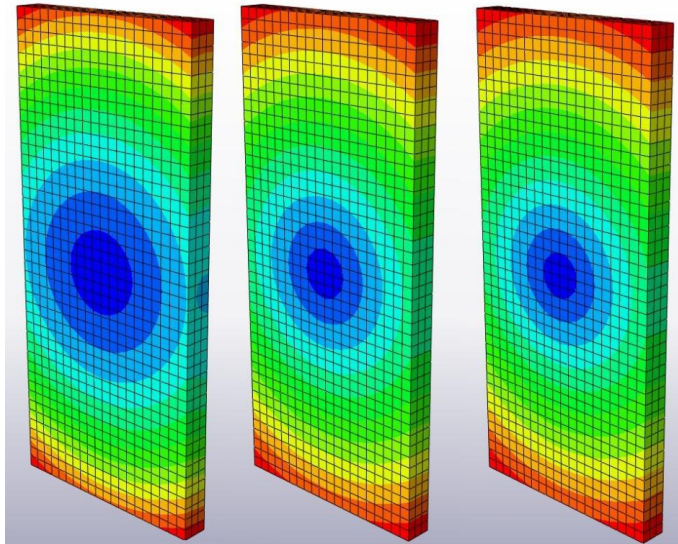


Kritiska fukt- och temperaturrörelser i putsade skivfasader



Almedin Buza och Vedran Ladan

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet, 2013

Avdelningen för Konstruktionsteknik

Lunds Tekniska Högskola

Box 118

221 00 LUND

Division of Structural Engineering

Faculty of Engineering, Lund University

P.O. Box 118

S-221 00 LUND

Sweden

Kritiska fukt- och temperaturrörelser i putsade skivfasader

Almedin Buza, Vedran Ladan

2013

Rapport TVBK-5228
ISSN 0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK-13/5228(112p)

Examensarbete
Handledare: Miklós Molnár
September 2013

Förord

Detta examensarbete har utförts på civilingenjörsutbildningen Väg- och Vattenbyggnadsprogrammet inom Lunds Tekniska Högskola i samarbete med konstruktionsteknikavdelningen vid LTH. Vi vill tacka alla som på något sätt varit involverade i detta arbete, framför allt vår handledare Miklós Molnár, som har gett oss stöd och vägledning under arbetets gång. Slutligen tackar vi även familj och vänner för allt stöd under utbildningens gång.

Lund, 2013

Almedin Buza & Vedran Ladan

Abstract

In general the facade should be aesthetically appealing, but also its practical functions from a moisture control point of view are of importance. Two step sealed facades, where the outer part consists of a cementboard and plaster, are becoming increasingly common in the selection of type of facade. A specific tvåstegstättad facade that is becoming more established on the market is the facade, where the outer part is made of cementbased board, Aquapanel, and a top layer of plaster. Knowledge of this design is limited to its behavior when subjected to humidity and temperature variations over a longer period of time. What has not been fully studied is the behavior of the facade during shorter more intense periods. Therefore, the main task of the report was to identify the critical days and its influence on the Aquapanel and plaster.

The approach in this report consisted of three main steps:

- Step 1: Identification of the critical days
- Step 2: Obtaining deformations
- Step 3: Verification with the help of laboratory tests

The first step in this report was to identify the critical days during the year 1998. With help of climate data from SMHI a simulation was possible to perform in WUFI to obtain the temperature and moisture variations in the studied type of wall. The results of this simulation were used in the program Matlab, which gave us the possibility to obtain the largest variations over a 24 - hour period.

The second step consisted of obtaining the deformations, in the Aquapanel and plaster, which occur due to the critical days. To get these deformations, a FEM - program named Brigade was used.

In the last step an experimental study was performed where the theoretical results were compared with practical results. A number of samples were exposed to a fixed moisture increase and the results were compared with a computer simulation of these samples with similar conditions.

The obtained results were evaluated and it can be pointed out that because of the complexity of a moisture transport through materials it is difficult to determine whether the approach taken in this thesis is something that can be used practically. The comparison between the experimental study and the simulations showed similar behaviour of moisture during transport through the materials and possible deformations.

Sammanfattning

Generellt skall fasaden vara estetiskt tilltalande, men även dess praktiska funktioner ur fuktsäkerhetsperspektiv är viktiga. Tvåstegstätade fasader, där yttre delen består av cementskiva och puts, blir allt vanligare vid val av fasadtyp. En specifik tvåstegstätad fasad som börjar bli allt mer etablerad på marknaden är den fasad vars yttre del utgörs av en cementbaserad skiva, Aquapanel, och ett ytskikt av puts. Kunskapen av denna utformning är begränsad till dess beteende då den utsätts för fukt- och temperaturvariationer under längre perioder. Vad som inte har studerats tillräckligt är beteendet i fasaden under kortare mer intensiva perioder. Därför är den huvudsakliga uppgiften i rapporten att identifiera de kritiska dygnen och dess påverkan på Aquapanelen och putsen.

Tillvägagångssättet i denna rapport bestod av tre huvudmoment:

- Steg 1: Identifiering av kritiska dygn
- Steg 2: Framtagning av deformationer
- Steg 3: Verifiering med hjälp av laborationsförsök

Första steget i rapporten var att identifiera de kritiska dygnen under kalenderåret 1998. Med hjälp av klimatdata från SMHI kunde en simulering utföras i WUFI för att få fram temperatur- och fuktvariationer i den studerade typväggen. Resultaten från denna simulering användes i beräkningsprogrammet Matlab, som gav oss möjligheten att få fram de största variationerna under en 24 – timmarsperiod.

Andra steget bestod av att ta fram deformationerna, i Aquapanelen och putsen, som uppkommer på grund av de kritiska dygnen. För att få fram dessa deformationer användes ett FEM – program, vid namnet Brigade.

I det sista steget utfördes en experimentiell studie där teorin jämfördes med praktiken. Ett antal provkroppar exponerades för en bestämd fuktökning och resultatet jämfördes med en datasimulering av dessa provkroppar med liknande förutsättningar.

Resultaten som erhöles utvärderades och det kan konstateras att på grund av den komplexitet en fuktransport genom material utgör är det svårt att avgöra ifall tillvägagångssättet i detta examensarbete är något som kan användas direkt i praktiken. Något som jämförelsen mellan den experimentella studien och simuleringarna visade var likartat beteende hos fukten vid transport genom materialen och möjliga deformationer.

Innehållsförteckning

Abstract	- 5 -
Sammanfattning	- 7 -
1. Inledning.....	- 9 -
1.1. Bakgrund	- 9 -
1.2. Syfte och målsättningar	- 10 -
1.3. Metod.....	- 10 -
1.4. Avgränsningar	- 11 -
2. Materialbeskrivning	- 13 -
2.1. Skivor av typen Aquapanel.....	- 15 -
2.2. Puts som används på Aquapanel Outdoor	- 15 -
2.3. Glasfibernet	- 15 -
2.4. Montering	- 17 -
3. Simulering av temperatur- och fuktvariationer	- 21 -
3.1. Modellen i WUFI.....	- 21 -
3.1.1. Luftomsättning i luftspalten	- 24 -
3.1.2 Val av kritiska scenarier	- 31 -
3.2. Analys av temperatur och relativ fuktighet	- 32 -
3.2.1. Resultat.....	- 32 -
3.3. Slutsats.....	- 47 -
4. Studie av fuktrelaterade deformationer	- 49 -
4.1. Förstudie inför praktiskt utförande av experimentet	- 49 -
4.1.3. Modellering av fuktrelaterade deformationer.....	- 56 -
4.1.4. Finit elementmodellering av fuktrelaterade deformationer.....	- 58 -
4.2. Praktiskt utförande av labbstudien	- 64 -
4.3. Resultat från experimentell studie	- 66 -
5. Modellering av deformationer i putsade skivor i utomhusklimat	- 69 -
5.1. Framtagande av kritiska fiktiva temperaturer.....	- 69 -
5.2. Framtagning av deformationer	- 76 -
5.3. Resultat från typvägg.....	- 78 -
6. Analys, diskussion och slutsatser	- 79 -
6.1. Analys och diskussion	- 79 -
6.2. Slutsatser.....	- 80 -
Litteraturförteckning	- 81 -
Bilagor.....	- 82 -

