som arbetar med installationen.

Då aerogelmattor ännu inte applicerats som tilläggsisolering på väggar i större utsträckning presenteras nedan en lösning som följer samma princip då vakuumpaneler använts som tilläggsisolering. I kapitel 4.3.4 *Vakuumpaneler tillämpat som tilläggsisolering* följer utförligare bakgrund till denna lösning.



Figur 16. Principskiss över en utvändig lösning av tilläggsisolering med aerogel. Materialsikt inifrån och ut: befintlig vägg, aerogelmatta, mineralull, luftspalt och slutligen fasad.

Den invändiga lösningen som tillämpas för aerogelmattor är lik den som idag kan anses vara den konventionella, beskriven i kapitel 2.2 *Invändig tilläggsisolering*, reglar bär upp mattorna samt en utanpåliggande gipsskiva, se figur 17.



Figur 17. Principskiss över en invändig lösning av tilläggsisolering med aerogelmatta. Materialskikten är från insidan ut: gips, aerogel, fuktspärr och slutligen befintlig vägg.

4.5 Sammanställning materialdata

Här sammanfattas de för diskussionen mest relevanta tidigare redogjorda materialdata i diagram och tabell.

Diagram 1 presenterar materialens värmekonduktivitet.

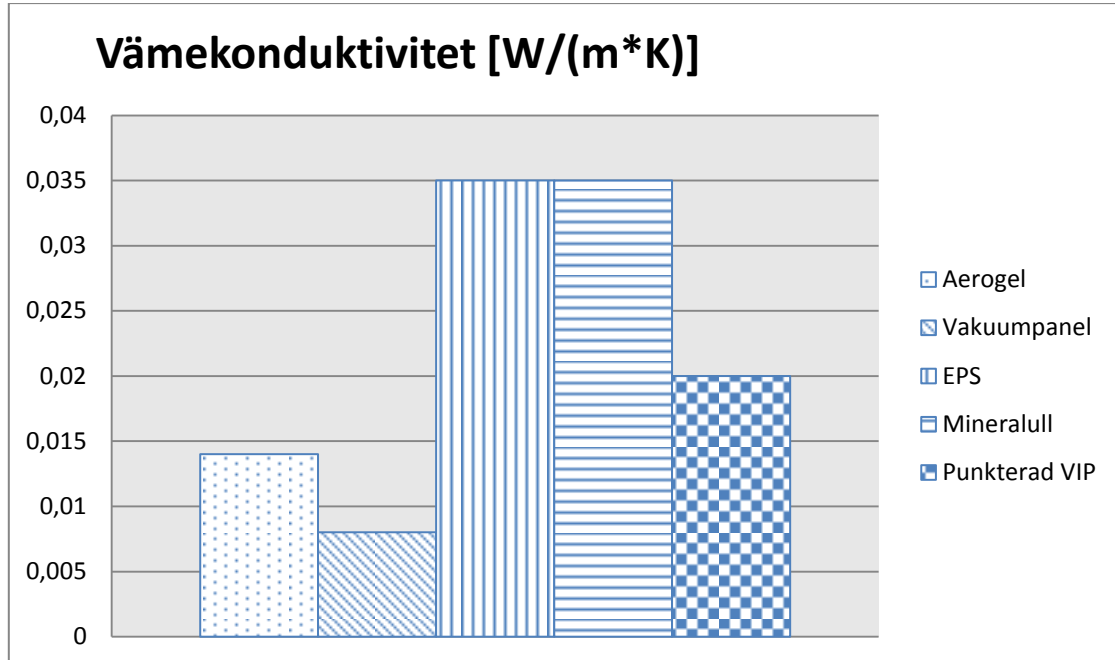


Diagram 1. De undersökta materialens värmekonduktivitet.

Tabell 7 presenterar materialens värmekonduktivitet, densitet, ånggenomsläpplighet, livslängd samt brandklass.

Tabell 7. Sammanfattande tabell över presenterade materialegenskaper.

	Aerogel	EPS	Vakuumpaneler	Mineralull
Värmekonduktivitet [W/(m*K)]	0,014	0,035	0,008	0,035
Livslängd [år]	60	100+	25-40	100
Brandklass	C-s1,d0	F	A1	A1
Densitet [kg/m ³]	150	15-30	160-220	60-70
Ånggenomsläpplighet [m ² /s]	8,7*10 ⁻⁶	0,9-1,4*10 ⁻⁶	1,25*10 ⁻⁸	25*10 ⁻⁶

5 Tekniska lösningar av tilläggsisolering för befintlig byggnad

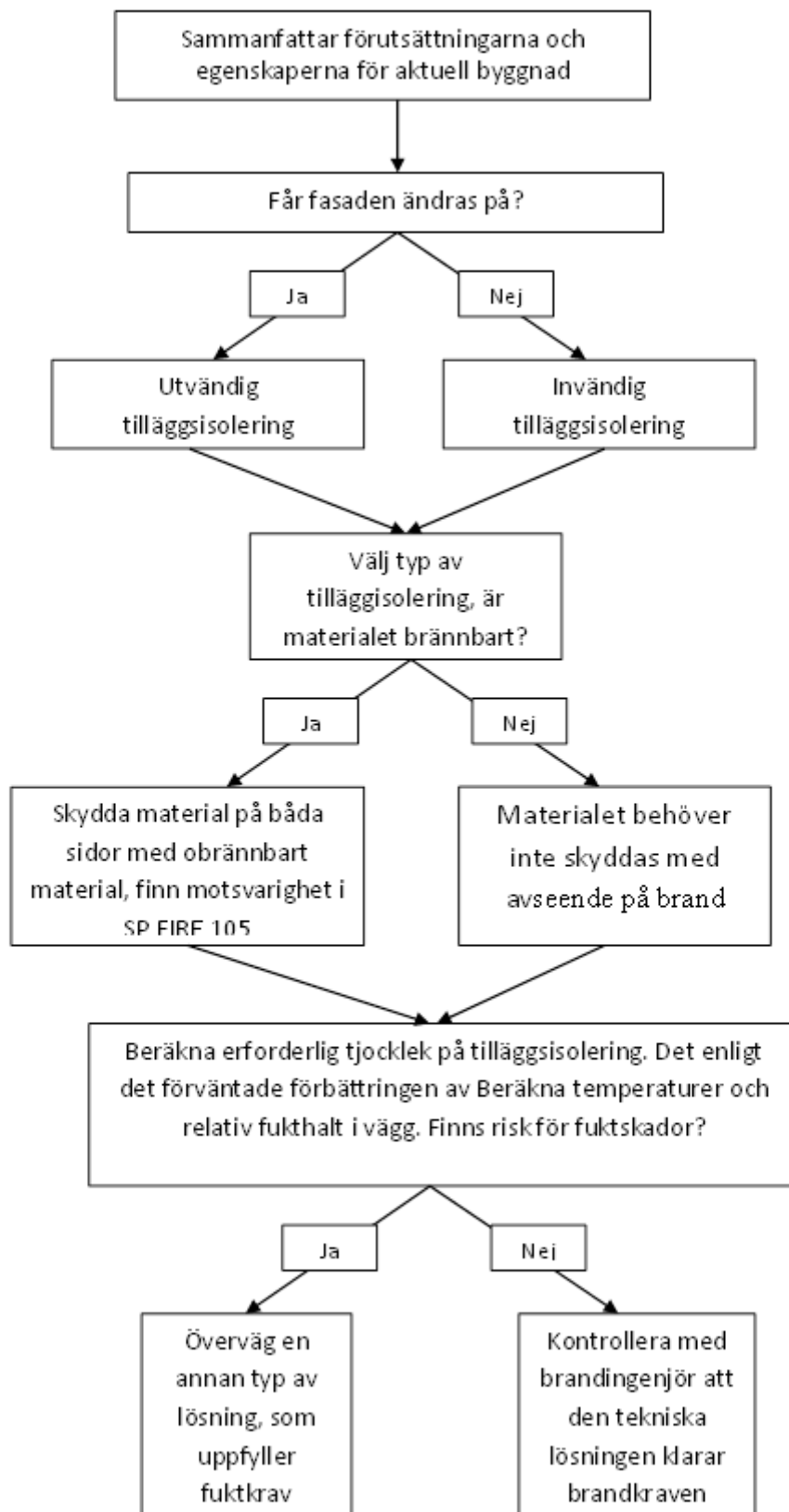
För att komma fram till på vilket sätt som tilläggsisolering av en befintlig byggnad skall genomföras måste en sammanfattning av de gällande kraven som finns för byggnaden först göras. På ett systematiskt sätt går det att komma fram till vilken typ av tilläggsisolering som kan användas samt utformningen av denna. Utformningen innefattar tjocklek på isoleringsmaterial, som har att göra med eftersträvat U-värde för väggen, och även hur olika material kombineras för att brand och fuktkrav skall säkerställas. Utformningen resulterar sedan i tekniska lösningar där samtliga parametrar har setts över.

Enligt tidigare kapitel 3.1 *Fukt- och temperaturbetydelse vid tilläggsisolering*, tilläggsisoleras väggar i regel på utsidan med hänsyn till att vilja ha en varm konstruktion som löper mindre risk för fuktskador. Om fasaden inte får ändras på tilläggsisoleras väggen på insidan. Vid en tilläggsisolering kombineras olika material, dels föra att klara fuktkrav och dels för att klara brandkrav. Brandkrav resulterar i kombination av olika material när en befintlig byggnad tilläggsisoleras, vilket har tagits upp i 3.2.4 *Metodik vid tilläggsisolering med hänsyn till brandkrav*. Vid sammanställningen av den befintliga byggnaden så skall det framkomma vilken byggnadsklass byggnaden befinner sig i, vilket resulterar i olika typer av brandklasser av materialet i tilläggsisoleringen.

Förväntat U-värde för den ombyggda väggen resulterar i att tjocklek av tilläggsisoleringen kan beräknas genom att värmekonduktiviteten är känd för samtliga komponenter i väggelementet. Rekommenderat U-värde för en ombyggd yttervägg för är $0,18 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ (BFS 2011:26, 2011).

Är värme- och fuktmotstånd för kombinationerna av material kända kan temperaturen genom väggelementet beräknas och därigenom även relativ fuktighet (Petersson, 2009). Givet för följande beräkningar är att de utförs för referensorten Göteborg samt givna månader med indata. Fuktkraven som är relevanta för tilläggsisolering beskrivs i kapitel 3.1 *Fukt- och temperaturbetydelse vid tilläggsisolering*, ett riktvärde som då bör understigas är en relativ fuktighet på 75 %. Uppfylls ej kraven för fukt kan fuktrelaterade problem såsom mögel och röta uppkomma, vilket betyder att materialkombinationen inte klarar Boverkets byggregler (Boverket, 2013). En annan kombination bör därför i sådana fall övervägas då den tekniska lösningen skall ta hänsyn till samtliga parametrar.

Nedan följer ett flödesschema för hur en teknisk lösning tas fram för tilläggsisolering på befintlig byggnad, då brand- och fuktkrav ses över. Den är baserad på tidigare kapitel och ovanstående beskrivning av respektive beräkningssteg.



Figur 18. Flödesschema över metodiken vid utformning av tilläggsisolering.

I det fall som behandlas i rapporten har ett miljonprogramhus byggt av betongsandwichelement använts som referensobjekt, detta är hämtat från (Björk, et al., 2003). Elementet består av ett lager EPS inneslutet av två lager betong där elementets totala tjocklek uppgår till 280 mm, se bilaga 1 för materialdata. Huset antas ligga i byggnadsklass Br1. Brandkravet som ställs på byggandens ytskikt är enligt *kapitel 3.2.2 Byggnadsklassens påverkan av brandklasser* A2-s1,d0 för ytterväggarna samt C-s2,d0 för innerväggarna.

Utförda beräkningar presenteras ingående i bilaga 1 till och med 11. Nedan presenteras de resultat som beräkningarna visat för respektive lösning. Beräkningarna redovisar vilken tjocklek på materialet som används vid den aktuella lösningen som behövs för att väggens nya U-värde på 0,18 W/(m*K) skall uppnås. Vidare redovisas hur temperaturfördelningen och fuktfördelningen uttryckt i relativ fuktighet blir då tilläggsisoleringen lagts till.

I följande underkapitel presenteras temperatur- och fuktfördelningarna för de lösningsförslag som tidigare presenterats under respektive materialkapitel från *kapitel 4 Material vid tilläggsisolering*. Om dessa har kompletterats med hänsyn till brandkrav så framgår detta då när respektive lösning presenteras nedan.

5.1 Beräkning av temperatur- och fuktfördelning för utvändiga lösningsförslag

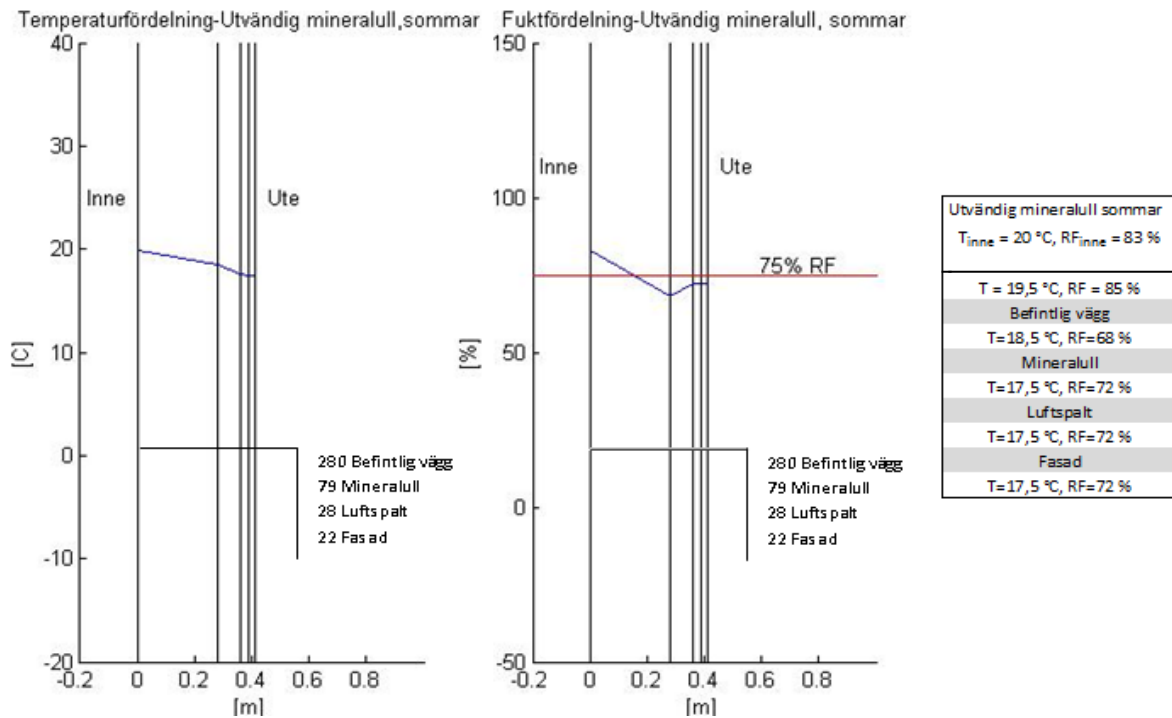
Nedan presenteras de lösningar för respektive material som tagits fram för vidare analys då tilläggsisolering sker på utsidan. För varje lösningsförslag har först erforderlig tjocklek på isoleringsmaterialet beräknas, sedan presenteras temperaturfördelning och den relativa fuktigheten. Fasaden i lösningarna med luftspalt antas uppfylla de brandkrav som ställs, men enligt *3.2.2 Byggnadsklassens påverkan av brandklasser* skall dock ytskikt exponerat mot luftspalten uppfylla samma krav vilket har tagits hänsyn till i följande lösningsförslag.

För de lösningarna med luftspalt råder det utomhusförhållande i spalten. Detta är alltså vad som illustreras över de två första skikten sett utifrån gällande temperatur och relativ fuktighet. Det är så som beräkningsmodellen är utformad och det medför att den relativa fuktigheten ändras först vid det materialet som är exponerat mot luftspalten.

5.1.1 Mineralull som utvändigt tilläggsisolering

För lösningen med utvändigt mineralull som tilläggsisolering medför att konstruktionens totala tjocklek uppgår till 409 mm där 129 mm utgörs av tilläggsisoleringens komponenter. Av dessa 129 mm är 79 mm mineralull och resterande luftspalt med fasadmateriäl. Mineralull som obrännbart material och brandklassat A1 alternativt A2 uppfyller därmed kravet på ytskiktet som är exponerat mot luftspalten.

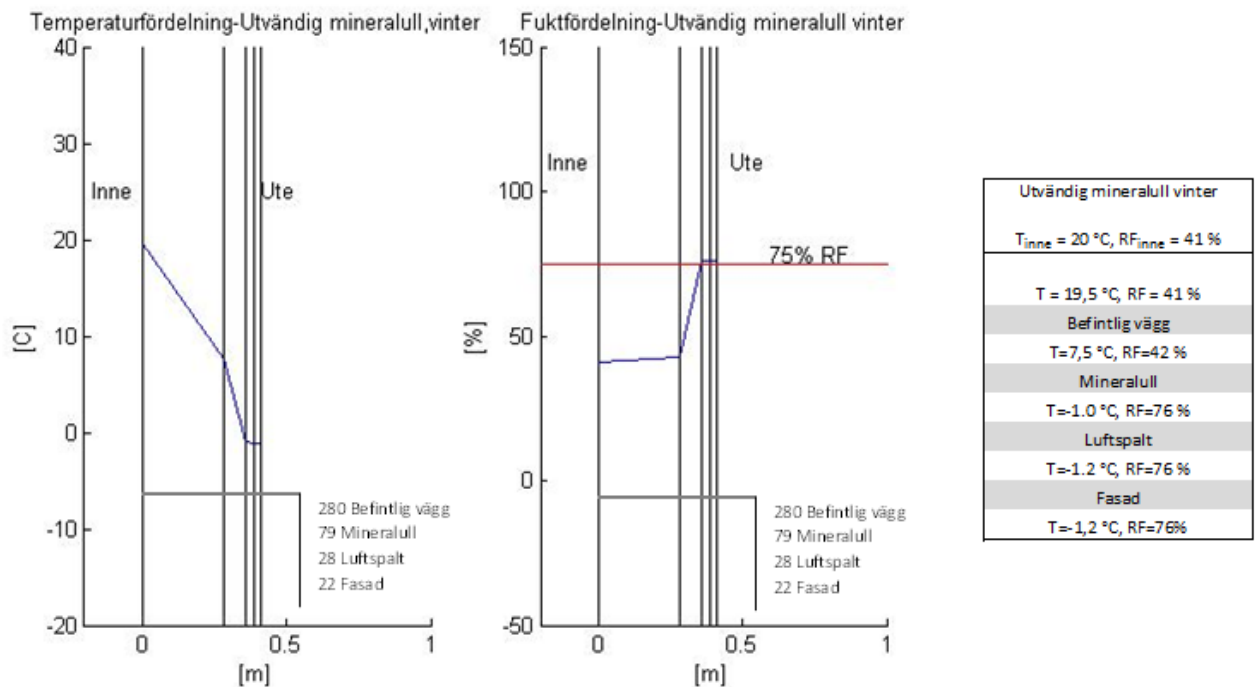
Under förutsättningarna som råder då det är sommar utomhus blir temperatur- och fuktfördelningarna enligt följande figur nedan.



Figur 19. Temperaturfördelning och relativ fuktighet för utvändig lösning med mineralull vid dimensionerande sommarförhållanden. I tabellen bredvid redovisas aktuella temperaturer och relativa fuktigheter mellan samtliga materiallager.

Figuren ovan visar att under sommarförhållanden så uppnås den kritiska fukthalten i den befintliga väggen.

Vid vinterförhållanden kommer temperaturfördelningen och den relativa fuktigheten för den utvändiga mineralullslösningen bli enligt följande figur.



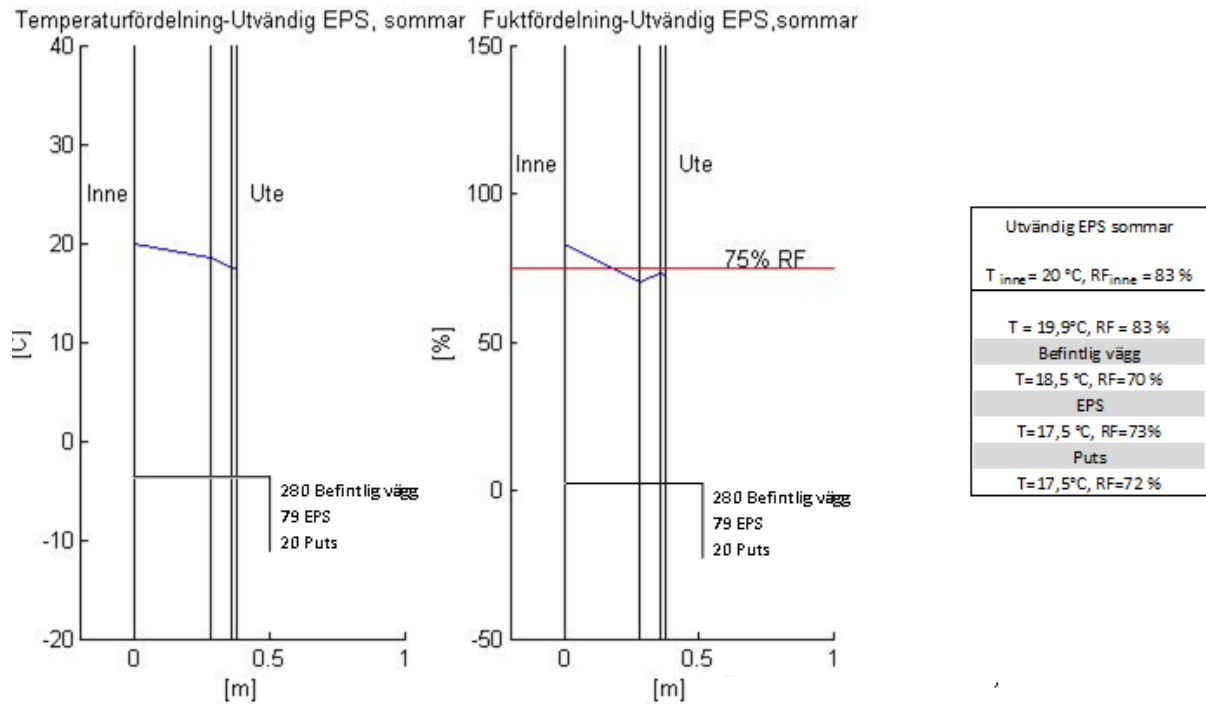
Figur 20. Temperaturfördelning och relativ fuktighet för utvändig lösning med mineralull vid dimensionerande vinterförhållanden. I tabellen bredvid redovisas aktuella temperaturer och relativa fuktigheter mellan samtliga materiallager.

I de yttre delarna av väggen syns att relativa fuktigheten snabbt minskar och understiger kravet på 75 %, den ligger dock något över vid ytan av materialet som är exponerat mot luftspalten där enligt beräkningsmodellen uteluftsklimat råder.

5.1.2 Expanderad polystyren som utvändigt tilläggsisolering

Lösningen medför att konstruktionens totala tjocklek uppgår till 379 mm, varav 99 mm utgörs av tilläggsisolering och ytskikt. Av dessa 99 mm utgörs 79 mm av EPS och 20 mm är puts. Putsen har till uppgift att skydda EPS-skivan samt för att uppnå brandkraven.

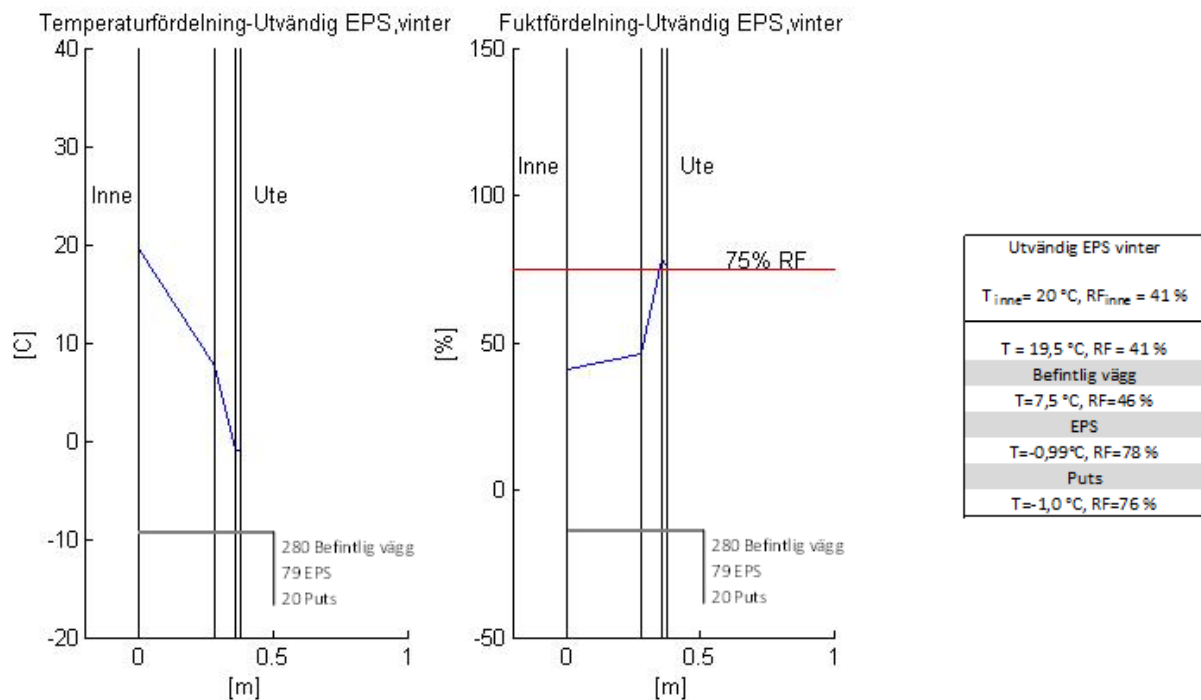
För fallet då det är sommar utomhus erhålls följande temperaturfördelning samt relativa fuktigheten mellan materialen.



Figur 21. Temperaturfördelning och relativ fuktighet för utvändig lösning med EPS vid dimensionerande sommarförhållanden. I tabellen bredvid redovisas aktuella temperaturer och relativa fuktigheter mellan samtliga materiallager.

Denna figur visar att under förhållandena som råder under sommaren så kommer den kritiska relativa fuktigheter att uppstå i den befintliga väggen.

Nedan visas hur temperatur och relativ fuktighet fördelas över väggen vid dimensionerande vinterförhållanden.



Figur 22. Temperaturfördelning och relativ fuktighet för utvändig lösning med EPS vid dimensionerande sommarförhållanden. I tabellen bredvid redovisas aktuella temperaturer och relativa fuktigheter mellan samtliga materiallager.

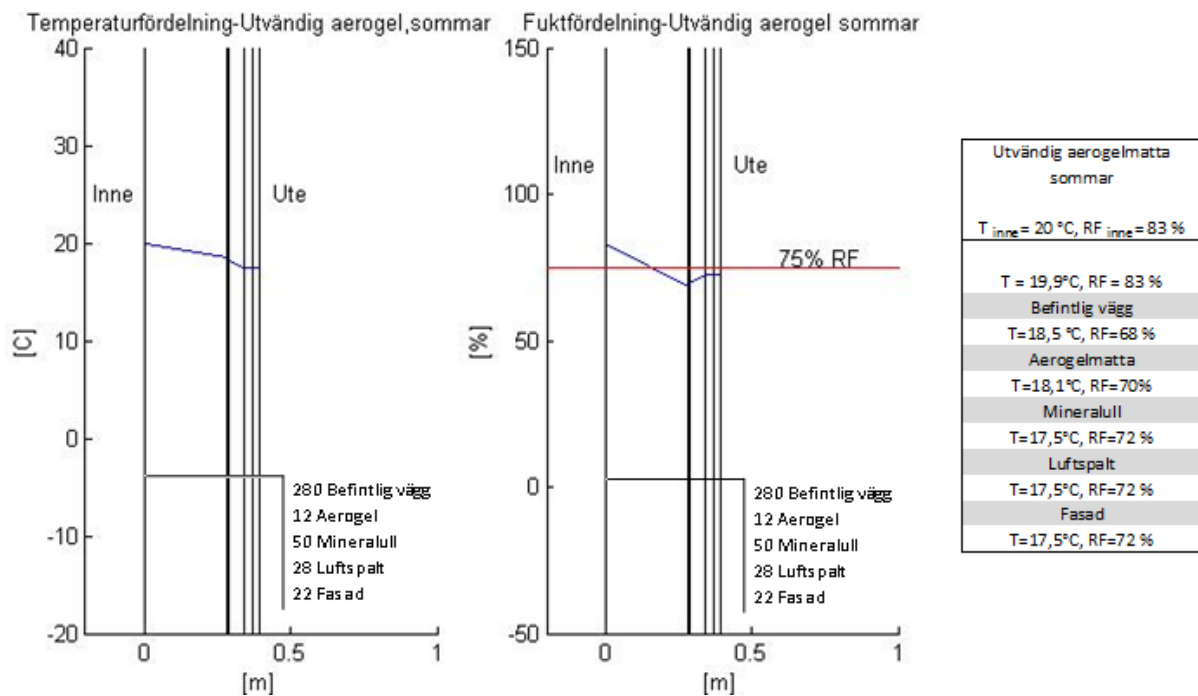
Figuren visar att den relativa fuktigheten överstiger den kritiska nivån i skiktet mellan putsen och isoleringen, där den relativa fuktigheten uppgår till 78 %.

5.1.3 Aerogelmatta som utvändig tilläggsisolering

När denna lösning används blir konstruktionens totala tjocklek 392 mm där 112 mm utgörs av tilläggsisolering och ytskikt. Av dessa är 12 mm aerogelmatta och 50 mm mineralull, resterande är luftspalt med fasad. Mineralullens uppgift är att brandsäkra konstruktionen, tjockleken är satt till 50 mm då det är det täcksikt som rekommenderats för ett material med brandklass C-s1,d0¹.

¹Thureson, Per; Arbetar för SP, Sveriges tekniska forskningsinstitut, med brandprovning av material. 2014. Intervju 30 april.

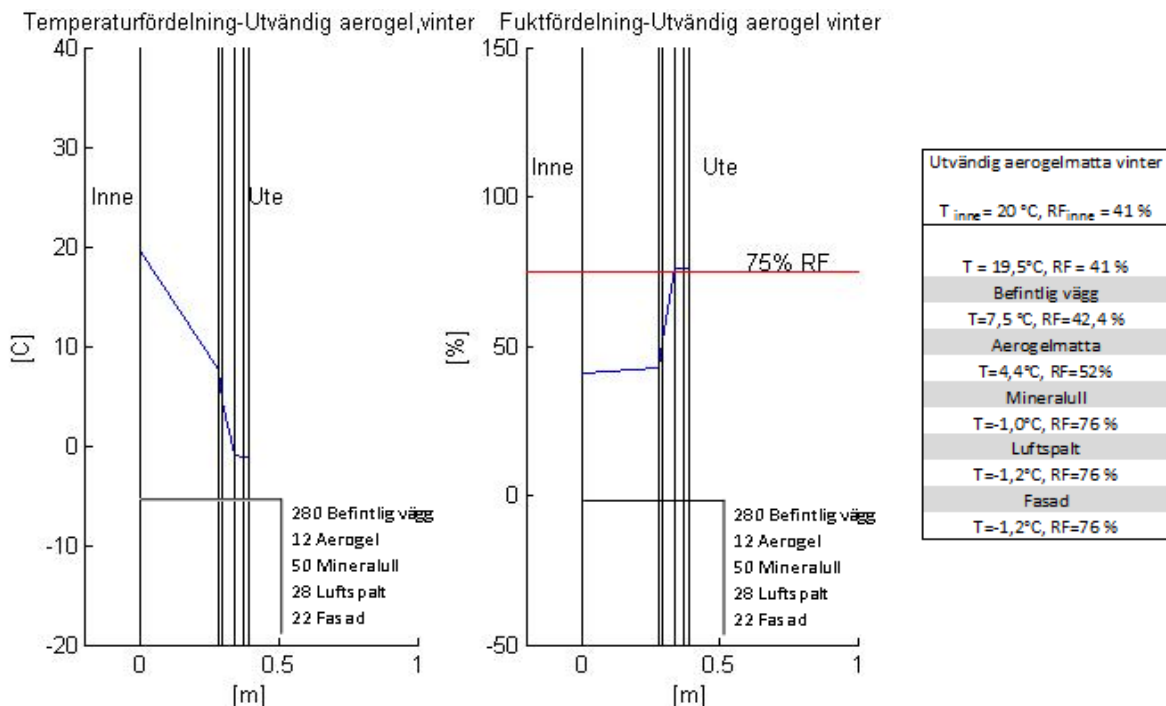
Här följer temperaturfördelning samt relativa fuktigheten mellan materialen under antagna sommarförhållanden.



Figur 23. Temperaturfördelning och relativ fuktighet för utvändig lösning med aerogelmattor vid dimensionerande sommarförhållanden. I tabellen bredvid redovisas aktuella temperaturer och relativa fuktigheter mellan samtliga materiallager.

Figurerna illustrerar att under sommaren ligger relativt fuktigheten i den befintliga konstruktionen över den kritiska relativa fuktigheten.

Nedanstående figur visar hur väggens temperaturfördelning och relativa fuktighet ser ut under fallet då det är vinter.



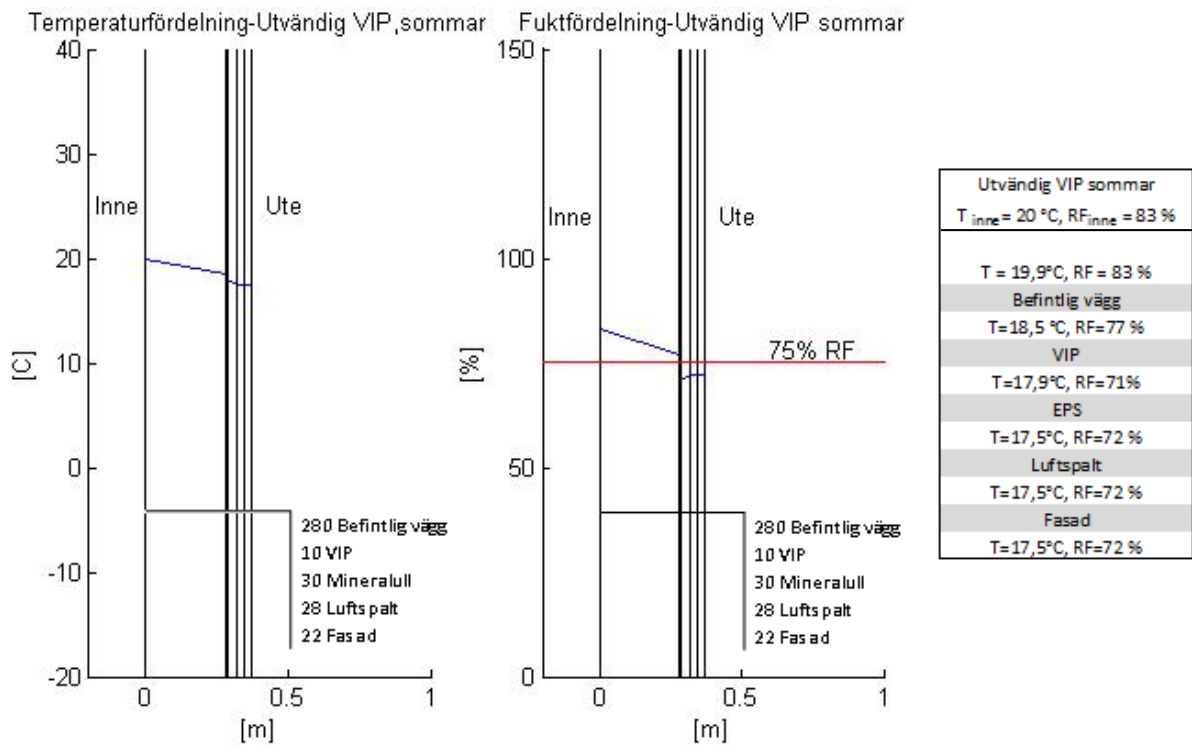
Figur 24. Temperaturfördelning och relativ fuktighet för utvändigt lösning med aerogelmattor vid dimensionerande vinterförhållanden. I tabellen bredvid redovisas aktuella temperaturer och relativa fuktigheter mellan samtliga materiallager.

Relativa fuktigheten blir över de kritiska nivåerna i de allra yttersta delarna av konstruktionen, vilket är ofrånkomligt på grund av de rådande funkförhållandena som råder i luftspalten.

5.1.4 Vakuumpaneler som utvändigt tilläggsisolering

Efter tilläggsisolering blir väggens nya tjocklek 370 mm där tilläggsisoleringens, inklusive fasad och luftspalt, totala tjocklek blev 90 mm. I konstruktionen utgörs 10 mm av vakuumpaneler och 30 mm av mineralull, resterande är fasad med luftspalt. Mineralullskiktet har till uppgift att skydda vakuumpanelen mot stötar samt att mineralullen hjälper till med att minimera eventuella köldbryggor. Då mineralull och vakuumpaneler är klassade som obrännbara material uppfyller de kraven gällande brand.

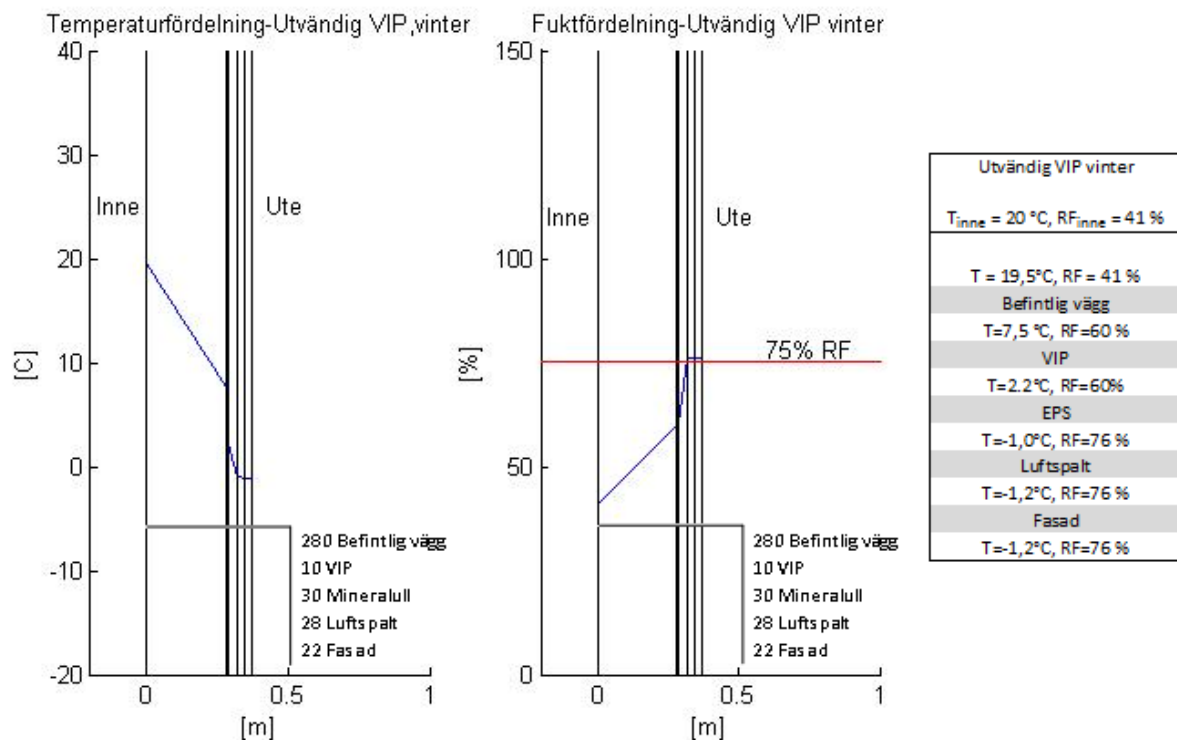
Under sommarförhållanden beskrivs hur temperaturen och den relativa fuktigheten i väggen varierar i nedanstående figur.



Figur 25. Temperaturfördelning och relativ fuktighet för utvändig lösning med vakuumpanel vid dimensionerande sommarförhållanden. I tabellen bredvid redovisas aktuella temperaturer och relativa fuktigheter mellan samtliga materiallager.

Här visas att vakuumpanelen stoppar fukt som kommer inifrån, relativa fuktigheten kommer i den befintliga konstruktionen att överstiga den kritiska gränsen på 75 %.

I nedanstående bild illustreras lösningen under rådande vinterförhållanden.



Figur 26. Temperaturfördelning och relativ fuktighet för utvärdig lösning med vakuumpanel vid dimensionerande vinterförhållanden. I tabellen bredvid redovisas aktuella temperaturer och relativa fuktigheter mellan samtliga materiallager.

Figuren visar att vakuumpanelerna håller den befintliga konstruktionen varm under vintern. Enbart i det yttersta skiktet kommer relativa fuktigheten att överstiga den kritiska gränsen, men detta då det råder utomhusförhållanden i luftspalten.