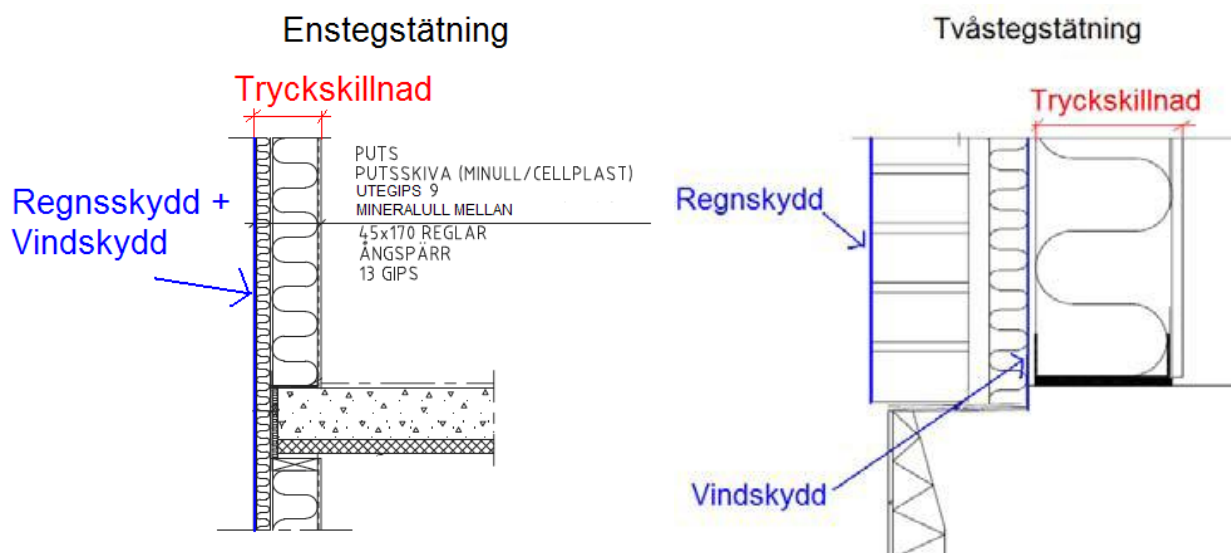
1. Inledning

1.1. Bakgrund

År 2002 förenades Knauf och det amerikanska företaget United States Gypsum Company ihop med målsättningen att utveckla en ny och innovativ cementskiva. Tillsammans har de blivit en av världens största tillverkare av cementbaserade skivor. Framtagandet av cementbaserade skivan, med varumärkesbeteckningen Aquapanel, har varit en ledande faktor till företagets utveckling. Denna innovativa cementskiva har uppmärksammats mycket på marknaden på grund av att den har en låg densitet och innovativa lösningar. Den har bra värmemotstånd vilket leder till tunnare väggar som ger arkitekten större ytor att arbeta med och finna innovativa lösningar. Dess densitet gör skivan lättare att hantera och arbeta med vilket leder till snabbare uppbyggnad, vilket i sin tur leder till mindre kostnader (Knauf USG Systems 2012, 2012).

Den cementbaserade skivan, Aquapanel, var speciellt utvecklad att putsas på men är likväl användbar på andra sätt. Skivan är helt oorganisk, vilket betyder att den biologiskt inte kan brytas ned och den är dessutom vatten- och fuktbeständig. En annan positiv egenskap för skivan är att den är ej brännbar (Knauf, 2012).

Noterbart är att systemet som undersöks i detta examensarbete är den yttre delen av en tvåstegstätning. Putsen, den cementbaserade skiva och luftspalten är det som i detta arbete utgör den yttre delen. Till skillnad från enstegstätning så skiljs regn- och vindskyddet åt i tvåstegstätningen. Det innebär även att luftspalten i tvåstegstätningen fungerar som ett kapillärbrytande och dränerande skikt. Detta i sig ger fasaden en möjlighet att torka ut då en uppfuktning sker. I enstegstätningen är det tänkt att ytskiktet skall fungera både som regn- och vindskydd och samma möjlighet till uttorkning av fukt existerar inte som i ett tvåstegstätat system. Exempel på enstegstätning och tvåstegstätning finns i figur 1.1 nedan (Engerup, 2008).



Figur 1.1. Exempel på enstegs- och tvåstegstätning (Engerup, 2008)

Tvåstegstätning med putsade ventilerade fasadskivor introducerades i Sverige på 1990-talet. Med tanke på fuktproblemen putsade enstegstätade fasader drogs med blev tvåstegstätning med putsade ventilerade skivor intressant som en alternativ lösning till dessa problem (Molnär, 2010).

Även om den nya utformningen (tvåstegstätning) löste en del fuktproblem så uppstod det nya problem. Många av dagens putsade skivfasader spricker på grund av att de utsätts för stora temperatur- och fuktvariationer. Fasaden består då endast av en tunn, ca 12,5 mm, cementbaserad innerskiva som heter Aquapanel och av ca 9 mm puts och ytbehandling. Stora fukt- och temperaturvariationerna under året medför rörelser som påverkar putsen och ytbehandlingen som i sin tur kan orsaka sprickor i fasaden. Generellt är kunskaperna, om vilka temperatur- och fuktvariationer som kan tillåtas utan att sprickbildning uppstår, begränsade. Projektörer tillämpar systemleverantörernas föreskrivande regler utan att ha möjlighet att göra egna bedömningar avseende systemets marginaler när det gäller t.ex. sprickbildning.

Forskning har sedan tidigare gjorts där man studerat rörelser som äger rum under längre perioder (Molnär, 2010). Därför är uppgiften i detta arbete att undersöka hur stor påverkan dygnsvariationerna, i avseende utav temperatur och relativ fuktighet, har och vilka typer av variationer som är kritiska. Temperatur- och fuktillstånd som uppstår i putsade skivor studeras för att identifiera scenarion som kan leda till sprickbildning.

1.2. Syfte och målsättningar

Syftet med detta arbete var att öka kunskaperna om hur system med putsade ventilerade skivor kan utformas med begränsad risk för sprickbildning.

Målsättningen med denna rapport var att identifiera och utmärka de temperatur- och fuktvariationer som ger rörelser som i sin tur kan leda till sprickbildning.

1.3. Metod

I detta examensarbete användes året 1998 för att kunna undersöka dygnsvariationer av relativ fuktighet och temperatur. Eftersom uppmätt väderdata från SMHI var tillgänglig från det året för stadsorterna Lund och Stockholm. Väderdatan från SMHI användes som indata i datorprogrammet WUFI (IBP, Fraunhofer, 2013) för att kunna få fram relativa fuktigheter och temperaturer i Aquapanelskivan och putsen. I WUFI simuleras hela året 1998 av en typvägg och på så sätt erhålles alla värden genom väggen.

De erhållna värdena användes i sin tur som indata då de kritiska dygnen skulle tas fram med hjälp av datorprogrammet Matlab (Mathworks, 2013) som gav möjligheten att bestämma de största temperatur- och fuktskillnaderna, för ett dygn, under det undersökta året 1998. De variationer i temperatur och relativ fuktighet som blev störst var de som ansågs relevanta och kritiska.