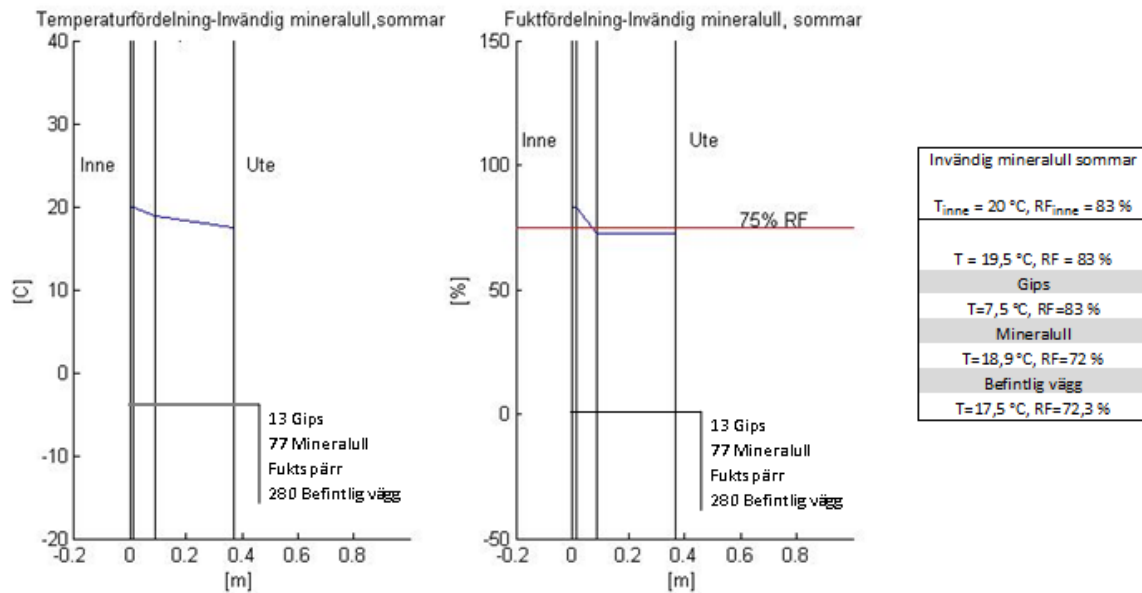
5.2 Beräkning av temperatur- och fuktfördelning för invändiga lösningsförslag

Nedan presenteras de lösningar för respektive material som tagits fram för vidare analys då tilläggsisolering sker på utsidan. För varje lösningsförslag har först erforderlig tjocklek på isoleringsmaterialet beräknas, sedan presenteras temperaturfördelning och den relativa fuktigheten. Ingående materialdata presenteras i bilaga 1.

5.2.1 Mineralull som invändig tilläggsisolering

Tilläggsisoleringen består av en gipsskiva med mineralull bakom. En fuktspärri sätts mellan mineralullen och den befintliga väggen. Efter tilläggsisolering blir den totala vägg tjockleken 370 mm där tilläggsisoleringen blir 90 mm. Av dessa så utgör mineralullen 77 mm och gipsskivan 13 mm. Då mineralull och gips enligt föregående kapitel är obrännbara material uppfylls kraven för brand.

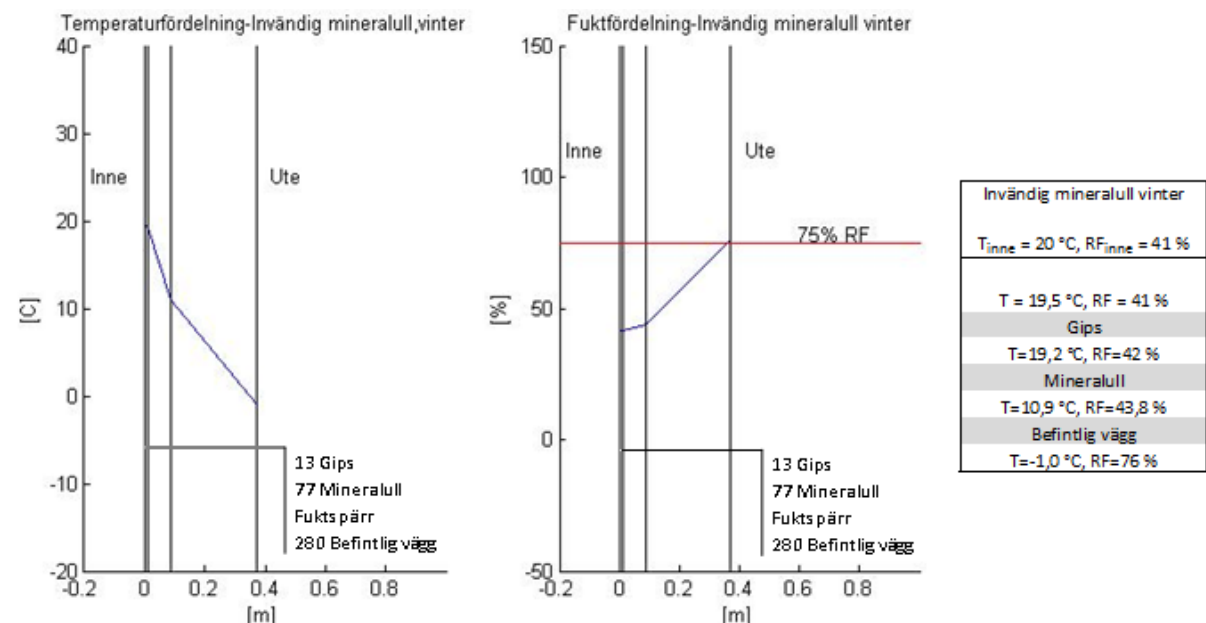
Temperaturfördelningen och den relativa fuktigheten för dimensionerande sommarförhållanden presenteras nedan.



Figur 27. Temperaturfördelning och relativ fuktighet för invändig lösning med mineralull vid dimensionerande sommarförhållanden. I tabellen bredvid redovisas aktuella temperaturer och relativa fuktigheter mellan samtliga materiallager.

Den relativa fuktigheten i väggen uppnår inte de kritiska förhållandena i den befintliga konstruktionen då fuktspärren förhindrar fukt att tränga sig in, därmed så överskrids gränsen i gipsen samt mineralullen.

De dimensionerande vinterförhållandena applicerades för den invändiga tilläggsisoleringen av mineralull, temperaturfördelning och relativa fuktighet redovisas nedan.



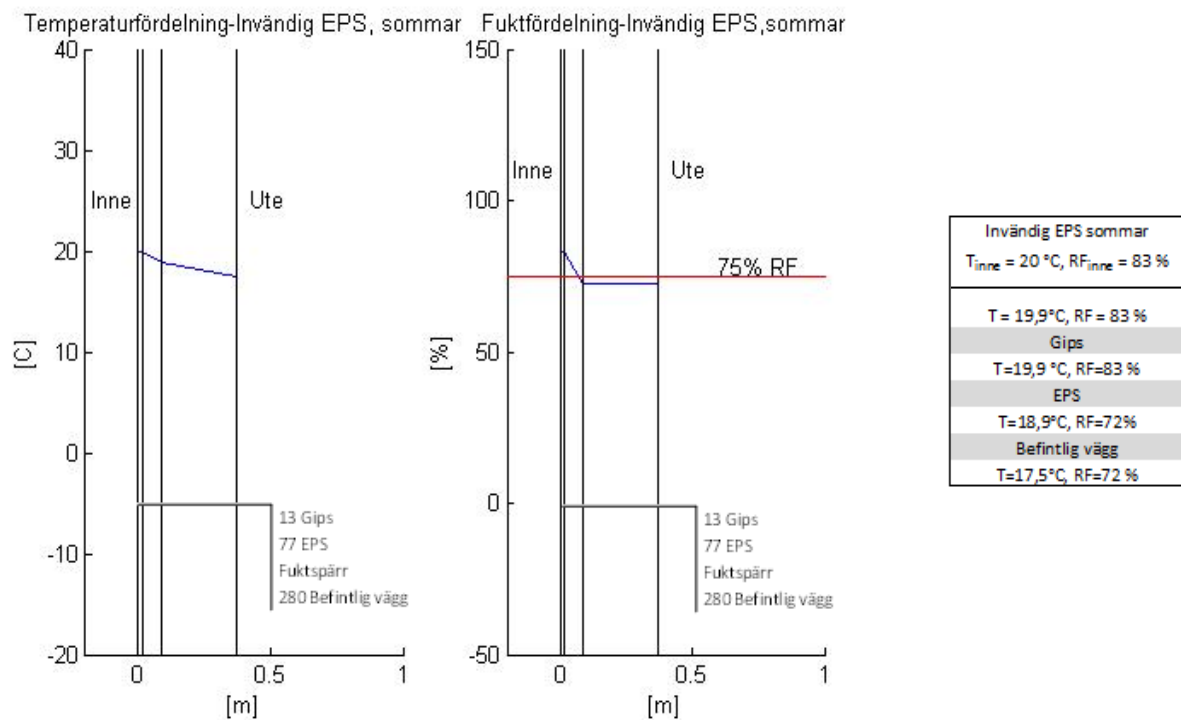
Figur 28. Temperaturfördelning och relativ fuktighet för invändig lösning med mineralull vid dimensionerande vinterförhållanden. I tabellen bredvid redovisas aktuella temperaturer och relativa fuktigheter mellan samtliga materiallager.

I figuren ovan syns att kritiska relativa fuktigheter inte uppnås i konstruktionen förutom i de allra yttersta delarna av konstruktionen där utomhusförhållanden råder.

5.2.2 Expanderad polystyren som invändig tilläggsisolering

Den invändiga lösningen med EPS har en gipsskiva för att skydda mot brand. En fuktspärr sätts in bakom EPS-skivan innan den befintliga väggen. Om denna lösning appliceras beräknas den nya totala tjockleken till 370 mm där tilläggsisoleringen bidrar med 90 mm. Av dessa är 77 mm EPS och 13 mm gips.

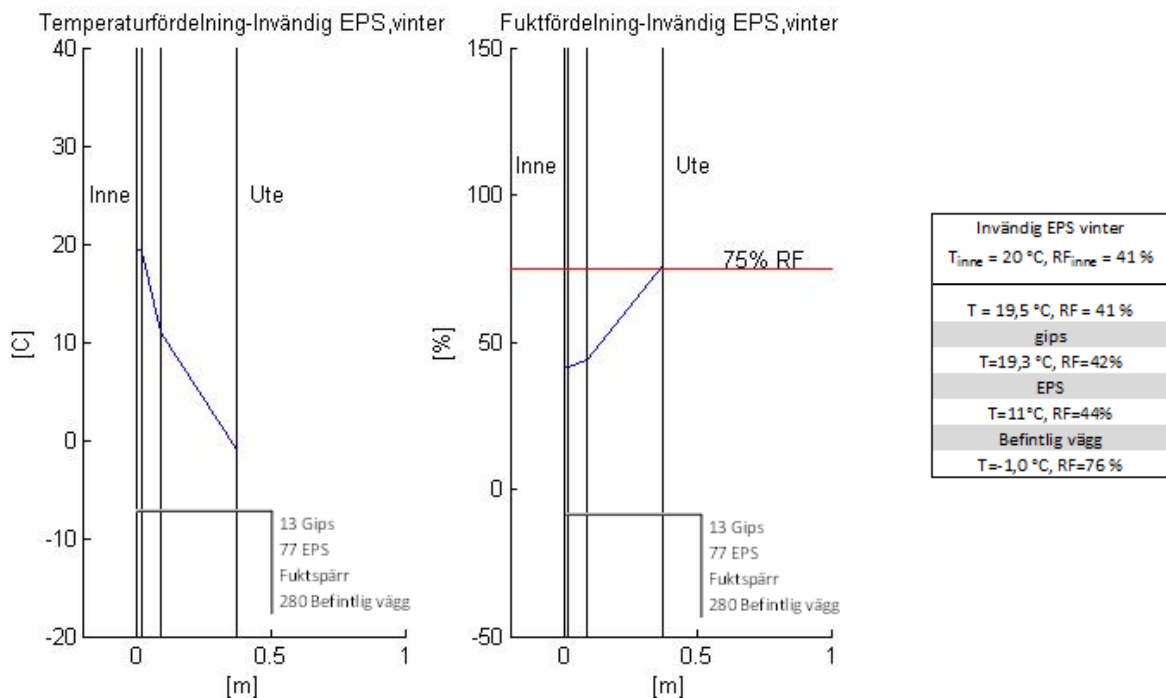
Temperaturfördelning i väggen och relativ fuktighet mellan materialen då sommar råder presenteras nedan.



Figur 29. Temperaturfördelning och relativ fuktighet för invändig lösning med EPS vid dimensionerande sommarförhållanden. I tabellen bredvid redovisas aktuella temperaturer och relativa fuktigheter mellan samtliga materiallager.

Figuren ovan visar att den kritiska gränsen för relativ fuktighet kommer att råda i EPS:en samt gipsen.

De dimensionerande vinterförhållandena applicerades för den invändiga tilläggsisoleringen av mineralull och temperaturfördelning och relativa fuktighet redovisas i nedanstående figur.



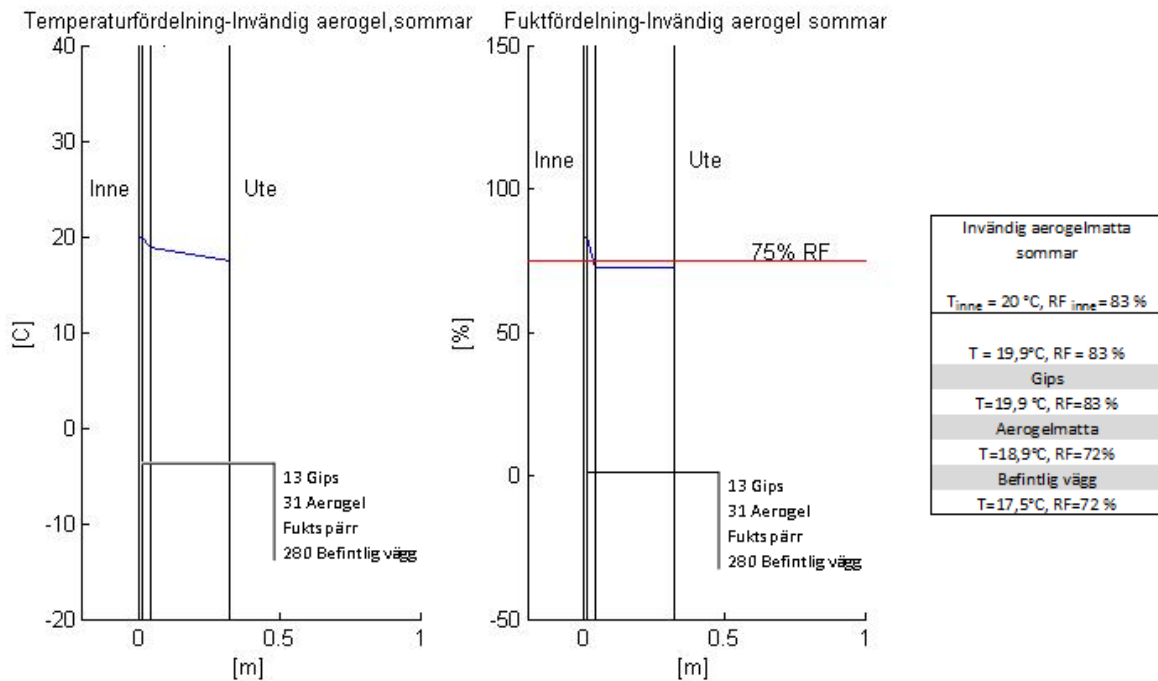
Figur 30. Temperaturfördelning och relativ fuktighet för invändig lösning med EPS vid dimensionerande vinterförhållanden. I tabellen bredvid redovisas aktuella temperaturer och relativa fuktigheter mellan samtliga materiallager.

Den invändiga lösningen av EPS medför att den befintliga väggen blir kall, men de fuktkrav som ställs klaras ändå av. Att den relativa fuktigheten är precis ovan det kritiska värdet längst ut i väggen beror på att den relativa fuktigheten i rådande vinterförhållande ligger på 76 %.

5.2.3 Aerogelmatta som invändig tilläggsisolering

Lösningen som presenteras består av en gipsskiva som skyddar aerogelmattan från brand och sedan en fuktspärr mellan aerogelmattan och den befintliga väggen. Väggens nya totala tjocklek blev enligt beräkningarna 324 mm där tilläggsisoleringens totala tjocklek blev 44 mm. Av dessa är 31 mm aerogelmatta och 13 mm gips.

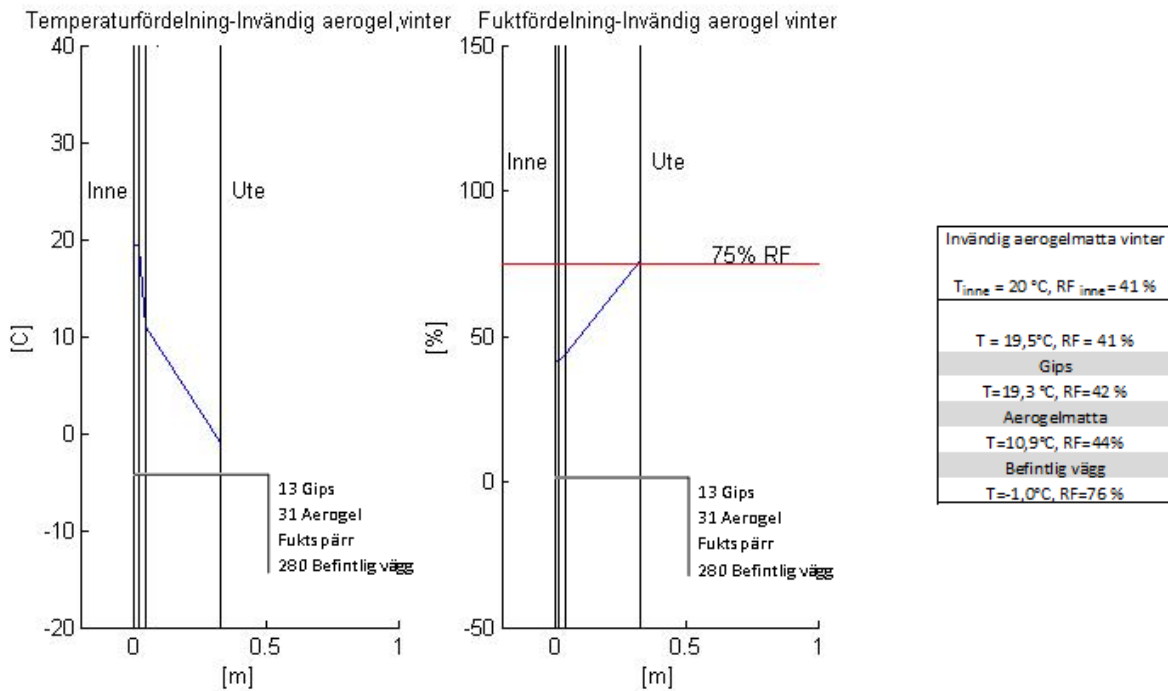
I figuren nedan presenteras väggens temperaturfördelning och relativa fuktighet under sommaren.



Figur 31. Temperaturfördelning och relativ fuktighet för invändig lösning med aerogelmattor vid dimensionerande sommarförhållanden. I tabellen bredvid redovisas aktuella temperaturer och relativa fuktigheter mellan samtliga materiallager.

I figuren ses att kritisk relativ fuktighet överskrids i aerogelen. Fuktsparren förhindrar fukttransport till den befintliga väggen och gränsen på 75 % relativ fuktighet överskrids inte i denna del av konstruktionen.

Figuren nedan visar dimensionerande vinterförhållanden.



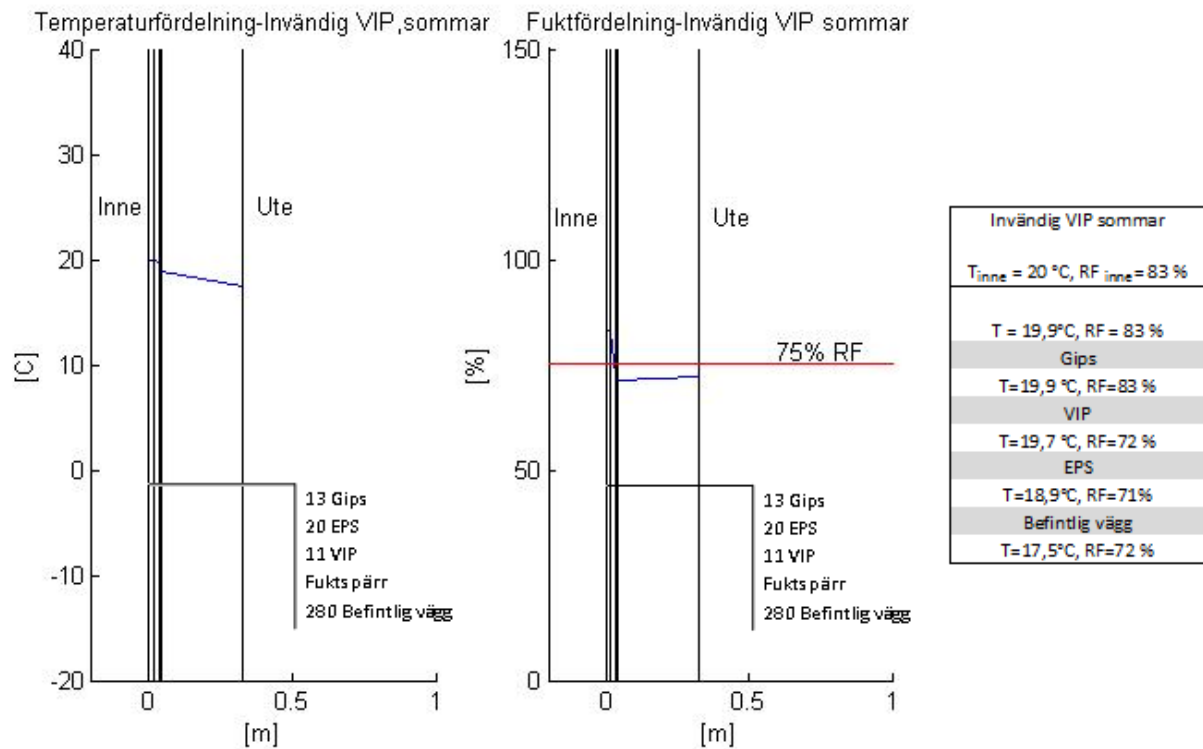
Figur 32. Temperaturfördelning och relativ fuktighet för invÄndig lösning med aerogelmattor vid dimensionerande vinterförhållanden. I tabellen bredvid redovisas aktuella temperaturer och relativa fuktigheter mellan samtliga materiallager.

Enligt följande beräkningsmodell uppstår det inte några fuktproblem i väggen vid invÄndig tilläggsisolering med aerogel, relativa fuktigheten håller sig under 75 % förutom i de allra yttersta delarna av konstruktionen där 76 % uppnås.

5.2.4 Vakuumpaneler som invÄndig tilläggsisolering

För den invÄndiga lösningen av vakuumpanel används EPS för att skydda vakuumpanelen mot punktering och stötar samt att täta och undvika köldbryggor. Den totala tjockleken av den nya väggen uppgår till 324 mm där tilläggsisolering utgör 44 mm. Av dessa är 13 mm gips, 20 mm EPS och 11 mm vakuumpaneler. Då gipsen är klassad som obrännbar så skyddar den EPS:en mot brand och uppfyller således brandkraven.

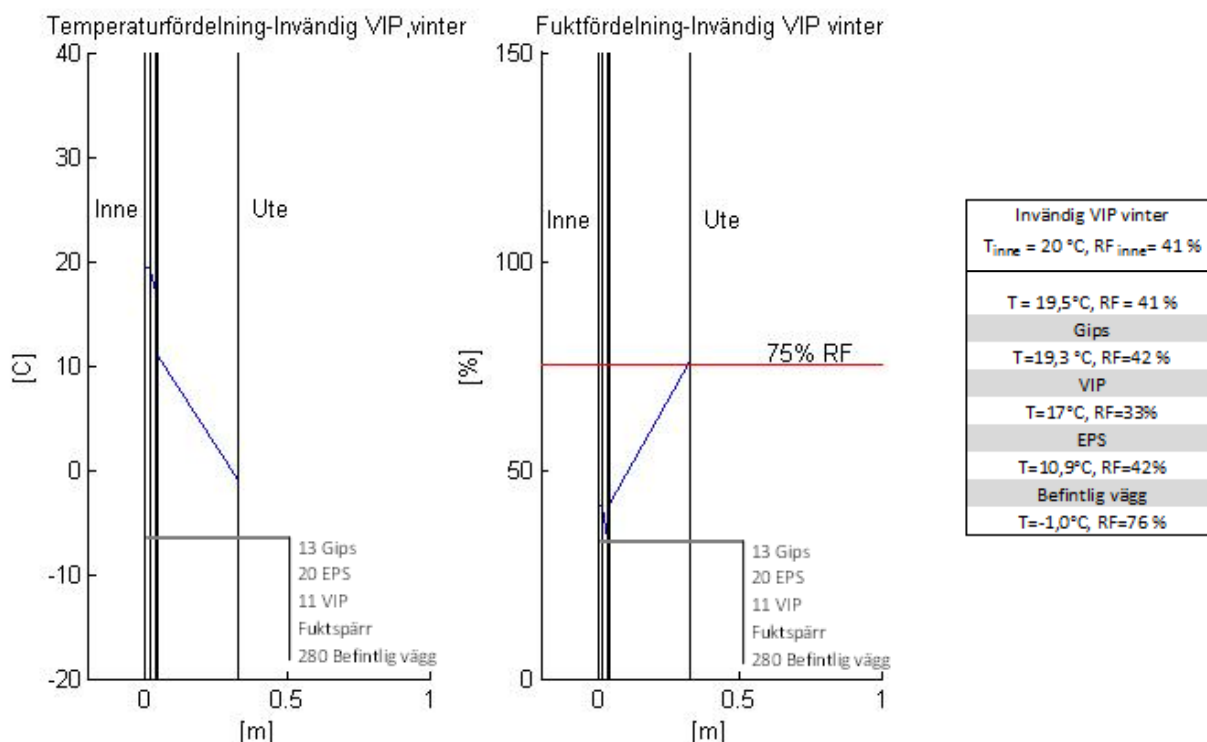
Under en sommar dag blir väggens temperaturfördelning och relativa fuktighet enligt nedan.



Figur 33. Temperaturfördelning och relativ fuktighet för invändig lösning med vakuumpanel vid dimensionerande sommarförhållanden. I tabellen bredvid redovisas aktuella temperaturer och relativa fuktigheter mellan samtliga materiallager.

Illustrationen visar att kritiska nivåer på relativ fuktighet kommer att råda i EPS:en och gipsen.

Figuren nedan redovisar hur temperaturfördelningen och den relativa fuktigheten är i väggen under dimensionerande vinterförhållanden.



Figur 34. Temperaturfördelning och relativ fuktighet för invändig lösning med vakuumpanel vid dimensionerande vinterförhållanden. I tabellen bredvid redovisas aktuella temperaturer och relativa fuktigheter mellan samtliga materiallager.

Enligt figuren kommer den relativa fuktigheten i konstruktionen ligga under den kritiska gränsen förutom i de allra yttersta delarna av konstruktionen.

5.3 Sammanställning av beräkningar

För de utvändiga lösningar visas i tabell 8 att det behövs lika mycket EPS som mineralull, detta då de har samma värmekonduktivitet, med avseende på mängden primär isolering. Den totala tjockleken skiljer sig åt. Aerogelen har större värmekonduktivitet men för att skydda denna mot brand krävs det 50 mm mineralull till skillnad mot 30 mm mineralull som behövs för att skydda vakuumpanelerna från punktering samt att täta runt panelerna. Detta är varför det blir ungefär samma tjocklek på aerogelen och vakuumpanelerna för att komma ner i det eftersträvade U-värdet, men totala tjockleken för aerogellösningen blir alltså större då den innehåller mer extra material.

Tabell 8. Isoleringstjocklek och totala tjocklekar för utvärdig tilläggsisolering. Utvärdig tjocklek av isoleringsmaterialet är enbart för det primära isoleringsmaterialet, d.v.s. exklusive annat isoleringsmaterial i konstruktionslösningen såsom EPS eller mineralull som använts för att skydda vakuumpanelerna och aerogelen.

	Mineralull	EPS	Aerogel	Vakuumpaneler
Utvändig tjocklek av isoleringsmaterialet [mm]	79	79	12	10
Total tjocklek för utvärdigtilläggsisolering[mm]	129	99	112	90

I tabell 9 syns tjocklekarna för det eftersträvade U-värdet med de invändiga lösningarna. Av samma anledning som ovan får mineralullen och EPS:en samma tjocklek på grund av att deras värmekonduktivitet är lika stora, men här även samma totala tjocklek. För vakuumpanelerna krävs 20 mm EPS för att skydda denna mot punktering och undvika köldbryggor vilket förklarar varför den totala tjockleken blir lika stor för vakuumpanelerna som för aerogelmattorna som inte har något extra isoleringsmaterial.

Tabell 9. Isoleringstjocklek och totala tjocklekar för invändig tilläggsisolering. Invändig tjocklek av isoleringsmaterialet är enbart för det primära isoleringsmaterialet, d.v.s. exklusive annat isoleringsmaterial i konstruktionslösningen såsom EPS eller mineralull som använts för att skydda vakuumpanelerna och aerogelen.

	Mineralull	EPS	Aerogel	Vakuumpaneler
Invändig tjocklek av isoleringsmaterialet [mm]	77	77	31	11
Total tjocklek för invändig tilläggsisolering [mm]	90	90	44	44

6. Diskussion

Värmekonduktiviteten för isoleringsmaterialen varierar i och med att de olika materialen har olika uppbyggnad. Vakuumpanelerna utnyttjar vakuum i den strukturella uppbyggnaden, vilket bidrar till att panelerna har den lägsta värmekonduktiviteten jämfört med de andra tilläggsisoleringsmaterialen. Skulle panelen bli punkterad skulle ändå en relativt låg värmekonduktivitet behållas om jämförelse görs mot mineralull och EPS, expanderad polystyren. Mineralull har en hög värmekonduktivitet i jämförelse med aerogelmattorna och vakuumpaneler, men har samma värde som EPS. Att EPS ändå övervägs att användas som en tilläggsisolering kan bero på andra faktorer som att det har en låg densitet och har därigenom låg vikt. Den påverkas även i liten grad av fukt då den har slutna porer och högre ånggenomgångmotstånd än mineralull. Men ses endast till vilken isolerande förmåga materialet har skulle EPS inte kunna ersätta mineralull som tilläggsisolering av väggar då deras värmekonduktivitet inte skiljer sig åt något nämnvärt.

Aerogelmattan har lägre värmekonduktivitet än mineralull, EPS och likaså en punkterad vakuumpanel och har en fördel att den kan garantera en bibehållen värmekonduktivitet även om den skulle penetreras av exempelvis av en spik eller dylikt. Vakuumpanelen är på så sätt ett mer känsligt material, men har ändå en god konduktivitet vid punkterat tillstånd.

Värmekonduktivitet är det som påverkar vilken tjocklek av materialet som behövs för att åstadkomma det eftersträvade U-värdet, vakuumpanelernas låga värde på dess värmekonduktivitet är alltså till stor fördel för att få ner tjockleken på tilläggsisoleringen.

Den totala ökningen av vägg tjockleken måste för vissa byggnader begränsas för att inte förlora för mycket boyta vid invändiga lösningarna eller behöva flytta ut fönster vid utvändiga lösningar. Detta gör att det är fördelaktigt att i så stor utsträckning som möjligt minska den totala tjockleken för tilläggsisoleringen. Mineralull och EPS är de material som kräver större dimensioner för att klara av samma krav för U-värde, jämfört med både aerogelmattor och vakuumpaneler med lägre värmekonduktiviteter. Övriga delar kan dock i konstruktionslösningen bidra till att den totala tjockleken för hela tilläggsisoleringen ökar. Att ha i åtanke vid val av isoleringsmaterial bör inte alltid handla om att använda det materialet med lägst värmekonduktivitet för att då tro att minst mängd isoleringsmaterial kan användas. Enligt lösningarna som presenteras i kapitel 5 *Tekniska lösningar för tilläggsisolering av befintlig byggnad* kommer den totala tjockleken för de invändiga lösningarna att vara lika stor för både aerogelen och vakuumpanelerna, även fast de har olika värmekonduktiviteter. Detta är då på grund av att vakuumpanelerna enligt den konstruktionslösning som tagits fram behöver 20 mm EPS för att skydda den mot punktering och även att se till att det blir tät runt skarvar. Byggnaden kommer alltså få samma U-värde efter tilläggsisoleringen och samma tjocklek för båda lösningarna fastän vakuumpanelerna har en lägre värmekonduktivitet. Således blir det andra faktorer såsom brand, fukt och pris på material som kan avgöra för vilken lösning som väljs.

En annan anledning till att tjocklekarna i de lösningsförslag som tagits fram skiljer sig åt kan vara att det finns fler beprövade modeller av EPS. Det finns system av EPS som är beprövade ur brandsynpunkt och brandkonsulter har arbetat med detta material under en längre period

jämfört med vakuumpaneler och aerogelmattor. De lösningsförslag som togs upp för dessa två material har potentiella förbättringsmöjligheter. Kombinationen av material som är placerade runt aerogelmattor och vakuumpaneler, för att skydda mot brand respektive punktering, går säkert vid mer vana med materialet att förbättras.

Med hänsyn till den låga brandklassen som EPS innehar kan det betyda att det är bättre att använda mineralullen som tilläggsisolering då totala tjockleken vid konstruktionslösningen blir lika stor för både båda materialen då de har samma värmekonduktivitet. Vid användning av EPS skall en brandingenjör tas kontakt med för att se till att vald mängd gips är nog för att skydda materialet mot brand, eller så måste lösningen testas i SP Fire 105.

Boyttan påverkas inte vid utvändiga lösningar på samma vis som vid invändiga. Detta talar för att utvändiga är att föredra. Totaltjockleken för tilläggsisoleringen på insidan kan ha större betydelse än för den på utsidan då det blir direkta ekonomiska förluster vid förlust av golvyta. På en fasad kan det vara svårare att uppmärksamma väggens förändring än vad det är när det sker i ett rum. Beräkningarna visar att för invändiga lösningar så kan de nya materialen vakuumpaneler och aerogelmattor reducera tjockleken med drygt hälften gentemot mineralull och således även EPS, vilket är positivt. Samtliga totaltjocklekar för tilläggsisoleringen är större gentemot de invändiga på grund av att konstruktionslösningarna är mer komplexa vid de utvändiga lösningarna. Exempelvis har ungefär samma mängd vakuumpanel används för både invändig som utvändig lösning men den totala tilläggsisoleringen har dubblats eftersom luftspalt och fasad tillkommer gentemot enbart ytskikt på insidan. För de utvändiga lösningarna är differensen nästan lika stor mellan vakuumpanel och mineralull som den är för de invändiga lösningarna med drygt fyra centimeter i båda fallen, men i relation till invändiga totaltjockleken krävs en fördubbling av vakuumpanellösningen för att komma upp i mineralullens dimensioner. För samtliga utvändiga lösningar ligger dock tjocklekarna närmare varandra då totaltjocklekarna har ökat.

Installationen är ganska snarlik för alla material förutom vakuumpanelen då den måste måttbeställas och inte får punkteras, de andra materialen kan som nämnts tidigare skäras till på plats och är inte speciellt känsliga för omilt hanterande. Då vakuumpanelerna ska måttbeställas kan de inte sättas upp var som helst på en vägg, detta är något som är en nackdel för att det kan leda till ett långsammare arbetsskede. Till skillnad från de andra materialen så är vakuumpanelerna beroende av att skyddas från att förstöras efter montering, då de försämras vid penetrering. Det faktum att aerogelen dammar är något som måste tas i åtanke då de som arbetar med materialet måste ha på sig skyddsutrustning för att undvika obehag.

Vakuumpanelernas livslängd ligger mellan 25 och 40 år, det kan ses som ett problem då en isolering bör förväntas behålla stora delar av sin effektivitet längre än 25 år. Det kan anses tillräckligt för ett kylskåp, där vakuumpaneler först började användas, då deras livslängd är betydligt kortare än livslängden för en byggnad. De andra materialens livslängd ligger på en mera rimliga nivå där aerogelmattor har en livslängd på 60 år, mineralull 100 år och EPS som har samma livslängd som byggnaden själv.

6.1 Hur lösningsförslagen klarar fuktkraven

Att ha i åtanke är att till exempel den utvändiga EPS-lösningen är dålig ur fuktsynpunkt, se Kapitel 3.1 *Fukt- och temperaturbetydelse vid tilläggsisolering*. Detta då det är en enstegstättad lösning där fuktproblem lättare kan uppstå. Regn som slår mot fasaden har ingen möjlighet att transporteras bort i en luftspalt och transporteras genom kapillärsugning istället in i fasaden där fuktskador kan uppstå. Detta är ett exempel där fuktkraven och brandkraven direkt motarbetar varandra. Om inte putsen sätts upp direkt på EPS-skivan, expanderade polystyrenen, så är denna blottad för brand, men att den är installerad direkt på EPS-skivan innebär att fukten kommer ha problem att torka ut. De lösningar som försetts med en luftspalt bör klara fuktkraven med hänsyn till slagregn, i alla fall för just det väggsegment som beräkningarna behandlar.

Då en homogen vägg har utvärderas är det värt att påpeka att det kan vara svårt att få fuktspärren att fungera som den ska vid anslutningar till innerväggar där de invändiga lösningarna presenteras. Noggrann detaljutformning krävs för att fuktspärrens täta kontinuerliga skikt ska bestå. Med andra ord finns det en risk att fukt går ut i kallare delar av konstruktionen om skarvar uppstår. Fuktspärren visar i beräkningarna att fuktproblem inte uppstår i den befintliga väggen när tilläggsisoleringen sker invändigt utan att materialen som hamnar innanför denna utsätts för höga relativa fuktigheter. Detta visar sig dock inte medföra problem då isoleringsmaterialen EPS och mineralull klarar detta, vidare studier krävs på vakuumpaneler och aerogelmattor för att se om de klarar att överskrida gränsen som Boverket satt på 75 % relativ fuktighet. Mögelpåväxt på även fuktbeständiga material kan dock alltid inträffa och bör noggrant utredas. Hur fukten också påverkar de andra materialen som används i lösningen, ytskikt och eventuella reglar, måste även dessa utredas vidare. Under beräkningarna beträffande de utvändiga lösningarna användes ingen fuktspärr på insidan av konstruktionen. Detta resulterade i att den befintliga konstruktionen under sommarfallen uppnår kritiska fukthalter. Om en fuktspärr däremot redan funnits i den befintliga väggen hade fuktfördelningen genom väggen fått ett annat utseende, fukten hade stannat på insidan i större utsträckning och lägre fukthalter hade uppnåtts i den befintliga konstruktionen.

För den befintliga väggen som innehåller betong är det också mycket viktigt att göra noggranna beräkningar så att temperaturen i konstruktionen inte blir för låg samtidigt som det finns mycket fukt. Med invändig isolering blir den befintliga väggen kall och under sådana förhållanden med mycket fukt som samlas i konstruktionen kan det finnas risk för frostsprängning.

6.2 Hur lösningsförslagen klarar brandkraven

För både invändig och utvändigt tilläggsisolering så kan mängden av brännbart isoleringsmaterial vara fördelaktig att minska, sett ur brandsynpunkt. EPS, expanderad polystyren, som är brännbart är ett material med en låg brandklass och därigenom eftersträvas att används i begränsad mängd. Värmekonduktivitet för EPS gör ändå att tjockleken som krävs för det eftersträvalda U-värdet är bland de tjockare i beräkningarna. Detta jämfört med aerogelmattorna som även de är brännbara, men har en mindre tjocklek och högre brandklass vilket då är positivt.

Ur brandteknisk synpunkt lämpar sig invändig tilläggsisolering bättre än utvändig. För en byggnad i byggnadsklass Br2 ställs samma krav på det invändiga ytskiktet som det utvändiga. Skillnaden uppstår då byggnadsklass Br1 är aktuell, där ställs högre krav på de utvändiga ytskikten, se kapitel 3.2.2 *Byggnadsklassens påverkan av brandklasser*. En annan fördel med invändig tilläggsisolering är att vid eventuell brand så hålls denna inom brandcellen, rummet eller lägenheten. En brand på fasaden kan spridas över större yta, om denna inte delas in i brandceller.

Vilken typ av tilläggsisolering som går att använda ur brandsynpunkt har med att göra vilken verksamhet som verkar i lokalen och utformningen av det befintliga huset. Det är vad som sedan avgör vilken byggnadsklass som är aktuell att dimensionera efter. I lösningsförslaget har det antagits att byggnaden har Br1 för att ge en uppfattning om vilken brandklass som ytskiktet skulle dimensioneras efter. Tjockleken på skyddslagret av gips och mineralull har sedan konsulterats med Per Thuresson från SP. Det är dock inte helt klart att byggnaden har byggnadsklass Br1, utan det är ett generaliserat antagande. Det gör att byggnadens byggnadsklass måste fastställas för att kunna uppfylla brandkraven.

För Br0 skall det genomföras grundligare analyser om risker, vilket kvalificerar sig för en brandingenjör att avgöra hur materialkombinationerna bör se ut. I byggnadsklass Br1, Br2 och Br3 är det möjligt enligt de rekommendationer som finns att tillämpa samtliga de isoleringsmaterialen som har granskats i denna rapport, beroende på hur utformningen ser ut. EPS, som har en lägre klass än D-s2,d0, kan dock inte användas som ytskikt för yttervägg. För vakuumpaneler och mineralull som har brandklass A1, är det inget problem enligt de regler som finns i BBR för Br1, Br2 och Br3. För EPS och aerogel, vilka är brännbara material, kan det vara mer problematiskt för byggnader som är klassade i Br1. Det handlar för de två materialen att kunna kombinera med obrännbara material enligt de rekommendationer som finns och sedan kunna bedöma om kombinationen uppfyller kraven. För att bedöma detta ska antingen en brandingenjör kontrollera lösningsförslaget eller att den genomgår SP Fire 105.

SP Fire 105 är något som BBR rekommenderar som test för att kontrollera att väggkonstruktioner klarar de krav som de har ställt för ytterväggar. Huruvida det är tillämpligt för tilläggsisolering är diskuterbart. Det är den som ska uppföra bygganden som måste beställa kontrollen av ett väggelement och även denna som står för kostnaden av testet. Går det på annat sätt att bevisa att kombinationen av material uppfyller de krav som BBR föreskriver kommer antagligen beställaren att ta den väggen för att få använda materialkombinationen, exempelvis kan en brandingenjör undersöka och godkänna kombinationen. För tilläggsisolering så är varje ursprunglig vägg unik och därigenom måste ett test för varje vägg göras av SP, vilket inte är troligt. Därigenom bör de lösningar som tas fram som innehåller material med lägre brandklass än A2-s1,d0 kontrolleras av en brandingenjör, för bedömning om de håller de krav som finns i BBR.