De relativa fuktigheter och temperaturer som erhöles användes i sin tur i ett annat datorprogram som heter Brigade (Scanscot Technology AB, 2012). Detta datorprogram gör det möjligt att beräkna deformationer som uppstår i Aquapanelskivan och putsen under de kritiska dygnen.

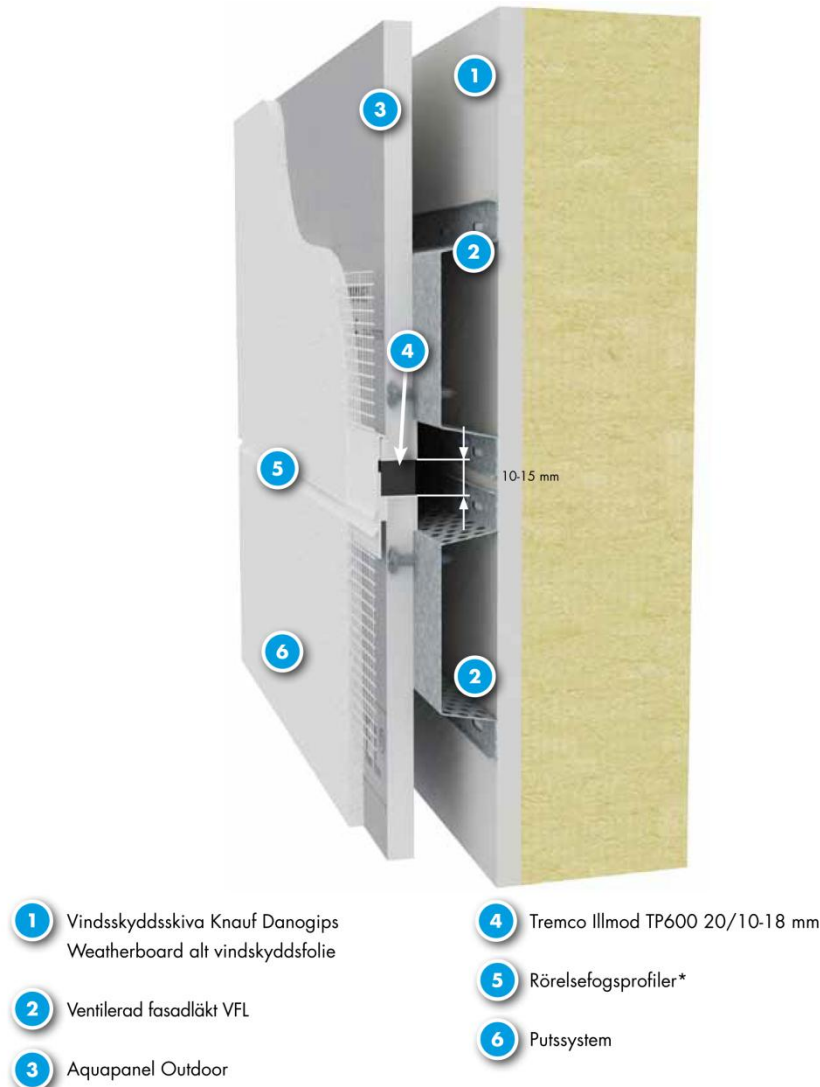
Under arbetets gång utfördes även en experimentell studie på fyra olika typer av provkroppar. Simulering i datorprogrammen av provkropparna genomfördes för att kunna jämföra med den experimentella studien och därmed verifiera metodens trovärdighet.

1.4. Avgränsningar

Rapporten studerar först och främst momentana förändringar som äger rum under korta perioder, upp till ett dygn. Kritiska temperatur- och fuktvariationer beräknades med hjälp av klimatdata från SMHI. Arbetet begränsas genom att endast de dygnsvariationer som ansågs ha störst påverkan och störst variation valdes. I arbetet var det bara provkroppar bestående av en cementbaserad skiva och puts som undersöktes. Kroppen ska efterlikna en skiva som är fastskruvade i bakomliggande stål- eller träläkt. Inga studier utfördes alltså på hur två skivor samverkar eller hur fogmassan påverkas. Provkropparna tilläts expandera fritt och på så sätt kunde man beräkna hur mycket en fri skiva deformeras och vilka spänningar man kan tänkas få mellan två skivor.

2. Materialbeskrivning

Aquapanel Outdoor fasadsystem utgör yttre delen i ett tvåstegstätat fasadsystem. Längst ut finns putsbruket följt av Aquapanel skivan och sedan en ventilerad luftspalt. Montering kan till exempel ske på ställäkt och träreglar (Knaufdanogips, 2012). Se figur 2.1.

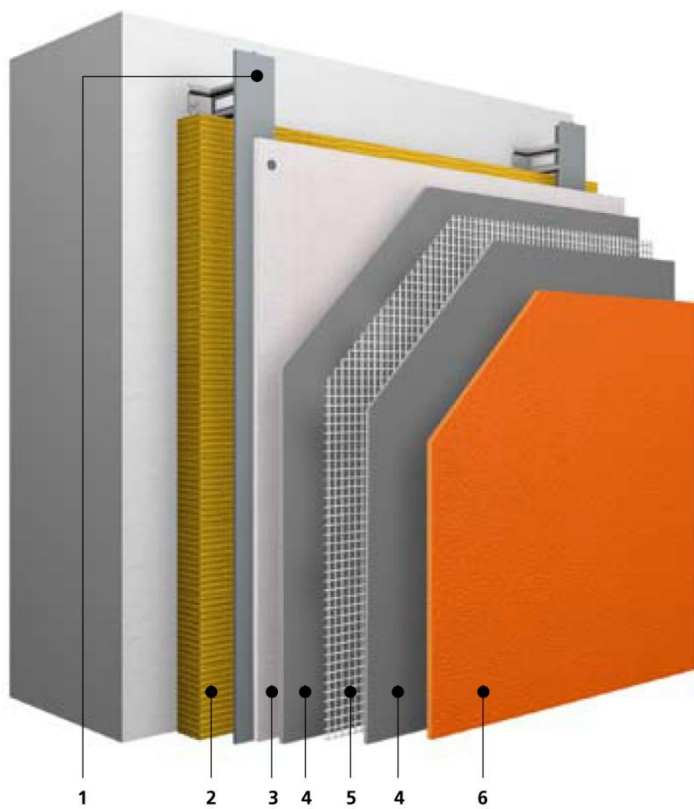


* Om en obruten vägg längd/vägghöjd överstiger 15 m ska en vertikal/horisontell rörelsefog göras. Horisontella rörelsefogskarvar förskjuts minst 100 mm i sidled mellan övre och undre listen.

Figur 2.1. Exempel på tvåstegstätning enligt Knauf med horisontella ställäkt (Knaufdanogips, 2012).

Figuren 2.1 ovan visar en modell av hur en tvåstegstätad fasad med Aquapanelskiva och puts kan se ut. Enligt figuren är skivan och putsen monterade på en ventilerad horisontell ställäkt. I detta examensarbete studeras skivans och putsens rörelser i en modell lik den enligt figuren ovan. Den enda skillnaden som har en påverkan är att i vår studie är den ventilerade horisontella ställäkten ersatt med en vertikal ställäkt.

Naturligtvis finns det andra former av tvåstegstätning där skivan är annorlunda än Aquapanel. Ett sådant exempel är StoVentec fasadsystem där bland annat Aquapanel skivan är ersatt med en fasadskiva som är tillverkad av ett återvunnet glasmaterial. Hela strukturen illustreras i figur 2.2 nedan.



Perfekt byggsatsprincip:

1 Underkonstruktion:

Underkonstruktion av trä, stål eller aluminiumprofiler som den putsbärande skivan monteras på. Förankras generellt med infästningar som är godkända av byggnadsinspektionen.

2 Ev. isolering:

Mineralullsskiva med vindpapp, icke brännbart. Tjocklek variabel: beroende på isoleringsbehovet.

3 Putsbärare:

StoVentec fasadskiva
Putsbärarskiva av återvunnet glas (expanderat glasgranulat), vävarmerad på båda sidorna, 12 mm tjocklek, format 1,20 x 0,80 m och 1,20 x 2,40 m, för fler format se prislistan, låg vikt ca 6 kg/m², frostbeständig.

4 Armeringsputs:

Sto Armeringsputs/StoArmat Classic/StoLevell Classic
Organiskt bunden bruksfärdig armeringsmassa. Hög elasticitet, spricksäker, motståndskraftig mot mekanisk belastning. Alternativt: Sto Systemputs; Sto Primer på skivan innan grundputsning med Sto Systemputs därefter Sto Primer innan slutbeläggning.

5 Armeringsväv:

Sto Glasfiberväv
Alkaliebeständig armeringsväv med optimerad kraftupptagning. Alternativt: Sto AES Armeringsväv - som skydd mot elektrosmog. Avskärmning av över 99% av den högfrekventa elektromagnetiska strålningen. Dämpar lågfrekventa elektriska fält.

6 Slutbeläggning:

StoLotusan/StoSilco (Silikonhartspots)/Stolit (organisk puts)
Cementfri, bruksfärdig ytputs. Hög väderbeständighet, låg nedsmutsningsbenägenhet (beroende på ytputsen), hög elasticitet, mekaniskt belastningsbar. Filmkonserverade för förbättrad motståndskraft mot mikroorganismer. Alternativt: Keramik, glasmosaik, natursten. Frostbeständiga och klistringsbara direkt på byggarbetsplatsen.

Figur 2.2. Stos struktur av tvåstegstätade fasader (Sto, 2012).

2.1. Skivor av typen Aquapanel

Aquapanelskivan, som är tillverkad av Knauf Gips KG i Tyskland, består av Portlandcement, perlit, dolomit, flygaska och glasfiber. Skivans standardmått är 1200*900*12,5 mm. Montering sker med antingen vertikala eller horisontella läkt, med centrumavstånd på 600 mm. Undantag är fönster och i randzoner, då centrumavståndet blir tätare (Molnär, 2010).

Ballast är ett samlingsnamn för bergartsmaterial som används för betongtillverkning. Beteckningarna sker beroende på kornstorlekarna. Aquapanelskivan och putsen består av bland annat tre stycken ballasttyper, perlit, flygaska och dolomit, som används för speciellt bruk. Dessa beskrivs lite mer utförligt nedan.

Perlit är en vulkanisk bergart som ofta används i bruk för att förbättra isolering. Under upphettning förångas/expanderar vattnet i mineralkornen och bildar luftbubblor som innesluts i mjukt glasartat skal. Luftbubblorna ger perliten dess densitet och isoleringsförmåga. Perlit är ett värmeisoleringsmaterial som är vattenavvisande och kapillärbrytande. Det är ett isoleringsmaterial med stora användningsområden (Tegelmäster, 2012).

Flygaska är ett vanligt tillsatsmaterial till betong, som används för att få en bättre arbetbarhet, höja hållfastheten m.m. Det består till största delen utav aluminiumsilikatglas och är en restprodukt från kolpulvereldade kraftverk och värmeverk. Flygaskans reaktivitet mäts på glashalten, som ofta ligger mellan 60 till 90 procent (Burström, 2007).

Dolomit är en kemisk eller naturlig blandning av kalcium och magnesiumkarbonat, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Det används ofta som ballast på grund av sin hårdhet och låga densitet. Den är även effektiv mot syror (Specialty Minerals, 2012).

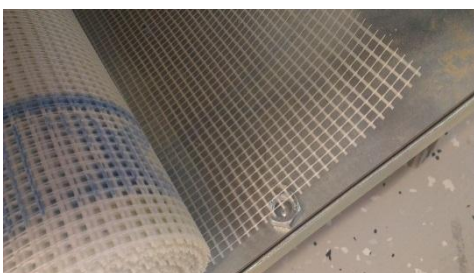
Glasfiber fungerar i detta fall som armering och beskrivs i kapitel 2.3 lite mer utförligt.

2.2. Puts som används på Aquapanel Outdoor

Putsen som används på Aquapanel Outdoor fasadsystem kan vara av typen Weber Therm 261 Putsbruk EF. Putsbruket är tillverkat av de tre beståndsdelarna bindemedel, ballast och tillsatsmedel. Bindemedlet som putsbruket består av är i sin tur bestående utav kalciumhydroxid och ballasten är bestående utav sand och dolomit. Sammansättningen gör putsen mindre känslig för mekaniska skador och minskar risken för sprickor. Detta för att sammansättningen gör putsen motståndskraftigt och elastiskt (Weber, 2012).

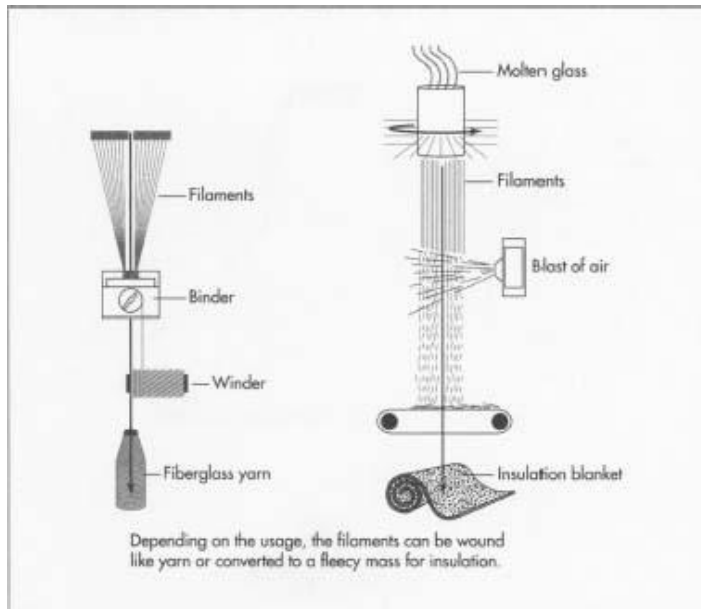
2.3. Glasfibernet

Glasfiber är ett material använt i många olika avseenden, i detta avseende som så kallad glasfiberarmering i form av ett glasfibernet (se figur 2.3).



Figur 2.3. Glasfiberarmering

Glasfiber tillverkas av en blandning av mineraler och kemikalier som smälts ned till glas. I huvudsak består glasfiber utav kvartssand, kalksten och natriumkarbonat. Man tillsätter även andra mineraler eller kemikalier för att utöka till en viss beständighet. Materialen bränns och smälts under en konstant temperatur på 1371 °C. Det smälta material förs sedan ner till utformningsutrustningen där det sedan utformas till sitt ändamål (se figur 2.4) (Sheppard, 2012).



Figur 2.4. Glasfiberväv- respektive glasullstillverkning (Sheppard, 2012)

2.4. Montering

Montering av skivorna kan ske på horisontella eller vertikala trä- eller ställäkt. En horisontell ställäkt brukar förses med vertikala hål som gör det lättare för luft att tränga igenom och förbättra luftomsättningen, se figur 2.5, (Lindab).