För de lösningar som har tagits fram går det att förbättra ut brandsynpunkt genom att se över materialvalet. Den invändiga lösningen av vakuumpaneler skyddas av EPS, som rekommenderades för att förhindra punktering, är något som är negativt ur brandsynpunkt och kan istället övervägas att bytas till mineralull med samma värmekonduktivitet och därmed

inte ökar på tjockleken av tilläggsisoleringslösningen. Detta skulle innebära att det inte tillförs något material i tilläggsisoleringen som har en brandklass som är sämre än A2 och därigenom så har tilläggsisoleringen nog goda egenskaper för att klara byggnadsklass Br1.

6.3 Påverkan av förenklingar i beräkningsmodellen

Då beräkningsmodellen är förenklad är det svårt att avgöra huruvida lösningarna är lämpade till användning då de utförda beräkningarna inte tar i åtanke köldbryggor, anslutning mellan vägg och till exempel dörrar och fönster. Detta gör att de områden där riskzoner för fukt vanligtvis uppstår inte kontrolleras, det leder till att modellen inte är fullgod att använda med avseende på fukt.

Det faktum att den väggen som studeras bara räknas som ett homogent skikt är också något som bidrar till ett mindre exakt beräkningsresultat då det inte går att se i vilket skikt av väggen som faktiskt kan drabbas av eventuella fuktproblem. Vid tillämpning av beräkningarna bör de ingående parametrarna angående värmekonduktivitet och ånggenomsläpplighet hos den befintliga konstruktionen noggrant undersökas om beräkningsmodellen ska ge ett rättvisat resultat på temperatur- och fuktfördelningen genom hela konstruktionen efter en tilläggsisolering.

Att poängtera är att till en början användes två väggar vars fukt- och värmeledningsegenskaper sammanvägdes vilket resulterade i en slags godtycklig vägg. Beräkningsmodellen ställdes upp för denna godtyckliga vägg, och därefter resonerades fram att sammanvägningen inte återspeglade ett rättvist resultat. Den befintliga konstruktionen ersattes därefter med en av dessa två väggar. En mer korrekt beräkningsmodell skulle självklart ta hänsyn till detta och då plotta exakta temperatur- och fuktfördelningen genom även den befintliga konstruktionen vilket skulle kunna komma att ändra resultatet om kritiska nivåer uppstod mellan de materiallagren i det studerade sandwichelementet. Dock skedde olyckligtvis justeringen i ett för sent skede i arbetet.

Ånghalten inomhus beräknas som ånghalten utomhus adderat med ett fuktillskott. Luftomsättningen inomhus kan komma att påverka ånghalten i byggnaden och reducera den något, och detta har inte tagits hänsyn till i beräkningarna. Den relativa fuktigheten som beräknas både inomhus och utomhus under både sommar- och vinterfallen är dock rimlig i jämförelse med litteraturen.

Beräkningsmodellen är också förenklad när det gäller ånggenomsläpplighet för vissa material då den varierar med vilken relativ fuktighet som är rådande för aktuellt skikt vilket skulle kräva mer kraftfulla program för att beräkna.

Att köldbryggor inte tas i åtanke är något som har en potentiellt stor inverkan på resultatet för vissa av lösningarna, lösningarna med vakuumpanelerna är ett exempel på dessa då panelerna inte kan installeras utan att det blir ett mellanrum mellan två paneler, dessa köldbryggor är något som bör tas med i beräkningarna för att få en bättre och mer rättvisande modell när det gäller att ta fram ett U-värde för en hel vägg.

Standarddimensioner tas inte alltid i åtanke vid beräkningar, detta är något som kan ses som en stor nackdel och om vidare studier skall genomföras är det något som är klart nödvändigt att ta med i beräkningarna.

Viktigt att ha i åtanke är att utförda beräkningar endast är gjorda för en sommarmånad samt en vintermånad och med dessa har ett medelvärde på temperatur och relativ fuktighet använts. Om beräkningsunderlaget ska kunna tillämpas bör flera månader undersökas för att få mer exakta resultat för den mest kritiska månaden. Även extremtemperatur bör undersökas under månaderna och inte bara ett medelvärde.

Beräkningsmodellen bortser också från värme- och fuktmotståndet för fasaden och luftspalten vilket annars bör finnas med i modellen det också. Att det råder utomhusförhållanden i luftspalten är således en förenkling som annars bör tas med i beräkningarna. Även uttorkningsmöjligheter bör undersökas närmare för de fall där fukt uppstår för att se hur länge fukten stannar i väggen och vilken påverkan det då ger på exempelvis mögeltillväxt.

7 Slutsats

För ombyggnation av byggnader ställer Boverkets byggregler krav för U-värde på 0,18 W/(m²*K), vilket tas hänsyn till genom att reglera tjockleken av isoleringsmaterialet. Det är värmekonduktiviteten hos materialet som avgör tjockleken för att uppfylla U-värdet. Vakuumpaneler har den lägsta konduktiviteten och därmed mest fördelaktiga, följt av aerogelmattor. EPS och mineralull har i utförda beräkningar samma värde. För de invändiga lösningarna resulterar det i mindre totaltjocklek för tilläggsisoleringen för vakuumpaneler och aerogelmattor, jämfört med EPS och mineralull. De utvändiga lösningarna är mer komplexa och differensen mellan dem är mindre procentuellt sett.

Boverkets byggregler ställer krav på fuktförhållanden i väggar, för väggar som saknar dokumenterade fuktegenskaper skall inte den relativa fuktigheten överstiga 75 %. För att möta de krav som finns för fukten rekommenderas en ordentlig undersökning av den befintliga byggnadens ingående material göras. För de utvändiga lösningarna överstigs kraven på relativ fuktighet i den befintliga konstruktionen under sommarmånaderna, vilket mest troligt beror på att ingen fuktspärr finns på insidan av den befintliga konstruktionen. På grund av förenklade beräkningar kan ingen av lösningarna bekräftas eller dementeras om de klarar fuktkraven som ställs av Boverkets byggregler. När det gäller att uppnå uppställda fuktkrav är det inte bara ingående materialegenskaper som har betydelse, utan mer relevans i sammanhanget kan vara konstruktionens sammansättning, detaljutformning, utförande och om det till exempel finns fuktspärr i den befintliga konstruktionen eller inte.

För att kunna kontrollera om lösningsförslagen uppfyller kraven för brand, som ställs av Boverkets byggregler, behövs först byggnadsklassen för byggnaden fastställas. Den avgörande materialegenskapen för materialet är om det är brännbart, vilket tas hänsyn till när materialet brandklassas. Ett brännbart material går att använda som tilläggsisolering om den avskiljs från brand genom kombination med obrännbara material. Gips har använts i de invändiga lösningarna för att skydda materialen och puts har använts till den utvändiga EPS-lösningen. Mineralull, som är brandklassat A1 eller A2, används för att skydda aerogelmattan vid den utvändiga lösningen. En brandkunnig bör se över lösningarna för aerogelmattorna och EPS-skivorna oavsett byggnadsklass, då materialens brandklasser är lägre än A2 och därför brännbara. För vakuumpanelerna, som är klassat A1 och är därför obrännbart, klarar både invändig och utvändigt lösning kraven för Br1, Br2 och Br3. Byts EPS-skivan, som använts för att skydda vakuumpanelen, till mineralull i den invändiga vakuumpanelslösningen klarar lösningarna Boverkets byggregler utan konsultering med brandexpert då mineralullen är klassad som obrännbar. För Br0 skall samtliga lösningar ses över av brandkunniga.

Aerogelmattor och EPS går båda att skära till på byggplatsen, vilket betyder att de liknar mineralull i det avseendet. Vakuumpaneler måste måttbeställas och går inte att justeras vid installation. De kan även punkteras under och efter installation, vilket försämrar dess värmekonduktivitet. Vakuumpanelerna måste därför skyddas av ett materialskikt som skall hindra penetrering av exempelvis spikar och dylikt.

Vakuumpaneler och aerogelmattor är nya material som inte är lika väletablerade och testade som EPS och mineralull, förbättringsmöjligheter med hänsyn till brand för aerogelmattor och att skydda vakuumpaneler mot punktering kan antas.

Litteraturförteckning

Agstrand, A. & Odby, L., 2011. *Studie av vakuumisoleringspaneler i ytterväggskonstruktioner*, Göteborg: Chalmers.

Andersson, C. o.a., 2009. *Att tilläggsisolera hus - fakta, fördelar och fallgropar*, Stockholm: Kommunförbundet Stockholms Län.

Andersson, J., 2014. *Mögel relaterat ämnen som hus forskning hälsa*, <http://www.lfs-web.se/mogel.htm>, (2014-05-18): LFS - Ljungby Fuktkontroll & Sanering AB.

Andersson, M. & Cederholm, A., 2009. *Alternativa byggsystem för att minska transmissionsförlusterna på miljonprogrammets byggnader*, Växjö: Examensarbete hos Växjö universitet.

Arndt, S., 2002. *Lösull- enkel och effektiv isolering*, Råd och Rön, nr 8: <http://www.sitac.se/download/Press%20om%20Sitac/R%C3%A5d%20&%20R%C3%B6n%20p%C3%A5%20n%C3%A4t%20-%20L%C3%B6sull,%20isolering.htm>, (2014-05-06).

Baetens, R. o.a., 2010. *Vacuum Insulation Panels for Building Applications: A Review and Beyond*, New York: Elsevier B.V.

Berge, A. & Johansson, P., 2012. *Literature Review of High Performance Thermal Insulation*, Gothenburg: Chalmers University of Technology.

BFS 2011:26, 2011. *Boverkets byggregler*, Karlskrona: Boverket.

Binz, A. o.a., 2005. *Vacuum Insulation in the Building Sector - Systems and Applications*, Bern: Dr Eicher & Pauli AG.

Björk, C., Kallstenius, P. & Reppen, L., 2003. *Så byggdes husen 1880-1980*. 5:e red. Stockholm: Formas förlag.

Boverket, 2009. *God bebyggd miljö i kommunerna – Resultat från miljömålsenkäten 2006-2009*, Karlskrona: Boverket.

Boverket, 2013. *Fukt i byggnader*, Karlskrona: <http://www.boverket.se/Bygga--forvalta/Bygga-andra-och-underhalla/Inomhusmiljo/Fukt-i-byggnader/>, (2014-05-07).

Burström, P.-G., 2007. *Byggnadsmaterial: Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*, Andra upplagan, Lund: Studentlitteratur.

Bygg-Ole, u.å.. *Övriga byggmaterial*, <http://www.xlbygg.se/byggole/Vara-varuhus/Om-Bygg-Ole-Nacka/Sasongspriser-alla-produkter2/Ovrigt-byggmaterial/>, (2014-05-17): XL-BYGG.

Byman, K. & Jernelius, S., 2013. *Miljöprogram för miljonprogrammet- styrmedel för energieffektiv renovering av flerbostadshus*, Stockholm: Naturskyddsföreningen.

Bårtås, L., 2011. *Nya effektiva material för miljön*, 20 augusti, <http://www.byggahus.se/bygga/nya-effektiva-material-for-miljon> : (2014-02-20).

- Cellplaster.nu, 2010. *Klassificering av cellplaster*, <http://cellplaster.nu/klassificering-cellplast/>: (2014-02-20).
- Ciruela Pérez, O., 2012. *The behavior of aerogel blankets as insulation material in external walls at high temperatures*, Gothenburg: Chalmers University of Technology.
- Clase, M., 2010. *Inventering och utvärdering av högpresterande isolering*, Göteborg: Skanska Sverige AB.
- Energimyndigheten, 2012. *Ditt hus och din uppvärmning*, <http://www.energimyndigheten.se/Hushall/Din-uppvarmning/>, (2014-05-09): Energimyndigheten.
- Energimyndigheten, 2013. *Isolering*, <http://www.energimyndigheten.se/Hushall/Din-uppvarmning/Isolering/>, (2014-05-02): Energimyndigheten.
- EPS-Bygg, 2010. *EPS i grund och mark*, Stockholm: EPS-Bygg.
- EPS-Bygg, u.å.. *Cellplast*, <http://www.plastkemiforetagen.se/sectorgrupper/eps-bygg/cellplast/Pages/default.aspx>, (2014-05-17): EPS-Bygg.
- Fyhr, K. o.a., 2011. *Milparena – Miljonprogrammarena Innovativa åtgärdsförslag för renovering av byggnadsskal och installationer*, Borås: SP Sveriges tekniska forskningsinstitut.
- Gyproc AB, 2008a. *Produktdatablad Gyproc GNE 13 Normal Ergo*, Bålsta: Gyproc AB.
- Gyproc AB, 2008b. *Produktdatablad Gyproc GSE 6 Ytskiva Ergo*, Bålsta: Gyproc AB.
- Hagentoft, C.-E., 2001. *Introduction to Building Physics*, Lund: Studentlitteratur AB.
- Helgar, J., 2013. *Dokumentation*, <http://www.jackon.se/dokumentation>, (2014-05-15): Jackon.
- Isover, u.å.. *Vad är mineralull*, <http://www.isover.se/produkter/vad+%C3%A4r+mineralull-c7->, (2014-05-16): ISOVER AB.
- Johansson, P., 2006. *Kritiskt fuktillstånd för mikrobiell tillväxt på byggmaterial*, Borås: Sveriges tekniska forskningsinstitut.
- Johansson, P., 2012. *Vacuum Insulation Panels in Buildings*, Gothenburg: Chalmers University of Technology.
- Jörnmark, J., u.å.. *miljonprogrammet*, <http://www.ne.se/lang/miljonprogrammet>, (2014-05-13): Nationalencyklopedin.
- Just, A., 2012. *Post-protection Behaviour of Wooden Wall and Floor Structures Completely Filled With Glass Wool*, Borås: SP Sveriges tekniska forskningsinstitut.
- Just, A., Schmid, J. & König, J., 2010. *The effect of insulation on charring of timber frame members*, Stockholm: SP Sveriges tekniska forskningsinstitut.

Nationalencyklopedin, 2014. *Kiseldioxid*, Stockholm: [http://www.ne.se/kiseldioxid#,\(2014-03-04\)](http://www.ne.se/kiseldioxid#,(2014-03-04)).

NCC, u.å.. *Om putsade fasader*, <http://www.ncc.se/sv/OM-NCC/Press-och-media/om-putsade-fasader/>, (2014-05-16): Ncc.

Nilsson, G. & Rönnqvist, H., 2009. *Cellplast och brandskydd – en möjlig kombination?*, Bygg & teknik, nr 6: 41-44.

Nyström, J., 2009. *Om det börjar brinna*, Stockholm: Storstockholms brandförsvär.

Petersson, B.-Å., 2009. *Byggnadens klimatskärm - Fuktsäkerhet, energieffektivitet, beständighet*, Lund: Studentlitteratur.

Plast- & Kemiföretagen, 2007. *EPS i väggar*, Stockholm: EPS-bygg.

Plast- och Kemibranscherna, 1995. *EPS i ytterväggar*. 1 red. Stockholm: Smegraf.

Sanberg, H., 2012. *Swedish innovations - Indian Interpretations*, New Delhi: Embassy of Sweden.

Simmer, H. o.a., 2005. *Study on VIP-components and Panels for Service Life Prediction of VIP in Building Applications (Subtask A)*, u.o.: IEA Energy Conservation in Buildings & Community Systems.

Skanska Sverige AB , 2012. *Praktiska tillämpningar av högpresterande värmeisolering i ombyggnadsprojekt* , Göteborg: Skanska Sverige AB.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, u.å.. *Europeisk brandklassning av material, produkter och konstruktioner*, <http://www.sp.se/sv/index/information/fireclassification/sidor/default.aspx>: (2014-05-02).

SP, 2014. *Klasser för byggprodukters reaktion vid brandpåverkan utom golvbeläggningar, rörisolering och elektriska kablar*, Borås: SP, 2014.

Sundström, B., 2001. *Euroclass i svensk byggnorm - Jämförelse mellan svenska och europeiska brandklasser för byggprodukter*, Borås: SP.

Swedisol, u.å.. *Mineraull - Prestanda & livslängd*, n/a: <http://www.swedisol.se/mineralull-prestanda-livslangd>, (14-05-09).

Tenpierik, M., Cauberg, J. J. & Thorsell, T. I., 2007. *Integrating vacuum insulation panels in building constructions: an integral perspective*, Bingley: Emerald Group Publishing.

ThermiSol, u.å.. *Yttervägg*, <http://www.thermisol.se/produkter/isolering/fragor-och-svar/ytervagg>, (2014-05-16): ThermiSol.

Örtengren-Sikander, E., 1993. *EPS-cellplast som värmeisolering och vindskydd*, Borås: SP.

Bilaga 1 - Indata beräkningar

Indata värme

Dimensionerande innetemperatur	20°C	Antaget värde
Dimensionerande utetemperatur (vinter)	-1,2°C	(Petersson, 2009)
Dimensionerande utetemperatur (sommar)	17,5 °C	(Petersson, 2009)
Krav på U-värde från BBR för ombyggnad	0,18 W/(m ² *K)	(BFS 2011:26, 2011)
U-värde ursprunglig vägg	0,32 W/(m ² *K)	Beräknat värde från vald typvägg, se till exempel bilaga 8
Ytmotstånd värme (utvändigt)	0,04 m ² *K/W	(Hagentoft, 2001)
Ytmotstånd värme (invändigt)	0,13 m ² *K/W	(Hagentoft, 2001)
Tjocklek ursprungsvägg	280 mm	(Björk, et al., 2003)

Kända tjocklekar material

Gips	13 mm	Standarddimension gips
Puts	20 mm	Tjockputs från (Plast- & Kemiföretagen, 2007)
Mineralullsskikt för att skydda vakuumpanelerna	30 mm	Från Malörten-projektet
Mineralullsskikt för att skydda aerogel	50 mm	Uppskattat tillräckligt skyddande skikt enligt brandexpert Per Thureson på SP
Täckande EPS-skikt, invändig VIP-lösning	20 mm	Minsta standarddimension EPS-skivor
Luftspalt	28 mm	Från Malörten-projektet
Fasad (för luftspaltslösningar)	22 mm	Från Malörten-projektet
Betongskikt 1 i sandwichelementet	120 mm	(Björk, et al., 2003)
Skikt med EPS i sandwichelementet	100 mm	(Björk, et al., 2003)
Betongskikt 2 i sandwichelementet	60 mm	(Björk, et al., 2003)

Materialdata värme, använda värmekonduktiviteter

λ-värde mineralull	0,035 W/(m*K)	(Hagentoft, 2001)
λ-värde aerogel	0,014 W/(m*K)	(Skanska Sverige AB , 2012)
λ-värde EPS	0,035 W/(m*K)	(Burstrom, 2007)
λ-värde vakuumpanel	0,007 W/(m*K)	(Fyhr, et al., 2011)

λ -värde gips	0,22 W/(m*K)	(Hagentoft, 2001)
λ -värde puts	1,5 W/(m*K)	(Hagentoft, 2001)
λ -värde betong	1,7 W/(m*K)	(Hagentoft, 2001)

Indata fukt

Dimensionerande fukttillskott	3,5 g/m ³	(Hagentoft, 2001)
Dimensionerande utomhusånghalt (vinter)	3,4 g/m ³	(Hagentoft, 2001)
Dimensionerande utomhusånghalt (sommar)	10,8 g/m ³	(Hagentoft, 2001)
Z-värde ursprungsvägg	1 150 000 s/m	Beräknat värde från vald typvägg

Materialdata fukt, ånggenomsläppligheter

δ_v -värde mineralull	25*10 ⁻⁶ m ² /s	(Hagentoft, 2001)
δ_v -värde aerogel	8,7*10 ⁻⁶ m ² /s	(Ciruela Pérez, 2012)
δ_v -värde EPS	1,15*10 ⁻⁶ m ² /s	(Hagentoft, 2001)
δ_v -värde vakuumpanel	1,25*10 ⁻⁸ m ² /s	(Agstrand & Odby, 2011)
δ_v -värde gips	3*10 ⁻⁶ m ² /s	(Hagentoft, 2001)
δ_v -värde puts	0,5*10 ⁻⁶ m ² /s	(Hagentoft, 2001)
δ_v -värde betong	0,17*10 ⁻⁶ m ² /s	(Hagentoft, 2001)
Z-värde fuktspärr	3*10 ⁹ s/m	(Hagentoft, 2001)

Bilaga 2 - Funktionsfil för beräkning av tjocklek för valt isoleringsmaterial

```
%-----  
% Beräknar den tjocklek som krävs på tilläggsisoleringmaterialet  
% för att uppnå samma U-värde som kravnivån för en ny vägg.  
%  
%   Daniel Rehn 140509  
%   Reviderad av Alexander Liljenhed & Efraim Sandgren 2014-05-17  
%  
%  
%-----  
  
function [dx,Rx,R2,R3] = tjockiso(Rkrav,R0,Rse,Rsi,lamx,lam2,lam3,d2,d3)  
  
R2=d2/lam2; % [W/K] Beräknar värmemotståndet för ett ingående material  
R3=d3/lam3; % [W/K] Beräknar värmemotståndet för ett ingående material  
  
dx=(Rkrav-(R0+R2+R3+Rse+Rsi))*lamx; % [m]Beräknar tjockleken som krävs för att  
%uppnå den tjocklek som krävs ppå valt  
%isoleringmaterial.  
Rx=dx/lamx; % [W/K] %Beräknar isoleringens värmemotstånd  
  
end
```