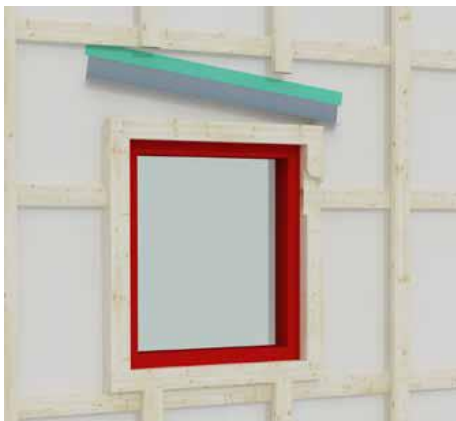
Figur 2.5. Ventilerad ställäkt (Lindab)

Skivorna fästes mot ett system av vertikala eller horisontella läkter som skruvas eller spikas fast till stommen. Enligt figur 2.6 sker monteringen med både vertikala och horisontella läkter vilket inte är så praktiskt eftersom behovet av utrymme ökar då läkterna är korsställda. I många fall monteras antingen vertikala eller horisontella läkter. Det vanligaste avståndet mellan läkterna är 600 mm.



Figur 2.6. Montering av läkt (Knaufdanogips, 2012)

Runt fönster används extra läkter (se figur 2.7).



Figur 2.7. Läkt runt fönster med vattenavledande plåt (Knaufdanogips, 2012)

Skydd ska även monteras mot möss och andra skadeinsekter. Härfter skruvas skivorna fast med förskjutna skarvar med en distans på tre till fem millimeter. För att undvika sprickbildningen monteras skivorna med en halv längds förskjutning och därmed undviks de genomgående fogarna (se figur 2.9).



Figur 2.9. Placering av skivorna (Knaufdanogips, 2012).

Spikarna eller skruvarna ska ligga på ett kantavstånd på cirka 15 mm (avståndet är en säkerhet för att förhindra att skivan spricker). Det är också viktigt att tänka på att skivskarvar inte får ligga i kant med karmsidorna (se figur 2.10).



Figur 2.10. Rätt placering av skivor kring karmsidor (Knaufdanogips, 2012).

Efter montering skall alla skarvsidor spacklas och armeras med en strimla av glasfibernet. Eftersom det uppstår stora spänningar runt skarvarna bör dessa även förses med glasfibernet med glidskikt (se figur 2.11).



Figur 2.11. Spackling och armering av skarvar (Knaufdanogips, 2012).

Nästa steg är att putsa hela väggen med 5-7 mm puts. Denna puts täcks sedan med armeringsnätet som man arbetat in i den färska putsen (se figur 2.12).



Figur 2.12. Putsning av skivans yta (Knaufdanogips, 2012).

När denna yta härdat putsas väggen ännu en gång med ca 2 mm tjockt lager puts. Denna puts är antingen färgad från början eller målas senare när den torkat ut (Knaufdanogips, 2012).

3. Simulering av temperatur- och fuktvariationer

WUFI är ett datorprogram som används för att simulera temperatur- och fuktvariationer för byggnadsdelar. Simuleringar av temperatur- och fuktvariationer utfördes med programmet för fasader av putsade ventilerade skivor i Lund och Stockholm för året 1998. Simuleringen gör en endimensionell modell av väggen där resultatet blir en fukt – och temperaturvariation för den angivna modellen. Programmet tillåter även att beräkna fuktinnehåll samt temperatur i godtyckliga punkter i väggen under den betraktade tidsperioden. Modellens trovärdighet bör verifieras genom mätningar på lämpliga studieobjekt. Enligt avgränsningarna beskrivna ovan valdes de dygn med största variation för temperatur, T, och relativ fuktighet, RF.

Fasadriktningens påverkan undersöktes också och där stod två väderstreck i fokus i form av sydväst och nord. Sydväst valdes för att det i Skåne är riktningen för slagregn och påfrestar således fasaden mest med dess olika väderförhållanden. Sedan valdes riktningen nord för att det är den riktning som påfrestas minst av slagregn och man därmed lättare ska kunna identifiera påverkan av fasadens position.

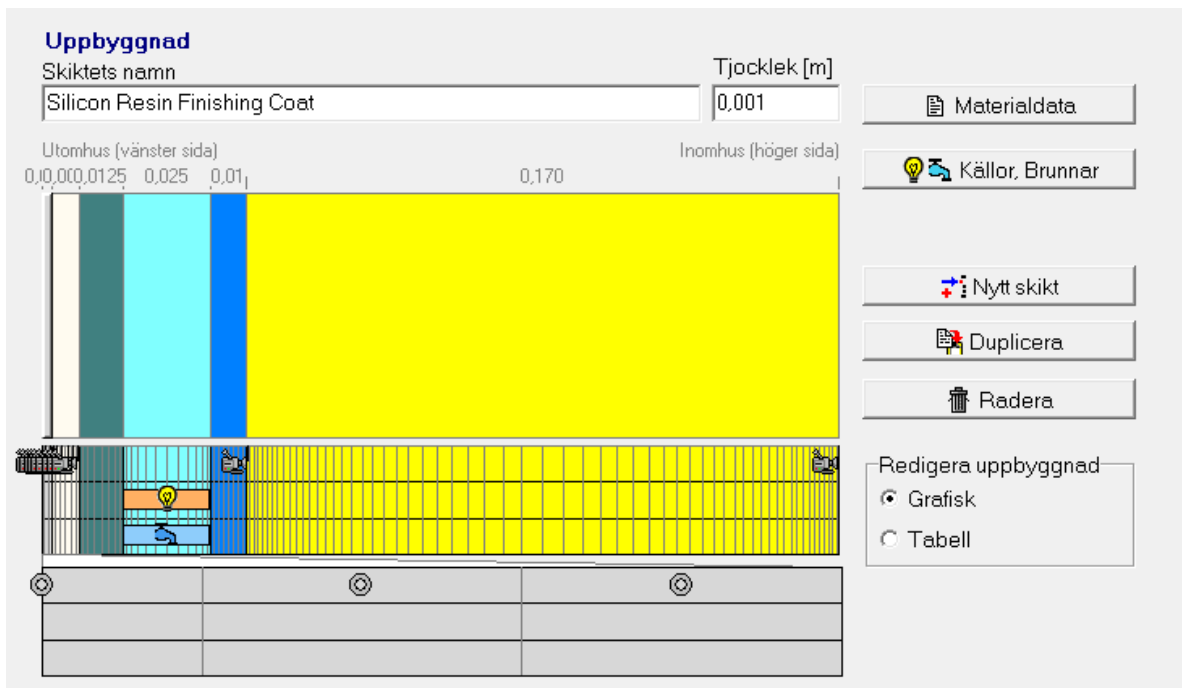
3.1. Modellen i WUFI

För att kunna genomföra simuleringen i WUFI krävs ett antal inställningar i programmet innan ett resultat kan erhållas. Till att börja med skall en avbildning av väggens tvärsnitt skapas i programmet med ingående material och deras fysikaliska egenskaper så som värmeledningsförmåga, densitet, porositet osv. Följande steg är att bestämma den tilltänkta byggnadens orientering, lutning och ungefärliga höjd. Därefter skall väggens egenskaper så som ytövergångskoefficient, värmemotstånd och absorptionsförmåga matas in. Väggens värmemotstånd är beroende av de ingående materialen medan absorptionsförmågan påverkas kraftigt av fasadens ytbehandling. Sista steget vad gäller konstruktionen är bestämning av begynnelsevillkoren där det bestäms vid vilken relativ fuktighet beräkningarna skall starta ifrån och därmed vilket vatteninnehåll materialen har vid motsvarande relativ fuktighet. Påföljande inställningar är längden på den simulerade perioden och vilka resultat programmet WUFI skall registrera. Med tanke på examensarbetets målsättning skall WUFI beräkna fukt – och värmetransporten genom väggen. Till sist innan ett resultat kan erhållas måste både utomhus och inomhus klimat anges. Eftersom inomhusklimatet inte har någon inverkan på de aspekter som iaktas i detta examensarbete väljs ett standard inomhusklimat som är ingående i programmet. Däremot har utomhusklimatet en stor påverkan på både Aquapanelen och putsen. Klimatfiler från 1998 i Lund och Stockholm används för denna simulering. Dessa klimatfiler utgörs av SMHI-mätningar med efterföljande behandling enligt Wallentén (2010). Dessa filer innehåller alla timvärden på solinstrålning, vindhastighet, temperatur och relativa fuktigheter under året 1998.