Bilaga 3 - Funktionsfil för beräkning av temperaturfördelning, utvändiga lösningar

```
%-----  
% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen för de fall då  
% utvärdig tillägsisolering har tillämpats  
%  
% Daniel Rehn 2014-05-13  
%  
%-----  
  
function [T]=tempfordelut(Rse,Rsi,Rx,R0,R2,R3,Te,Ti)  
  
Rtot=Rse+Rsi+Rx+R0+R2+R3;  
  
Tsi= ((Rsi)*Te+(Rse+R2+R3+Rx+R0)*Ti)/Rtot;  
  
T1=((Rsi+R0)*Te+(Rse+R2+R3+Rx)*Ti)/Rtot;  
  
T2=((Rsi+R0+Rx)*Te+(Rse+R2+R3)*Ti)/Rtot;  
  
T3=((Rsi+R0+Rx+R2)*Te+(Rse+R3)*Ti)/Rtot;  
  
Tse=((Rsi+R0+Rx+R2+R3)*Te+(Rse)*Ti)/Rtot;  
  
T=[Tsi T1 T2 T3 Tse];  
end
```

Bilaga 4 - Funktionsfil för beräkning av temperaturfördelning, invändiga lösningar

```
%-----  
% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen för de fall då  
% invändig tillägsisolering har tillämpats  
%  
% Daniel Rehn 2014-05-13  
%  
%-----  
  
function [T]=tempfordelin(Rse,Rsi,Rx,R0,R2,R3,Te,Ti)  
  
Rtot=Rse+Rsi+Rx+R0+R2+R3;  
  
Tsi=((Rsi)*Te+(Rse+R0+R3+Rx+R2)*Ti)/Rtot;  
  
T1=((Rsi+R2)*Te+(Rse+R0+R3+Rx)*Ti)/Rtot;  
  
T2=((Rsi+R2+Rx)*Te+(Rse+R0+R3)*Ti)/Rtot;  
  
T3=((Rsi+R2+Rx+R3)*Te+(Rse+R0)*Ti)/Rtot;  
  
Tse=((Rsi+R2+Rx+R3+R0)*Te+(Rse)*Ti)/Rtot;  
  
T=[Tsi T1 T2 T3 Tse];  
end
```

Bilaga 5 - Funktionsfil för beräkning av fuktfördelning, utvändiga lösningar

```
%-----  
% Funktionsfil som beräknar ånghaltsfördelningen för de fall då  
% utvändig tillägsisolering har tillämpats  
% Daniel Rehn 130514  
%-----  
  
function [V] = fuktfordelut(dx,d2,d3,dex,de2,de3,z0,vi,ve)  
  
Zx=dx/dex;  
Z2=d2/de2;  
Z3=d3/de3;  
  
Ztot=Zx+z0+Z2+Z3;  
  
v1=((z0)*ve+(Z2+Z3+Zx)*vi)/Ztot;  
  
v2=((z0+Zx)*ve+(Z2+Z3)*vi)/Ztot;  
  
v3=((z0+Zx+Z2)*ve+(Z3)*vi)/Ztot;  
  
V=[vi v1 v2 v3 ve];  
  
end
```

Bilaga 6 - Funktionsfil för beräkning av fuktfördelning, invändiga lösningar

```
%-----  
% Funktionsfil som beräknar fuktfördelningen för de fall då  
% invändig tillägsisolering har tillämpats  
%  
% Daniel Rehn 2014-05-13  
%-----  
  
function [V] = fuktfordelin(dx,d2,d3,dex,de2,de3,z0,vi,ve)  
  
zfilm=3*10^6; %[s/m] Fuktmotstånd taget för plastfilm från  
% "Introduction to Building Physics"  
Zx=dx/dex; %[s/m]  
Z2=d2/de2; %[s/m]  
Z3=d3/de3; %[s/m]  
  
Ztot=Zx+z0+Z2+Z3+zfilm; %[s/m]  
  
v1=((Z2)*ve+(z0+Z3+Zx+zfilm)*vi)/Ztot;  
  
v2=((Z2+Zx+zfilm)*ve+(Z3+z0)*vi)/Ztot;  
  
v3=((Z2+Zx+Z3+zfilm)*ve+(z0)*vi)/Ztot;  
  
V=[vi v1 v2 v3 ve]; % [g/m^3]  
end
```

Bilaga 7 - Funktionsfil för beräkning av relativ fuktighet

```
%-----  
%Funktionsfil som beräknar den relativa  
%fuktighetsfördelningen i väggen  
%  
% Daniel Rehn 2014-05-13  
%-----  
  
function [RH,vs] = relativfukt(V,T)  
  
for i=1:5  
    Ti=T(i);  
  
    if Ti>=0  
        a=288.68;  
        b=1.098;  
        n=8.02;  
        Vs(i)=a*((b+(Ti/100)).^n)/(461.4*(Ti+273.15))*10^3;  
  
        RH(i)=V(i)/Vs(i)*100;  
    else  
        a=4.689;  
        b=1.486;  
        n=12.3;  
        Vs(i)=a*((b+(Ti/100)).^n)/(461.4*(Ti+273.15))*10^3;  
  
        RH(i)=V(i)/Vs(i)*100;  
  
    end  
end
```

Bilaga 8 - Fil för beräkning och plottning av mineralullslösningar

```
clc
close all
clear all

%-----
%
% Beräkningar för mineralulls-lösningar.
%
% ALLA MATERIALKONSTANTER HÄMTADE FRÅN "INTRODUCTION TO BUILDING
% PHYSICS", CARL-ERIC HAGENTOFT eller från rapporten
% INNE OCH UTETEMPERATURER HÄMTADE FRÅN FORMELSAMLINGAR FÖR
% BYGGNADSFYSIK, eller från data i rapporten
% KLIMATDATA FRÅN "BYGGNADENS KLIMATSKÄRM", FÖRFATTARE
% FORMLER FÖR BERÄKNINGAR HÄMTADE FRÅN "INTRODUCTION TO BUILDING
% PHYSICS"
%
% Daniel Rehn 14-05-09
% Reviderad av Alexander Liljenhed & Efraim Sandgren 2014-05-17
%-----
%INDATA
Rse=0.04; % [m^2*K/W]
Rsi=0.13; % [m^2*K/W]
Ti=20; % [C] Referenstemperatur inne
Te1=-1.2; % [C] Referenstemperatur GBG vinter ute
Te2=17.5; % [C] Referenstemperatur GBG sommar ute
Ukrav=0.18; % [W/m^2*K] Krav från energimyndigheten gällande U-värdet på väggar vid
ombyggnation
Rkrav=1/Ukrav; % [m^2*K/W] Omvandlar U-värdeskravet till motsvarande värmemotstånd

% Beräknar U-värdet och tjocklek på befintlig vägg
dbtg01=0.120; % [m] tjocklek av första delen betong i sandwichelementet
dEPS0=0.100; % [m] tjocklek av EPS:en i sandwichelementet
dbtg02=0.060; % [m] tjocklek av andra delen betong i sandwichelementet
lambtg0=1.7; % [W/(m*K)] Lambda-värde betong
lamEPS0=0.035; % [W/(m*K)] Lambda-värde EPS

R0=(Rse+Rsi+(dbtg01/lambtg0)+(dbtg02/lambtg0)+(dEPS0/lamEPS0)); % [m^2*K/W]
U0=1/R0; % [W/(m^2*K)]

d0=dbtg01+dEPS0+dbtg02; % [m] Tjocklek på vald standardvägg

%Konstruktionslösning - Utvändig isolering mineralull

lammw1=0.035; % [W/(m*K)] Lambda-värde mineralull

% Funktionsfil som beräknar erforderlig tjocklek för valt isoleringsmaterial
[dmw1U,Rmw1U,R23,R83] = tjockiso(Rkrav,R0,Rse,Rsi,lammw1,1,1,0,0);

%Konstruktionslösning - Invändig isolering mineralull

dgips=0.013; % [m] Tjocklek på gips godtyckligt vald till 60mm
lamgips=0.22; % [W/(m*K)] lambdavärde gips
```

```
% Funktionsfil som beräknar erforderlig tjocklek för valt isoleringsmaterial
[dmwI, RmwI, Rgips, R83] = tjockiso(Rkrav, R0, Rse, Rsi, lammwI, lamgips, l, dgips, 0);
```

```
%Konstruktionslösning Utvändig mineralull -Tempfördelning över väggen, vinter
```

```
% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen över aktuell vägg
[Tp31]=tempfordelut(Rse, Rsi, RmwIU, R0, R23, R83, Te1, Ti);
```

```
Tp31=[Tp31 Te1 Te1];
```

```
dluft=0.028 ;%[m] Tjocklek luftspält
```

```
dfasad=0.022 ;%[m] Tjocklek fasad
```

```
%Skapar en vektor med punkter mellan lagren för att kunna plotta
```

```
Tpx3=[0 d0 d0+dmwIU d0+dmwIU d0+dmwIU d0+dmwIU+dluft d0+dmwIU+dluft+dfasad];
```

```
%Plottar temperaturfördelningen över väggen
```

```
figure(1)
subplot(1,2,1)
hold on
plot(Tpx3, Tp31)
plot([0 0], [-20 40], 'k')
plot([d0 d0], [-20 40], 'k')
plot([d0+dmwIU d0+dmwIU], [-20 40], 'k')
plot([d0+dmwIU d0+dmwIU], [-20 40], 'k')
plot([d0+dmwIU+dluft d0+dmwIU+dluft], [-20 400], 'k')
plot([d0+dmwIU+dluft+dfasad d0+dmwIU+dluft+dfasad], [-20 400], 'k')
axis([-0.2 1 -20 40])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [C] ')
title('Temperaturfördelning-Utvändig mineralull, vinter')
text(-0.175, 25, 'Inne')
text(d0+dmwIU+0.05, 25, 'Ute')
```

```
%Konstruktionslösning Utvändig mineralull- Tempfördelning över väggen, sommar
```

```
% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen över aktuell vägg
[Tp32]=tempfordelut(Rse, Rsi, RmwIU, R0, R23, R83, Te2, Ti);
```

```
%Lägger till temperaturer för luftspält och fasad i temperaturvektorn
```

```
Tp32=[Tp32 Te2 Te2];
```

```
%Plottar temperaturfördelningen över väggen
```

```
figure(2)
subplot(1,2,1)
hold on
plot(Tpx3, Tp32)
plot([0 0], [-20 40], 'k')
plot([d0 d0], [-20 40], 'k')
plot([d0+dmwIU d0+dmwIU], [-20 40], 'k')
plot([d0+dmwIU d0+dmwIU], [-20 40], 'k')
plot([d0+dmwIU+dluft d0+dmwIU+dluft], [-20 400], 'k')
plot([d0+dmwIU+dluft+dfasad d0+dmwIU+dluft+dfasad], [-20 400], 'k')
axis([-0.2 1 -20 40])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [C] ')
title('Temperaturfördelning-Utvändig mineralull, sommar')
```

```

text(-0.175,25, 'Inne')
text(d0+dmwIU+dluft+dfasad+0.05,25,'Ute')

%Konstruktionslösning Invändig mineralull -temperaturfördelning över väggen,
%vinter

% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen över aktuell vägg
[Tp61]=tempfordelin(Rse,Rsi,RmwI,R0,Rgips,R83,Te1,Ti);
% Skapar en vektor med punkter mellan lagren
Tpx6=[0 dgips dgips+dmwI dgips+dmwI dgips+dmwI+d0];

%Plottar temperaturfördelningen över väggen
figure(3)
subplot(1,2,1)
hold on
plot(Tpx6,Tp61)
plot([0 0],[-20 40],'k')
plot([dgips dgips],[-20 40],'k')
plot([dgips+dmwI dgips+dmwI],[-20 40],'k')
plot([dgips+dmwI dgips+dmwI],[-20 40],'k')
plot([dgips+dmwI+d0 dgips+dmwI+d0],[-20 40],'k')
axis([-0.2 1 -20 40])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [C] ')
title('Temperaturfördelning-Invändig mineralull,vinter')
text(-0.175,25, 'Inne')
text(dgips+dmwI+d0+0.05,25, 'Ute')

%Konstruktionslösning Invändig mineralull- temperaturfördelning över väggen,
%sommar

% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen över aktuell vägg
[Tp62]=tempfordelin(Rse,Rsi,RmwI,R0,Rgips,R83,Te2,Ti);

%Plottar temperaturfördelningen över väggen
figure(4)
subplot(1,2,1)
hold on
plot(Tpx6,Tp62)
plot([0 0],[-20 40],'k')
plot([dgips dgips],[-20 40],'k')
plot([dgips+dmwI dgips+dmwI],[-20 40],'k')
plot([dgips+dmwI+ dgips+dmwI],[-20 40],'k')
plot([dgips+dmwI+d0 dgips+dmwI+d0],[-20 40],'k')
axis([-0.2 1 -20 40])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [C] ')
title('Temperaturfördelning-Invändig mineralull,sommar')
text(-0.175,25, 'Inne')
text(dgips+dmwI+d0+0.05,25, 'Ute')

```



```

%-----
%FUKT
%-----

ve1=3.4;      % [g/m^3] Ånghalt i GBG, Februari som var vald till dimensionerande förhållande
gällande temp
ve2=10.8;    % [g/m^3] Ånghalt i GBG, Juli som var vald till dimensionerande förhållande
gällande temp

vtillskott=3.5; % [g/m^3] Fukttillskott
v1=vtillskott+ve1; % [g/m^3] Ånghalt inomhus under vinter
v2=vtillskott+ve2; % [g/m^3] Ånghalt inomhus under sommar

debtg0 = 0.17* 10^-6; %[s/m] Ångmotstånd betong i ursprunglig vägg
deEPS0 = 1.15* 10^-6; %[s/m] Ångmotstånd EPS i ursprunglig vägg
Z0=(debtg01/debtg0)+(debtg02/debtg0)+(deEPS0/deEPS0); %[s/m] Ångmotstånd ursprunglig vägg

%Konstruktionslösning Utvändig mineralull- Fuktfordelning Utvändig mineralull,
%vinter

%INDATA
demw1=25*10^-6; % [m^2/s] Från "Introduction to Building Physics"

%Funktionsfil som beräknar ånghaltsfordelningen över väggen
[V31] = fuktfordelut(dmw1u,0,0,demw1,1,1,Z0,v1,ve1);
%Funktionsfil som beräknar hur den relativa fuktigheten förhåller sig över
%väggen
[RH31,Vs31]=relativfukt(V31,Tp31);
%Lägger till punkter för den relativca fuktigheten för luftspalt och fasad
RH31=[RH31 ve1/Vs31(5)*100 ve1/Vs31(5)*100];

%Plottar den relativa fuktfordelningen över väggen
figure(1)
subplot(1,2,2)
hold on
plot(Tpx3,RH31)
plot([0 0],[-200 400],'k')
plot([d0 d0],[-200 400],'k')
plot([d0+dmw1u d0+dmw1u],[-200 400],'k')
plot([d0+dmw1u d0+dmw1u],[-200 400],'k')
plot([d0+dmw1u+dluft d0+dmw1u+dluft],[-200 400],'k')
plot([d0+dmw1u+dluft+dfasad d0+dmw1u+dluft+dfasad],[-200 400],'k')
plot([-50 100], [75 75],'r')
axis([-0.2 1 -50 150])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [%] ')
text(0.6,78, '75% RF')
title('Fuktfordelning-Utvändig mineralull vinter')
text(-0.175,110, 'Inne')
text(d0+dmw1u+dluft+dfasad+0.05,110, 'ute')

%Konstruktionslösning Utvändig mineralull- Fuktfordelning Utvändig mineralull,
%sommar

```

```

%Funktionsfil som beräknar ånghaltsfördelningen över väggen
[V32] = fuktfordelut(dmwlu,0,0,demwl,1,1,Z0,v2,ve2);
%Funktionsfil som beräknar hur den relativa fuktigheten förhåller sig över
%väggen
[RH32,Vs32]=relativfukt(v32,TP32);
%Lägger till punkter för den relativa fuktigheten för luftspalt och fasad
RH32=[RH32 ve2/Vs32(5)*100 ve2/Vs32(5)*100];

%Plottar den relativa fuktfördelningen över väggen
figure(2)
subplot(1,2,2)
hold on
plot(Tpx3,RH32)
plot([0 0],[-200 400],'k')
plot([d0 d0],[-200 400],'k')
plot([d0+dmwlu d0+dmwlu],[-200 400],'k')
plot([d0+dmwlu+dluft d0+dmwlu+dluft],[-200 400],'k')
plot([d0+dmwlu+dluft+dfasad d0+dmwlu+dluft+dfasad],[-200 400],'k')
plot([-50 100], [75 75],'r')
axis([-0.2 1 -50 150])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [%] ')
text(0.6,78, '75% RF')
title('Fuktfördelning-Utvändig mineralull, sommar')
text(-0.175,110, 'Inne')
text(d0+dmwlu+dluft+dfasad+0.05,110, 'Ute')

%Konstruktionslösning Invändig mineralull- Fuktfördelning Invändig mineralull,
%vinter

%INDATA
degips=3*10^-6; %[m^2/s] Från Introduction to Building Physics

%Funktionsfil som beräknar ånghaltsfördelningen över väggen
[V61] = fuktfordelin(dmwli,dgips,0,demwl,degips,1,Z0,v1,ve1);
%Funktionsfil som beräknar hur den relativa fuktigheten förhåller sig över
%väggen
[RH61,Vs61]=relativfukt(v61,TP61);

%Plottar den relativa fuktfördelningen över väggen
figure(3)
subplot(1,2,2)
hold on
plot(Tpx6,RH61)
plot([0 0],[-200 400],'k')
plot([dgips dgips],[-200 400],'k')
plot([dgips+dmwli dgips+dmwli],[-200 400],'k')
plot([dgips+dmwli dgips+dmwli],[-200 400],'k')
plot([dgips+dmwli+d0 dgips+dmwli+d0],[-200 400],'k')
plot([-50 100], [75 75],'r')
axis([-0.2 1 -50 150])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [%] ')
text(0.6,78, '75% RF')
title('Fuktfördelning-Invändig mineralull vinter')
text(-0.175,110, 'Inne')
text(dgips+dmwli+d0+0.05,110, 'Ute')

```

```

%Konstruktionslösning Invändig mineralull- Fuktfordelning Invändig mineralull,
%Sommar

%Funktionsfil som beräknar ånghaltsfördelningen över väggen
[V62] = fuktfordelin(dmwlu,dgips,0,demwl,degips,1,z0,v2,ve2);
%Funktionsfil som beräknar hur den relativa fuktigheten förhåller sig över
%väggen
[RH62,vs62]=relativfukt(v62,Tp62);

%Plottar den relativa fuktfordelningen över väggen
figure(4)
subplot(1,2,2)
hold on
plot(Tpx6,RH62)
plot([0 0],[-200 400],'k')
plot([dgips dgips],[-200 400],'k')
plot([dgips+dmwli dgips+dmwli],[-200 400],'k')
plot([dgips+dmwli dgips+dmwli],[-200 400],'k')
plot([dgips+dmwli+d0 dgips+dmwli+d0],[-200 400],'k')
plot([-50 100], [75 75],'r')
axis([-0.2 1 -50 150])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [%] ')
text(0.6,78, '75% RF')
title('Fuktfordelning-Invändig mineralull, sommar')
text(-0.175,110, 'Inne')
text(dgips+dmwli+d0+0.05,110, 'Ute')