Innan WUFI, med inmatade inställningar, körs för att få ut resultaten är det möjligt när som helst innan simuleringen att placera ut observationspunkter i varje material i modellen. Det finns en begränsning av hur många sådana observationspunkter som kan placeras ut i varje material och det är då beroende av materialets tjocklek. Genom att placera ut dessa observationspunkter fås inte endast fukt – och temperaturvariationen ut utan också vid vilket läge i väggen dessa variationer sker, dvs en fukt- och temperaturprofil över väggens tjocklek.

Lund och Stockholm har olika klimatförutsättningar vad gäller klimat och slagregnets riktning mm. Dessa olika förutsättningar iaktas när inställningarna i WUFI ändras och anpassas till respektive ort.

Figur 3.1 nedan visar modellens utseende i WUFI. Se bilaga 1 för inställningar och materialegenskaper.



Figur 3.1. Modellen av väggen i WUFI.

Färgerna i figuren ovan illustrerar de olika materialen i väggen där utsidan är längst till vänster.

- Det yttersta skiktet består av en silikonhartsfärg färg med en tjocklek på en millimeter (sett från vänster).
- Innanför färgen är putsen med en tjocklek på åtta millimeter.
- Putsen och färgen är applicerade på en Aquapanelskiva med tjockleken 12,5 millimeter.
- Efter skivan, enligt modellen i figur 3.1 ovan, kommer en luftspalt (25 mm), ångspärr (10 mm) och mineralull (170 mm).

Tabell 3.1 beskriver observationspunkternas läge (djup) i de material som studeras i examensarbetet. Med andra ord är inte mineralullen och ångspärren av någon större betydelse och iakttas därför inte här. Inga observationspunkter studeras i luftspalten heller eftersom de luftomsättningar som uppstår behandlas separat i nästa kapitel. I tabell 3.1 är ytfärgen ytterst (längst till vänster enligt figur 3.1) och därefter kommer puts och sen Aquapanelskivan.

Tabell 3.1. Observationspunkternas läge (djup) i de olika materialen.

	Material/ Observationspunkt	Djup(mm) (räknat från utsidan)
Ytfärg	1	0,2
	2	0,6
	3	1,0
Puts	4	1,5
	5	2,7
	6	4,2
	7	5,8
	8	7,3
	9	8,5
Aquapanel	10	9,5
	11	10,8
	12	12,3
	13	14,2
	14	16,3
	15	18,2
	16	19,8
	17	21,0

3.1.1. Luftomsättning i luftspalten

De luftomsättningar som uppstår i luftspalten beror i huvudsak på två faktorer, nämligen termikens och vindhastighetens påverkan (Falk, 2010). Vad gäller termiken så är luftomsättningen en funktion av solinstrålningen vilket sker endast på dagtid då det inte finns någon solinstrålning nattetid. Den andra faktorn som beaktades var luftomsättningen som i huvudsak är en funktion av vindhastigheten. Denna anpassning utfördes i Matlab och mätdata användes för att kunna dra en slutsats för hur stora luftomsättningarna i spalten var under året 1998 i Lund respektive Stockholm. Figurerna 3.2 och 3.3 samt tabellerna 3.2 och 3.3 nedan visar de resultat som erhöles från mätningarna av Jörgen Falk.

Det skall poängteras att mätningarna har utförts under följande förutsättningar (Falk, 2010):

- Vind avser vindhastigheten på 5 m höjd vid provhuset
- Luftomsättning som funktion av vindhastigheten ges som två kurvor vilka representerar en övre och en undre gräns
- Luftomsättningen av termik är räknad vid utetemperatur 10 grader. Vid lägre temperatur blir luftomsättningen något högre och vice versa.
- Höjden på provhusets vägg är 2.15 m (och därmed även luftspalten).
- Provhushets fasad vetter mot söder.

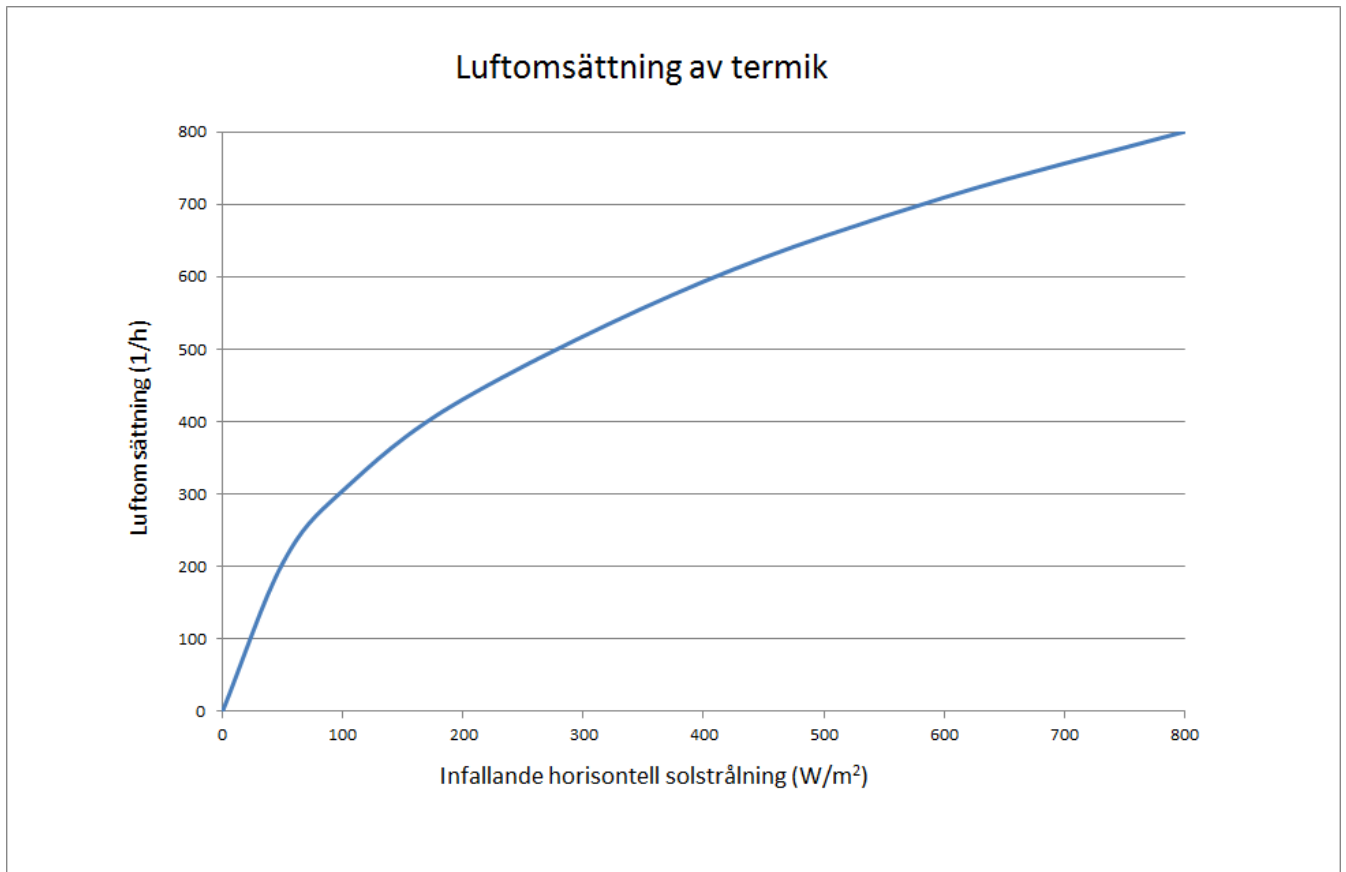
Beräkningarna utfördes på en luftspalt vars tjocklek är 25 mm.

Tabell 3.2. Luftomsättningen som funktion av termiken (Falk, 2010).

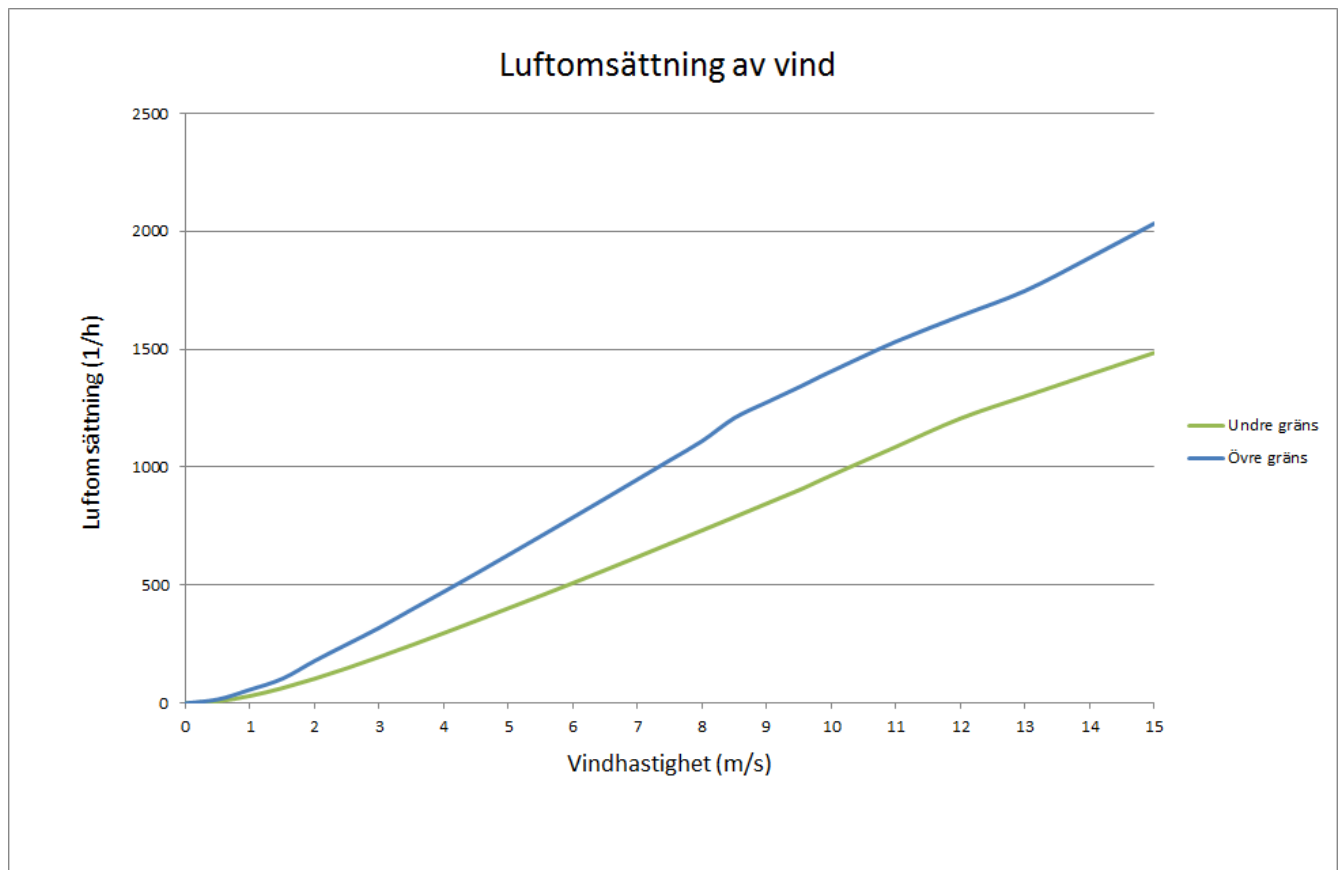
Solstrålning W/m ²	Lufthastighet (cm/s)	Luftomsättning (1/h)
0	0,00	0
50	12,21	204
100	18,21	305
200	25,74	431
400	35,44	593
600	42,36	709
800	47,79	800

Tabell 3.3. Luftomsättningen som funktion av vindhastigheten (Falk, 2010).

Undre gräns			Övre gräns	
Vindhastighet	Lufthastighet	Luftomsättning	Lufthastighet	Luftomsättning
(m/s)	(cm/s)	(1/h)	(cm/s)	(1/h)
0	0,00	0	0,00	0
0,5	0,48	8	0,95	16
1	1,83	31	3,43	57
1,5	3,81	64	6,20	104
2	6,20	104	10,72	179
2,5	8,87	149	14,90	249
3	11,72	196	19,10	320
3,5	14,68	246	23,69	397
4	17,74	297	28,20	472
4,5	20,85	349	32,82	550
5	24,03	402	37,53	628
5,5	27,20	455	42,26	708
6	30,42	509	47,04	788
6,5	33,71	564	51,83	868
7	37,03	620	56,66	949
7,5	40,39	676	61,50	1030
8	43,75	733	66,35	1111
8,5	47,13	789	72,20	1209
9	50,53	846	76,16	1275
9,5	53,93	903	79,99	1339
10	57,67	966	84,00	1407
11	64,89	1087	91,51	1532
12	72,08	1207	98,02	1641
13	77,68	1301	104,38	1748
14	83,21	1393	112,74	1888
15	88,69	1485	121,42	2033