```

Bilaga 9 - Fil för beräkning och plottning av lösningar EPS-lösningar

```
clc
close all
clear all

%-----
%   Beräkningar för EPS-lösningar.
%
%   ALLA MATERIALKONSTANTER HÄMTADE FRÅN "INTRODUCTION TO BUILDING
%   PHYSICS", CARL-ERIC HAGENTOFT
%   INNE OCH UTETEMPERATURER HÄMTADE FRÅN FORMELSAMLINGAR FÖR
%   BYGGNADSFYSIK, eller från data i rapporten
%   KLIMATDATA FRÅN "BYGGNADENS KLIMATSKÄRM", FÖRFATTARE
%   FORMLER FÖR BERÄKNINGAR HÄMTADE FRÅN "INTRODUCTION TO BUILDING
%   PHYSICS"
%
%   Daniel Rehn 14-05-09
%   Reviderad av Alexander Liljenhed & Efraim Sandgren 2014-05-17
%-----

%INDATA/RANDVILLKOR
Rse=0.04; % [m^2*K/W]
Rsi=0.13; %[m^2*K/W]
Ti=20; % [C] Referenstemperatur inne
Te1=-1.2; % [C] Referenstemperatur GBG vinter ute
Te2=17.5; % [C] Referenstemperatur GBG sommar ute
Ukrav=0.18; % [W/m^2*K] Krav från energimyndigheten gällande U-värdet på väggar vid
ombyggnation
Rkrav=1/Ukrav; % [m^2*K/W] Omvandlar U-värdeskravet till motsvarande värmemotstånd

% Beräknar U-värdet och tjocklek på befintlig vägg
dbtg01=0.120; % [m]tjocklek av första delen betong i sandwichelementet
dEPS0=0.100; % [m]tjocklek av EPS:en i sandwichelementet
dbtg02=0.060; % [m]tjocklek av andra delen betong i sandwichelementet
lambtg0=1.7; % [W/(m*K)] Lambda-värde betong
lamEPS0=0.035; % [W/(m*K)] Lambda-värde EPS

R0=(Rse+Rsi+(dbtg01/lambtg0)+(dbtg02/lambtg0)+(dEPS0/lamEPS0)); % [m^2*K/W]
U0=1/R0; % [W/(m^2*K)]

d0=dbtg01+dEPS0+dbtg02; % [m] Tjocklek på vald standardvägg

%Konstruktionslösning - Utvändig EPS

lamEPS=0.035; % [W/(m*K)]Lambdavärde EPS
lamputs=1.5; % [W/(m*K)] Från "Introduction to Building Physics" Lambda-värde puts
(cement)
dputs=0.02; % [m] Tjocklek puts (Tjockputs från Plast- och Kemiföretagen)

% Funktionsfil som beräknar erforderlig tjocklek för valt isoleringsmaterial
[dEPSU,REPSU,Rputs,R13] = tjockiso(Rkrav,R0,Rse,Rsi,lamEPS,lamputs,1,dputs,0);

%Konstruktionslösning - Invändig EPS

lamgips=0.22; % [W/(m*K)] Lambda-värde gips
dgips=0.013; % [m] Tjocklek gips 60 mm gipsskiva
```

```
% Funktionsfil som beräknar erforderlig tjocklek för valt isoleringsmaterial
[dEPSI,REPSI,Rgips,R43] = tjockiso(Rkrav,R0,Rse,Rsi,lamEPS,lamgips,1,dgips,0);
```

```
%-----
% Temperaturfördelning genom väggen-Utvändiga lösningar
%-----
```

```
%Konstruktionslösning 1 -Temperaturfördelning över väggen, vinter
```

```
% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen över aktuell vägg
[Tp11]=tempfordelut(Rse,Rsi,REPSU,R0,Rputs,R13,Te1,Ti);
% Ger koordinater för punkter mellan lagren
Tpx1=[0 d0 d0+dEPSU d0+dEPSU+dputs d0+dEPSU+dputs];
```

```
%Plottar temperaturfördelningen över väggen
figure(1)
subplot(1,2,1)
hold on
plot(Tpx1,Tp11) % Plottar temperaturen mot valda punkter
plot([0 0],[-20 40],'k') % 4 rader som plottar upp själva väggen
plot([d0 d0],[-20 40],'k')
plot([d0+dEPSU d0+dEPSU],[-20 40],'k')
plot([d0+dEPSU+dputs d0+dEPSU+dputs],[-20 40],'k')
axis([-0.2 1 -20 40])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [C] ')
title('Temperaturfördelning-Utvändig EPS,vinter')
text(-0.175,25, 'Inne')
text(d0+dEPSU+dputs+0.05,25, 'Ute')
```

```
%Konstruktionslösning 1 -Temperaturfördelning över väggen, sommar
```

```
% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen över aktuell vägg
[Tp12]=tempfordelut(Rse,Rsi,REPSU,R0,Rputs,R13,Te2,Ti);
```

```
%Plottar temperaturfördelningen över väggen
figure(2)
subplot(1,2,1)
hold on
plot(Tpx1,Tp12)
plot([0 0],[-20 40],'k')
plot([d0 d0],[-20 40],'k')
plot([d0+dEPSU d0+dEPSU],[-20 40],'k')
plot([d0+dEPSU+dputs d0+dEPSU+dputs],[-20 40],'k')
axis([-0.2 1 -20 40])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [C] ')
title('Temperaturfördelning-Utvändig EPS, sommar')
text(-0.175,25, 'Inne')
text(d0+dEPSU+dputs+0.05,25, 'Ute')
```

```
%Konstruktionslösning 4 -Tempfördelning över väggen, vinter
```

```
% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen över aktuell vägg
[Tp41]=tempfordelin(Rse,Rsi,REPSI,R0,Rgips,R43,Te1,Ti);
% Ger koordinater för punkter mellan lagren
Tpx4=[0 dgips dgips+dEPSI dgips+dEPSI d0+dEPSI+dgips];
```

```

%Plottar temperaturfördelningen över väggen
figure(3)
subplot(1,2,1)
hold on
plot(Tpx4,Tp41)
plot([0 0],[-20 40],'k')
plot([dgips dgips],[-20 40],'k')
plot([dgips+dEPSI dgips+dEPSI],[-20 40],'k')
plot([dgips+dEPSI+d0 dgips+dEPSI+d0],[-20 40],'k')
axis([-0.2 1 -20 40])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [C] ')
title('Temperaturfördelning-Invändig EPS,vinter')
text(-0.175,25, 'Inne')
text(dgips+dEPSI+d0+0.05,25, 'Ute')

%Konstruktionslösning 4 -Tempfördelning över väggen, sommar

%Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen över aktuell vägg
[Tp42]=tempfordelin(Rse,Rsi,REPSI,R0,Rgips,R43,Te2,Ti);

%Plottar temperaturfördelningen över väggen
figure(4)
subplot(1,2,1)
hold on
plot(Tpx4,Tp42)
plot([0 0],[-20 40],'k')
plot([dgips dgips],[-20 40],'k')
plot([dgips+dEPSI dgips+dEPSI],[-20 40],'k')
plot([dgips+dEPSI+d0 dgips+dEPSI+d0],[-20 40],'k')
axis([-0.2 1 -20 40])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [C] ')
title('Temperaturfördelning-Invändig EPS, sommar')
text(-0.175,25, 'Inne')
text(dgips+dEPSI+d0+0.05,25, 'Ute')

-----
%
%FUKT
%
%-----
%-----
%Fuktfördelning utvändiga lösningar
%-----
%INDATA
ve1=3.4; % [g/m^3] Ånghalt i GBG, Februari som var vald till dimensionerande förhållande
gällande temp
ve2=10.8; % [g/m^3] Ånghalt i GBG, Juli som var vald till dimensionerande förhållande
gällande temp

vtillskott=3.5; % [g/m^3] Fukttillskott
v1=vtillskott+ve1; % [g/m^3] Ånghalt inomhus under vinter
v2=vtillskott+ve2; % [g/m^3] Ånghalt inomhus under sommar

debtg0 = 0.17* 10^-6; %[s/m] Ångmotstånd betong i ursprunglig vägg

```

```

deEPS0 = 1.15* 10^-6; %[s/m] Ångmotstånd EPS i ursprunglig vägg
Z0=(dbtg01/debtg0)+(dbtg02/debtg0)+(dEPS0/deEPS0); %[s/m] Ångmotstånd ursprunglig vägg

%Konstruktionslösning 1- Fuktfordelning EPS vägg 1, vinter

deEPS=1.15*10^-6; % [m^2/s] Från "Introduction to Building Physics
deputs=0.5*10^-6; % [m^2/s] Cementbaserad puts från
% "Byggnadens klimatskärm"

% Funktionsfil som eräknar fuktfordelning för aktuell vägg
[V11] = fuktfordelut(dEPSU,dputs,0,deEPS,deputs,1,Z0,v1,ve1);
% Funktionsfil som beräknar hur den relativa fuktigheten fördelar sig över
% väggen
[RH11,Vs11]=relativfukt(V11,Tp11);

% Plottar upp relativa fuktigheten över väggen
figure(1)
subplot(1,2,2)
hold on
plot(Tpx1,RH11)
plot([0 0],[-200 400],'k')
plot([d0 d0],[-200 400],'k')
plot([d0+dEPSU d0+dEPSU],[-200 400],'k')
plot([d0+dEPSU+dputs d0+dEPSU+dputs],[-200 400],'k')
plot([-50 100], [75 75],'r')
axis([-0.2 1 -50 150])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [%] ')
text(0.6,78, '75% RF')
title('Fuktfördelning-Utvändig EPS,vinter')
text(-0.175,110, 'Inne')
text(d0+dEPSU+dputs+0.05,110, 'Ute')

%Konstruktionslösning 1- Fuktfordelning EPS vägg 1, sommar

% Funktionsfil som eräknar fuktfordelning för aktuell vägg
[V12] = fuktfordelut(dEPSU,dputs,0,deEPS,deputs,1,Z0,v2,ve2);
% Funktionsfil som beräknar hur den relativa fuktigheten fördelar sig över
% väggen
[RH12,Vs12]=relativfukt(V12,Tp12);

% Plottar upp relativa fuktigheten över väggen
figure(2)
subplot(1,2,2)
hold on
plot(Tpx1,RH12)
plot([0 0],[-200 400],'k')
plot([d0 d0],[-200 400],'k')
plot([d0+dEPSU d0+dEPSU],[-200 400],'k')
plot([d0+dEPSU+dputs d0+dEPSU+dputs],[-200 400],'k')
plot([-50 100], [75 75],'r')
axis([-0.2 1 -50 150])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [%] ')
text(0.6,78, '75% RF')
title('Fuktfördelning-Utvändig EPS,sommar')
text(-0.175,110, 'Inne')

```

```

text(d0+dEPSU+dputs+0.05,110,'Ute')
%-----
%Fuktfördelning EPS Invändiga lösningar
%-----

deEPS=1.15*10^-6; %[m^2/s]
degips=3*10^-6;  %[m^2/s]

% Funktionsfil som eräknar fuktfördelning för aktuell vägg
[V41] = fuktfordelin(dEPSI,dgips,0,deEPS,degips,1,Z0,v1,ve1);
% Funktionsfil som beräknar hur den relativa fuktigheten fördelar sig över
% väggen
[RH41,Vs41]=relativfukt(V41,Tp41);

% Plottar upp relativa fuktigheten över väggen
figure(3)
subplot(1,2,2)
hold on
plot(Tpx4,RH41)
plot([0 0],[-200 400],'k')
plot([dgips dgips],[-200 400],'k')
plot([dgips+dEPSI dgips+dEPSI],[-200 400],'k')
plot([dgips+dEPSI+d0 dgips+dEPSI+d0],[-200 400],'k')
plot([-50 100], [75 75],'r')
axis([-0.2 1 -50 150])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [%] ')
text(0.6,78,'75% RF')
title('Fuktfördelning-Invändig EPS,vinter')
text(-0.175,110, 'Inne')
text(dgips+dEPSI+d0+0.05,110,'Ute')

%Konstruktionslösning 4- Fuktfördelning EPS vägg 1, sommar

% Funktionsfil som beräknar fuktfördelning för aktuell vägg
[V42] = fuktfordelin(dEPSI,dgips,0,deEPS,degips,1,Z0,v2,ve2);
% Funktionsfil som beräknar hur den relativa fuktigheten fördelar sig över
% väggen
[RH42,Vs42]=relativfukt(V42,Tp42);

% Plottar upp relativa fuktigheten över väggen
figure(4)
subplot(1,2,2)
hold on
plot(Tpx4,RH42)
plot([0 0],[-200 400],'k')
plot([dgips dgips],[-200 400],'k')
plot([dgips+dEPSI dgips+dEPSI],[-200 400],'k')
plot([dgips+dEPSI+d0 dgips+dEPSI+d0],[-200 400],'k')
plot([-50 100], [75 75],'r')
axis([-0.2 1 -50 150])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [%] ')
text(0.6,78,'75% RF')
title('Fuktfördelning-Invändig EPS,sommar')
text(-0.175,110, 'Inne')
text(dgips+dEPSI+d0+0.05,110,'Ute')

```


Bilaga 10 - Fil för beräkning och plottning av aerogellösningar

```
clc
close all
clear all

%-----
%
% Beräkningar för aerogel-lösningar.
%
% ALLA MATERIALKONSTANTER HÄMTADE FRÅN "INTRODUCTION TO BUILDING
% PHYSICS", CARL-ERIC HAGENTOFT eller från rapporten
% INNE OCH UTETEMPERATURER HÄMTADE FRÅN FORMELSAMLINGAR FÖR
% BYGGNADSFYSIK, eller från data i rapporten
% KLIMATDATA FRÅN "BYGGNADENS KLIMATSKÄRM", FÖRFATTARE
% FORMLER FÖR BERÄKNINGAR HÄMTADE FRÅN "INTRODUCTION TO BUILDING
% PHYSICS"
%
% Daniel Rehn 140509
% Reviderad av Alexander Liljenhed & Efraim Sandgren 2014-05-17
%-----
Rse=0.04; % [m^2*K/W]
Rsi=0.13; % [m^2*K/W]
Ti=20; % [C] Referenstemperatur inne
Te1=-1.2; % [C] Referenstemperatur GBG vinter ute
Te2=17.5; % [C] Referenstemperatur GBG sommar ute
Ukrav=0.18; % [W/m^2*K] Krav från energimyndigheten gällande U-värdet på väggar vid
ombyggnation
Rkrav=1/Ukrav; % [m^2*K/W] Omvandlar U-värdeskravet till motsvarande värmemotstånd

% Beräknar U-värdet och tjocklek på befintlig vägg
dbtg01=0.120; % [m] tjocklek av första delen betong i sandwichelementet
dEPS0=0.100; % [m] tjocklek av EPS:en i sandwichelementet
dbtg02=0.060; % [m] tjocklek av andra delen betong i sandwichelementet
lambtg0=1.7; % [W/(m*K)] Lambda-värde betong
lamEPS0=0.035; % [W/(m*K)] Lambda-värde EPS

R0=(Rse+Rsi+(dbtg01/lambtg0)+(dbtg02/lambtg0)+(dEPS0/lamEPS0)); % [m^2*K/W]
U0=1/R0; % [W/(m^2*K)]

d0=dbtg01+dEPS0+dbtg02; % [m] Tjocklek på vald standardvägg

%Konstruktionslösning - Utvändig isolering aerogel

lamaero=0.014; % [W/(m*K)] Lambdavärde aerogel
lammw1=0.035; % [W/(m*K)] Lambda-värde mineralull
dmw1=0.05; % [m] Tjocklek mineralull

% Funktionsfil som beräknar erforderlig tjocklek för valt isoleringsmaterial
[daeroU,RaeroU,Rmw1,R33] = tjockiso(Rkrav,R0,Rse,Rsi,lamaero,lammw1,1,dmw1,0);

%Konstruktionslösning - Invändig isolering aerogel

dgips=0.013; % [m] Tjocklek på gips godtyckligt vald till 60mm
lamgips=0.22; % [W/(m*K)] lambdavärde gips
```

```
% Funktionsfil som beräknar erforderlig tjocklek för valt isoleringsmaterial
[daeroI,RaeroI,Rgips,ROSB] = tjockiso(Rkrav,R0,Rse,Rsi,lamaero,lamgips,1,dgips,0);
```

```
%Konstruktionslösning Utvändig aerogel -Tempfördelning över väggen, vinter
```

```
% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen över aktuell vägg
[Tp31]=tempfordeIut(Rse,Rsi,RaeroU,R0,RmwI,R33,Te1,Ti);
```

```
Tp31=[Tp31 Te1 Te1];
```

```
dluft=0.028 ;%[m] Tjocklek luftspält
```

```
dfasad=0.022 ;%[m] Tjocklek fasad
```

```
%Skapar en vektor med punkter mellan lagren för att kunna plotta
```

```
Tpx3=[0 d0 d0+daeroU d0+daeroU+dmwI d0+daeroU+dmwI d0+daeroU+dmwI+dluft
d0+daeroU+dmwI+dluft+dfasad];
```

```
%Plottar temperaturfördelningen över väggen
```

```
figure(1)
```

```
subplot(1,2,1)
```

```
hold on
```

```
plot(Tpx3,Tp31)
```

```
plot([0 0],[-20 40],'k')
```

```
plot([d0 d0],[-20 40],'k')
```

```
plot([d0+daeroU d0+daeroU],[-20 40],'k')
```

```
plot([d0+daeroU+dmwI d0+daeroU+dmwI],[-20 40],'k')
```

```
plot([d0+daeroU+dmwI+dluft d0+daeroU+dmwI+dluft],[-20 400],'k')
```

```
plot([d0+daeroU+dmwI+dluft+dfasad d0+daeroU+dmwI+dluft+dfasad],[-20 400],'k')
```

```
axis([-0.2 1 -20 40])
```

```
xlabel(' [m]')
```

```
ylabel(' [C]')
```

```
title('Temperaturfördelning-Utvändig aerogel,vinter')
```

```
text(-0.175,25, 'Inne')
```

```
text(d0+daeroU+dmwI+0.05,25, 'Ute')
```

```
%Konstruktionslösning Utvändig aerogel- Tempfördelning över väggen, sommar
```

```
% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen över aktuell vägg
```

```
[Tp32]=tempfordeIut(Rse,Rsi,RaeroU,R0,RmwI,R33,Te2,Ti);
```

```
%Lägger till temperaturer för luftspält och fasad i temperaturvektorn
```

```
Tp32=[Tp32 Te2 Te2];
```

```
%Plottar temperaturfördelningen över väggen
```

```
figure(2)
```

```
subplot(1,2,1)
```

```
hold on
```

```
plot(Tpx3,Tp32)
```

```
plot([0 0],[-20 40],'k')
```

```
plot([d0 d0],[-20 40],'k')
```

```
plot([d0+daeroU d0+daeroU],[-20 40],'k')
```

```
plot([d0+daeroU+dmwI d0+daeroU+dmwI],[-20 40],'k')
```

```
plot([d0+daeroU+dmwI+dluft d0+daeroU+dmwI+dluft],[-20 400],'k')
```

```
plot([d0+daeroU+dmwI+dluft+dfasad d0+daeroU+dmwI+dluft+dfasad],[-20 400],'k')
```

```
axis([-0.2 1 -20 40])
```

```
xlabel(' [m]')
```

```
ylabel(' [C]')
```

```
title('Temperaturfördelning-Utvändig aerogel,sommar')
```

```

text(-0.175,25, 'Inne')
text(d0+daeroU+dmwl+dluft+dfasad+0.05,25, 'Ute')

%Konstruktionslösning Invändig aerogel -temperaturfördelning över väggen,
%vinter

% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen över aktuell vägg
[Tp61]=tempfordelin(Rse,Rsi,RaeroI,R0,Rgips,ROSB,Te1,Ti);
% Skapar en vektor med punkter mellan lagren
Tpx6=[0 dgips dgips+daeroI dgips+daeroI dgips+daeroI+d0];

%Plottar temperaturfördelningen över väggen
figure(3)
subplot(1,2,1)
hold on
plot(Tpx6,Tp61)
plot([0 0],[-20 40], 'k')
plot([dgips dgips],[-20 40], 'k')
plot([dgips+daeroI dgips+daeroI],[-20 40], 'k')
plot([dgips+daeroI+ dgips+daeroI],[-20 40], 'k')
plot([dgips+daeroI+d0 dgips+daeroI+d0],[-20 40], 'k')
axis([-0.2 1 -20 40])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [C] ')
title('Temperaturfördelning-Invändig aerogel,vinter')
text(-0.175,25, 'Inne')
text(dgips+daeroI+d0+0.05,25, 'Ute')

%Konstruktionslösning Invändig aerogel- temperaturfördelning över väggen,
%sommar

% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen över aktuell vägg
[Tp62]=tempfordelin(Rse,Rsi,RaeroI,R0,Rgips,ROSB,Te2,Ti);

%Plottar temperaturfördelningen över väggen
figure(4)
subplot(1,2,1)
hold on
plot(Tpx6,Tp62)
plot([0 0],[-20 40], 'k')
plot([dgips dgips],[-20 40], 'k')
plot([dgips+daeroI dgips+daeroI],[-20 40], 'k')
plot([dgips+daeroI+ dgips+daeroI],[-20 40], 'k')
plot([dgips+daeroI+d0 dgips+daeroI+d0],[-20 40], 'k')
axis([-0.2 1 -20 40])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [C] ')
title('Temperaturfördelning-Invändig aerogel,sommar')
text(-0.175,25, 'Inne')
text(dgips+daeroI+d0+0.05,25, 'Ute')

%-----
%FUKT
%-----

```

```

ve1=3.4; % [g/m^3] Ånghalt i GBG, Februari som var vald till dimensionerande förhållande
gällande temp
ve2=10.8; % [g/m^3] Ånghalt i GBG, Juli som var vald till dimensionerande förhållande
gällande temp

vtillskott=3.5; % [g/m^3] Fukttillskott
v1=vtillskott+ve1; % [g/m^3] Ånghalt inomhus under vinter
v2=vtillskott+ve2; % [g/m^3] Ånghalt inomhus under sommar

debtg0 = 0.17* 10^-6; % [s/m] Ångmotstånd betong i ursprunglig vägg
deEPS0 = 1.15* 10^-6; % [s/m] Ångmotstånd EPS i ursprunglig vägg
Z0=(debtg01/debtg0)+(debtg02/debtg0)+(deEPS0/deEPS0); % [s/m] Ångmotstånd ursprunglig vägg

%Konstruktionslösning Utvändig aerogel- Fuktfordelning Utvändig aerogel,
%vinter

%INDATA
deaero=8.7*10^-6; % [m^2/s] Från "The behavior of aerogel blankets as insulation material in
external walls at high temperatures"
demw1=25*10^-6; % [m^2/s] Från "Introduction to Building Physics"

%Funktionsfil som beräknar ånghaltsfördelningen över väggen
[V31] = fuktfordelut(daerou,dmw1,0,deaero,demw1,1,Z0,v1,ve1);
%Funktionsfil som beräknar hur den relativa fuktigheten förhåller sig över
%väggen
[RH31,Vs31]=relativfukt(V31,Tp31);

RH31=[RH31 ve1/Vs31(5)*100 ve1/Vs31(5)*100];

%Plottar den relativa fuktfordelningen över väggen
figure(1)
subplot(1,2,2)
hold on
plot(Tpx3,RH31)
plot([0 0],[-200 400],'k')
plot([d0 d0],[-200 400],'k')
plot([d0+daerou d0+daerou],[-200 400],'k')
plot([d0+daerou+dmw1 d0+daerou+dmw1],[-200 400],'k')
plot([d0+daerou+dmw1+dluft d0+daerou+dmw1+dluft],[-200 400],'k')
plot([d0+daerou+dmw1+dluft+dfasad d0+daerou+dmw1+dluft+dfasad],[-200 400],'k')
plot([-50 100], [75 75],'r')
axis([-0.2 1 -50 150])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [%] ')
text(0.6,78, '75% RF')
title('Fuktfordelning-Utvändig aerogel vinter')
text(-0.175,110, 'Inne')
text(d0+daerou+dmw1+dluft+dfasad+0.05,110, 'Ute')

%Konstruktionslösning Utvändig aerogel- Fuktfordelning Utvändig aerogel,
%sommar

%Funktionsfil som beräknar ånghaltsfördelningen över väggen
[V32] = fuktfordelut(daerou,dmw1,0,deaero,demw1,1,Z0,v2,ve2);
%Funktionsfil som beräknar hur den relativa fuktigheten förhåller sig över
%väggen
[RH32,Vs32]=relativfukt(V32,Tp32);

```

```

RH32=[RH32 ve2/Vs32(5)*100 ve2/Vs32(5)*100];

%Plottar den relativa fuktfördelningen över väggen
figure(2)
subplot(1,2,2)
hold on
plot(Tpx3,RH32)
plot([0 0],[-200 400],'k')
plot([d0 d0],[-200 400],'k')
plot([d0+daeroU d0+daeroU],[-200 400],'k')
plot([d0+daeroU+dmw1 d0+daeroU+dmw1],[-200 400],'k')
plot([d0+daeroU+dmw1+dluft d0+daeroU+dmw1+dluft],[-200 400],'k')
plot([d0+daeroU+dmw1+dluft+dfasad d0+daeroU+dmw1+dluft+dfasad],[-200 400],'k')
plot([-50 100], [75 75],'r')
axis([-0.2 1 -50 150])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [%] ')
text(0.6,78, '75% RF')
title('Fuktfördelning-Utvändig aerogel sommar')
text(-0.175,110, 'Inne')
text(d0+daeroU+dmw1+dluft+dfasad+0.05,110, 'Ute')

%Konstruktionslösning Invändig aerogel- Fuktfördelning Invändig aerogel,
%vinter

%INDATA
degips=3*10^-6; %[m^2/s] Från Introduction to Building Physics

%Funktionsfil som beräknar ånghaltsfördelningen över väggen
[V61] = fuktfordelin(daeroI,dgips,0,daero,degips,1,Z0,v1,ve1);
%Funktionsfil som bveräknar hur den relativa fuktigheten förhåller sig över
%väggen
[RH61,Vs61]=relativfukt(V61,Tp61);

%Plottar den relativa fuktfördelningen över väggen
figure(3)
subplot(1,2,2)
hold on
plot(Tpx6,RH61)
plot([0 0],[-200 400],'k')
plot([dgips dgips],[-200 400],'k')
plot([dgips+daeroI dgips+daeroI],[-200 400],'k')
plot([dgips+daeroI dgips+daeroI],[-200 400],'k')
plot([dgips+daeroI+d0 dgips+daeroI+d0],[-200 400],'k')
plot([-50 100], [75 75],'r')
axis([-0.2 1 -50 150])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [%] ')
text(0.6,78, '75% RF')
title('Fuktfördelning-Invändig aerogel vinter')
text(-0.175,110, 'Inne')
text(dgips+daeroI+d0+0.05,110, 'Ute')

%Konstruktionslösning Invändig aerogel- Fuktfördelning Invändig aerogel,
%sommar

```

```

%Funktionsfil som beräknar ånghaltsfördelningen över väggen
[V62] = fuktfordelin(daeroU,dgips,0,daero,degips,1,Z0,v2,ve2);
%Funktionsfil som beräknar hur den relativa fuktigheten förhåller sig över
%väggen
[RH62,vs62]=relativfukt(V62,Tp62);

%Plottar den relativa fuktfördelningen över väggen
figure(4)
subplot(1,2,2)
hold on
plot(Tpx6,RH62)
plot([0 0],[-200 400],'k')
plot([dgips dgips],[-200 400],'k')
plot([dgips+daeroI dgips+daeroI],[-200 400],'k')
plot([dgips+daeroI dgips+daeroI],[-200 400],'k')
plot([dgips+daeroI+d0 dgips+daeroI+d0],[-200 400],'k')
plot([-50 100], [75 75],'r')
axis([-0.2 1 -50 150])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [%] ')
text(0.6,78, '75% RF')
title('Fuktfördelning-Invändig aerogel sommar')
text(-0.175,110, 'Inne')
text(dgips+daeroI+d0+0.05,110, 'Ute')

```

Bilaga 11 - Fil för beräkning och plottning av VIP-lösningar

```
clc
close all
clear all

%-----
%   Beräkningar VIP-Lösningar
%
%   ALLA MATERIALKONSTANTER HÄMTADE FRÅN "INTRODUCTION TO BUILDING
%   PHYSICS", CARL-ERIC HAGENTOFT
%   INNE OCH UTETEMPERATURER HÄMTADE FRÅN FORMELSAMLINGAR FÖR
%   BYGGNADSFYSIK, eller från data i rapporten
%   KLIMATDATA FRÅN "BYGGNADENS KLIMATSKÄRM", FÖRFATTARE
%   FORMLER FÖR BERÄKNINGAR HÄMTADE FRÅN "INTRODUCTION TO BUILDING
%   PHYSICS"
%
%   Daniel Rehn 14-05-09
%   Reviderad av Alexander Liljenhed & Efraim Sandgren 2014-05-17
%
%-----
%INDATA
Rse=0.04; % [m^2*K/W]
Rsi=0.13; % [m^2*K/W]
Ti=20; % [C] Referenstemperatur inne
Te1=-1.2; % [C] Referenstemperatur GBG vinter ute
Te2=17.5; % [C] Referenstemperatur GBG sommar ute
Ukrav=0.18; % [W/m^2*K] Krav från energimyndigheten gällande U-värdet på väggar vid
ombyggnation
Rkrav=1/Ukrav; % [m^2*K/W] Omvandlar U-värdeskravet till motsvarande värmemotstånd

% Beräknar U-värdet och tjocklek på befintlig vägg
dbtg01=0.120; % [m] tjocklek av första delen betong i sandwichelementet
dEPS0=0.100; % [m] tjocklek av EPS:en i sandwichelementet
dbtg02=0.060; % [m] tjocklek av andra delen betong i sandwichelementet
lambtg0=1.7; % [W/(m*K)] Lambda-värde betong
lamEPS0=0.035; % [W/(m*K)] Lambda-värde EPS

R0=(Rse+Rsi+(dbtg01/lambtg0)+(dbtg02/lambtg0)+(dEPS0/lamEPS0)); % [m^2*K/W]
U0=1/R0; % [W/(m^2*K)]

d0=dbtg01+dEPS0+dbtg02; % [m] Tjocklek på vald standardvägg

%Konstruktionslösning Utvändig VIP- Utvändig isolering VIP, från Malörten
lamVIP=0.007; % [W/(m*K)] Lambdavärde VIP
lammwl=0.035; % [W/(m*K)] Lambda-värde mineralull
dmwl=0.03; % [m] Tjocklek mineralull [m]

% Funktionsfil som beräknar erforderlig tjocklek för valt isoleringsmaterial
[dVIPU,RVIPU,Rmw1,R23] = tjockiso(Rkrav,R0,Rse,Rsi,lamVIP,lammwl,1,dmw1,0);

%Konstruktionslösning Invändig VIP- Invändig isolering VIP
lamEPS=0.035; % [W/(m*K)] Lambda-värde EPS-board
langips=0.22; % [W/(m*K)] Lambda-värde gips
dEPS=0.02; % [m] Tjocklek EPS-skiva
dgips=0.013; % [m] Tjocklek gips
```

```
% Funktionsfil som beräknar erforderlig tjocklek för valt isoleringsmaterial
[dVIPI,RVIPI,Rgips,Rmdf] = tjockiso(Rkrav,R0,Rse,Rsi,lamVIP,lamgips,lamEPS,dgips,dEPS);
```

```
%-----
% Temperaturfördelning genom väggen - Utvändiga lösningar
%-----
```

```
% %Konstruktionslösning Utvändig VIP -Tempfördelning över väggen, vinter
```

```
% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen över aktuell vägg
[Tp21]=tempfordeIut(Rse,Rsi,RVIPU,R0,RmwI,0,Te1,Ti);
```

```
%Lägger till temperatur för luftspalt och fasad
Tp21=[Tp21 Te1 Te1]; %[C]
```

```
dluft=0.028 ;%[m] Tjocklek luftspalt
dfasad=0.022 ;%[m] Tjocklek fasad
%Skappar en vektor för plottning av temperaturkurva
Tpx2=[0 d0 d0+dVIPU d0+dVIPU+dmwI d0+dVIPU+dmwI d0+dVIPU+dmwI+dluft
d0+dVIPU+dmwI+dluft+dfasad];
```

```
%Plottar temperaturfördelningen över väggen
figure(1)
subplot(1,2,1)
hold on
plot(Tpx2,Tp21)
plot([0 0],[-20 40],'k')
plot([d0 d0],[-20 40],'k')
plot([d0+dVIPU d0+dVIPU],[-20 40],'k')
plot([d0+dVIPU+dmwI d0+dVIPU+dmwI],[-20 40],'k')
plot([d0+dVIPU+dmwI+dluft d0+dVIPU+dmwI+dluft],[-20 40],'k')
plot([d0+dVIPU+dmwI+dluft+dfasad d0+dVIPU+dmwI+dluft+dfasad],[-20 40],'k')
axis([-0.2 1 -20 40])
xlabel(' [m]')
ylabel(' [C]')
text(-0.175, 25,'Inne')
text(d0+dVIPU+dmwI+dluft+dfasad+0.05, 25,'Ute')
title('Temperaturfördelning-Utvändig VIP,vinter')
```

```
%Konstruktionslösning Utvändig VIP- Tempfördelning över väggen, sommar
```

```
% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen över aktuell vägg
[Tp22]=tempfordeIut(Rse,Rsi,RVIPU,R0,RmwI,0,Te2,Ti);
```

```
%Lägger till temperatur för luftspalt och fasad
Tp22=[Tp22 Te2 Te2]; %[C]
```

```
%Plottar temperaturfördelningen över väggen
figure(2)
subplot(1,2,1)
hold on
plot(Tpx2,Tp22)
plot([0 0],[-20 40],'k')
plot([d0 d0],[-20 40],'k')
plot([d0+dVIPU d0+dVIPU],[-20 40],'k')
plot([d0+dVIPU+dmwI d0+dVIPU+dmwI],[-20 40],'k')
```



```

plot([d0+dVIPU+dmwl+dluft d0+dVIPU+dmwl+dluft],[-20 40], 'k')
plot([d0+dVIPU+dmwl+dluft+dfasad d0+dVIPU+dmwl+dluft+dfasad],[-20 40], 'k')
axis([-0.2 1 -20 40])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [C] ')
text(-0.175, 25, 'Inne')
text(d0+dVIPU+dmwl+dluft+dfasad+0.05, 25, 'Ute')

title('Temperaturfördelning-Utvändig VIP,sommar')

```

```

%-----
% Temperaturfördelning genom väggen - Invändiga lösningar
%-----

% %Konstruktionslösning 5 - Tempfördelning över väggen, vinter

% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen över aktuell vägg
[Tp51]=tempfordelin(Rse,Rsi,Rmdf,R0,Rgips,RVIPI,Te1,Ti);

Tpx5=[0 dgips dgips+dEPS dgips+dEPS+dVIPI dgips+dEPS+dVIPI+d0];

%Plottar temperaturfördelningen över väggen
figure(3)
subplot(1,2,1)
hold on
plot(Tpx5,Tp51)
plot([0 0],[-20 40], 'k')
plot([dgips dgips],[-20 40], 'k')
plot([dgips+dEPS dgips+dEPS],[-20 40], 'k')
plot([dgips+dEPS+dVIPI dgips+dEPS+dVIPI],[-20 40], 'k')
plot([dgips+dEPS+dVIPI+d0 dgips+dEPS+dVIPI+d0],[-20 40], 'k')
axis([-0.2 1 -20 40])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [C] ')
text(-0.175, 25, 'Inne')
text(dgips+dEPS+dVIPI+d0+0.05, 25, 'Ute')

title('Temperaturfördelning-Invändig VIP,vinter')

% Konstruktionslösning 5 - Tempfördelning över väggen, sommar

% Funktionsfil som beräknar temperaturfördelningen över aktuell vägg
[Tp52]=tempfordelin(Rse,Rsi,Rmdf,R0,Rgips,RVIPI,Te2,Ti);

%Plottar temperaturfördelningen över väggen
figure(4)
subplot(1,2,1)
hold on
plot(Tpx5,Tp52)
plot([0 0],[-20 40], 'k')
plot([dgips dgips],[-20 40], 'k')
plot([dgips+dEPS dgips+dEPS],[-20 40], 'k')
plot([dgips+dEPS+dVIPI dgips+dEPS+dVIPI],[-20 40], 'k')
plot([dgips+dEPS+dVIPI+d0 dgips+dEPS+dVIPI+d0],[-20 40], 'k')
axis([-0.2 1 -20 40])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [C] ')
text(-0.175, 25, 'Inne')

```

```

text(dgips+dEPS+dVIP+d0+0.05, 25, 'Ute')
title('Temperaturfördelning-Invändig VIP,sommar')

%-----
%Fuktfördelning - Utvändiga lösningar
%-----

%INDATA
ve1=3.4; % [g/m^3] Ånghalt i GBG, Februari som var vald till dimensionerande förhållande
gällande temp
ve2=10.8; % [g/m^3] Ånghalt i GBG, Juli som var vald till dimensionerande förhållande
gällande temp

vtillskott=3.5; % [g/m^3] Fukttillskott
v1=vtillskott+ve1; % [g/m^3] Ånghalt inomhus under vinter
v2=vtillskott+ve2; % [g/m^3] Ånghalt inomhus under sommar

debtg0 = 0.17* 10^-6; % [s/m] Ångmotstånd betong i ursprunglig vägg
deEPS0 = 1.15* 10^-6; % [s/m] Ångmotstånd EPS i ursprunglig vägg
Z0=(debtg01/debtg0)+(debtg02/debtg0)+(deEPS0/deEPS0); % [s/m] Ångmotstånd ursprunglig vägg

% Konstruktionslösning 2 - Fuktfördelning utvändig VIP, vinter

deVIP =1.25* 10^-8; % [m^2/s] Hämtat från studie av vakuumpaneler
demw1 = 25*10^-6; % [m^2/s] Från "Introduction to Building Physics"

% Funktionsfil som beräknar fuktfördelning för aktuell vägg
[V21] = fuktfordelut(dVIPU,dmw1,0,deVIP,demw1,1,Z0,v1,ve1);
%Funktionsfil som beräknar hur den relativa fuktigheten förhåller sig över
%väggen
[RH21,Vs21] = relativfukt(V21,TP21);
%Lägger till punkter för den relativca fuktigheten för luftspalt och fasad
RH21=[RH21 ve1/Vs21(5)*100 ve1/Vs21(5)*100 ];

%Plottar relativa fuktfördelningen över väggen
figure(1)
subplot(1,2,2)
hold on
plot(Tpx2,RH21)
plot([0 0],[-200 400], 'k')
plot([d0 d0],[-200 400], 'k')
plot([d0+dVIPU d0+dVIPU], [-200 400], 'k')
plot([d0+dVIPU+dmw1 d0+dVIPU+dmw1], [-200 400], 'k')
plot([d0+dVIPU+dmw1+dluft d0+dVIPU+dmw1+dluft], [-20 400], 'k')
plot([d0+dVIPU+dmw1+dluft+dfasad d0+dVIPU+dmw1+dluft+dfasad], [-20 400], 'k')
axis([-0.2 1 0 150])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [%] ')
plot([-0.2 1] , [75 75], 'r')
text(0.6,78, '75% RF')
text(-0.175, 110, 'Inne')
text(d0+dVIPU+dmw1+dluft+dfasad+0.05, 110, 'Ute')

title('Fuktfördelning-Utvändig VIP vinter')

% Konstruktionslösning 2 - Fuktfördelning utvändig VIP, sommar

```

```

% Funktionsfil som beräknar fuktfördelning för aktuell vägg
[V22] = fuktfordelut(dVIPU,dmw1,0,deVIP,demw1,1,Z0,v2,ve2);
%Funktionsfil som beräknar hur den relativa fuktigheten förhåller sig över
%väggen
[RH22,Vs22] = relativfukt(V22,Tp22);
%Lägger till punkter för den relativca fuktigheten för luftspalt och fasad
RH22=[RH22 ve2/Vs22(5)*100 ve2/Vs22(5)*100];

%Plottar relativa fuktfördelningen över väggen
figure(2)
subplot(1,2,2)
hold on
plot(Tpx2,RH22)
plot([0 0],[-200 400],'k')
plot([d0 d0],[-200 400],'k')
plot([d0+dVIPU d0+dVIPU],[-200 400],'k')
plot([d0+dVIPU+dmw1 d0+dVIPU+dmw1],[-200 400],'k')
plot([d0+dVIPU+dmw1+dluft d0+dVIPU+dmw1+dluft],[-20 400],'k')
plot([d0+dVIPU+dmw1+dluft+dfasad d0+dVIPU+dmw1+dluft+dfasad],[-20 400],'k')
axis([-0.2 1 0 150])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [%] ')
plot([-0.2 1] , [75 75], 'r')
text(0.6,78, '75% RF')
text(-0.175, 110, 'Inne')
text(d0+dVIPU+dmw1+dluft+dfasad+0.05, 110, 'Ute')

title('Fuktfördelning-Utvändig VIP sommar')

```

```

%-----
%Fuktfördelning - Invändiga lösningar
%-----

% Konstruktionslösning 5 - Fuktfördelning invändig VIP, vinter

degips = 3*10^-6; % [m^2/s] Från "Introduction to Building Physics"
deEPS = 1.15*10^-6; % [m^2/s] Från "Introduction to Building Physics"

% Funktionsfil som beräknar fuktfördelning för aktuell vägg
[V51] = fuktfordelin(deEPS,dgips,dVIPI,deEPS,degips,deVIP,Z0,v1,ve1);
% Funktionsfil som beräknar hur den relativa fuktigheten fördelar sig över
% väggen
[RH51,Vs51] = relativfukt(V51,Tp51);

%Plottar relativa fuktfördelningen över väggen
figure(3)
subplot(1,2,2)
hold on
plot(Tpx5,RH51)
plot([0 0],[-200 400],'k')
plot([dgips dgips],[-200 400],'k')
plot([dgips+deEPS dgips+deEPS],[-200 400],'k')
plot([dgips+deEPS+dVIPI dgips+deEPS+dVIPI],[-200 400],'k')
plot([dgips+deEPS+dVIPI+d0 dgips+deEPS+dVIPI+d0],[-200 400],'k')
axis([-0.2 1 0 150])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [%] ')

```

```

plot([-0.2 1] , [75 75], 'r')
text(0.6,78,'75% RF')
text(-0.175, 110,'Inne')
text(dgips+dEPS+dVIPI+d0+0.05, 110,'Ute')

title('Fuktfördelning-Invändig VIP vinter')

% Konstruktionslösning 5 - Fuktfördelning invändig VIP, sommar

% Funktionsfil som beräknar fuktfördelning för aktuell vägg
[V52] = fuktfordelin(dEPS,dgips,dVIPI,deEPS,degips,deVIP,Z0,v2,ve2);
% Funktionsfil som beräknar hur den relativa fuktigheten fördelar sig över
% väggen
[RH52,Vs52] = relativfukt(V52,Tp52);

%Plottar relativa fuktfördelningen över väggen
figure(4)
subplot(1,2,2)
hold on
plot(Tpx5,RH52)
plot([0 0],[-200 400],'k')
plot([dgips dgips],[-200 400],'k')
plot([dgips+dEPS dgips+dEPS],[-200 400],'k')
plot([dgips+dEPS+dVIPI dgips+dEPS+dVIPI],[-200 400],'k')
plot([dgips+dEPS+dVIPI+d0 dgips+dEPS+dVIPI+d0],[-200 400],'k')
axis([-0.2 1 0 150])
xlabel(' [m] ')
ylabel(' [%] ')
plot([-0.2 1] , [75 75], 'r')
text(0.6,78,'75% RF')
text(-0.175, 110,'Inne')
text(dgips+dEPS+dVIPI+d0+0.05, 110,'Ute')
title('Fuktfördelning-Invändig VIP sommar')

```