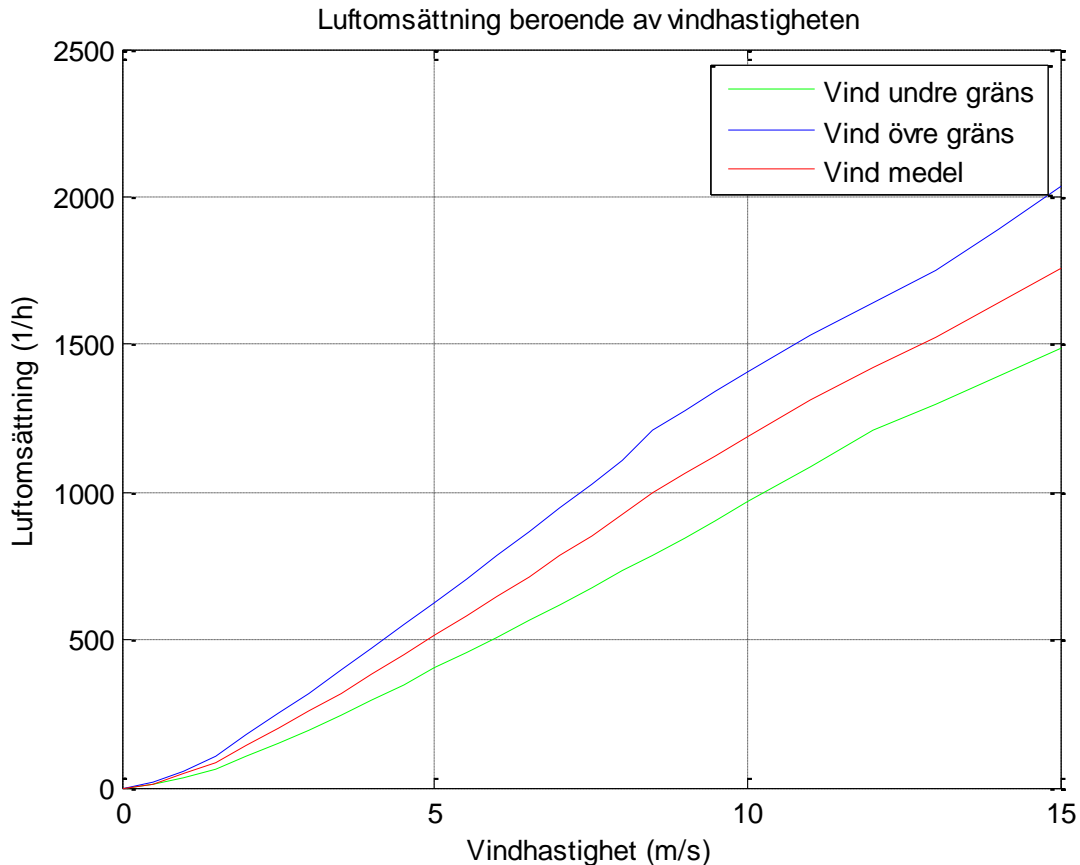


Figur 3.2. Luftomsättningen som funktion av solinstrålningen, (Falk 2010).



Figur 3.3. Luftomsättningen som funktion av vindhastigheten, (Falk 2010.)

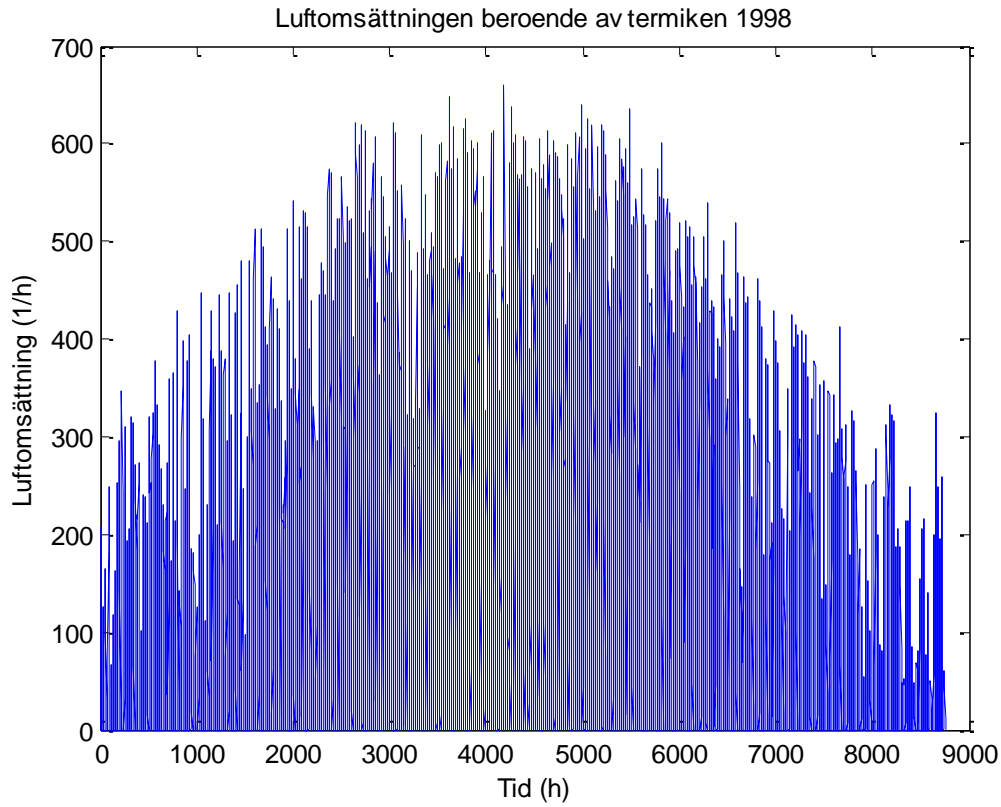
Noterbart är att i figur 3.3, för luftomsättningen som funktion av vindhastigheten, har mätningar gjorts för en undre och övre gräns. I detta examensarbete räknades luftomsättningen på grund av vinden fram med hjälp av en graf som representerar medelvärdet av den övre och undre gränsen, se figur 3.4.



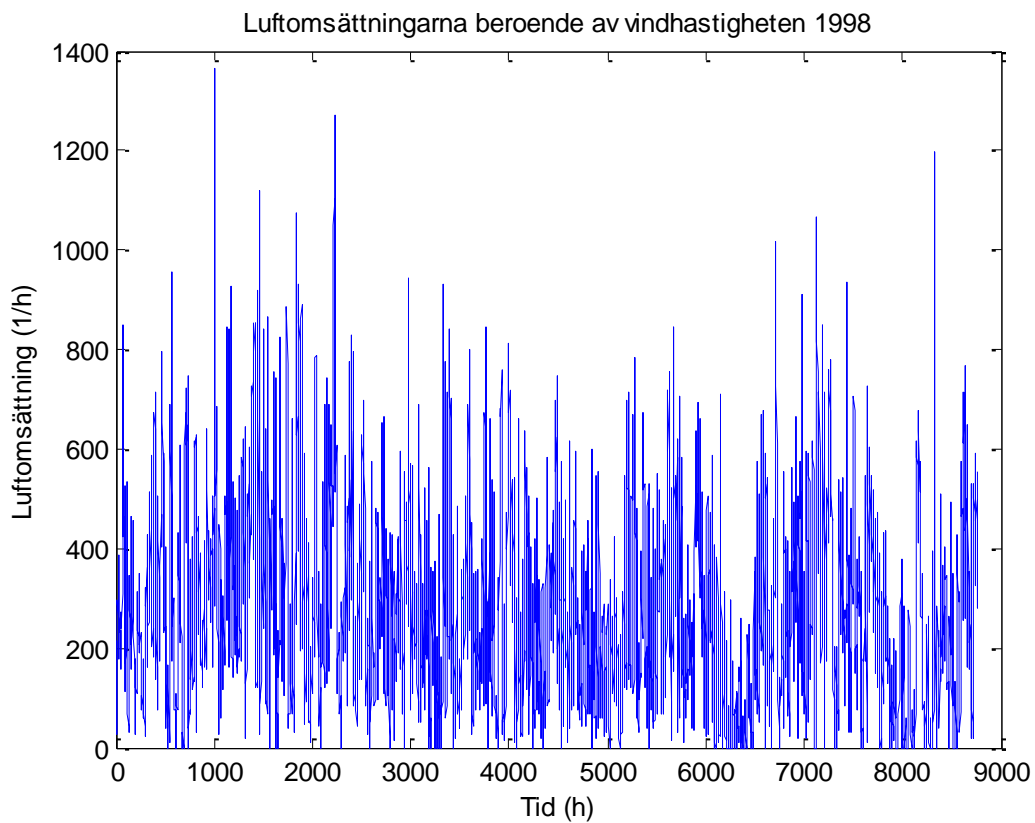
Figur 3.4. Luftomsättningen som funktion av vindhastigheten med medelvärde, (Falk 2010)

Enligt ovan har luftomsättningen som funktion av två faktorer beskrivits och dessa är en grund för Matlab-beräkningarna. Matlab-beräkningarna skall i sin tur generera de luftomsättningar som motsvarar värden för vindhastighet och solinstrålning från 1998 och är baserade på funktionerna ovan. Eftersom de värden som skall utläsas sällan är jämna heltal och det är stor osäkerhet att avläsa från graferna med ”ögonmått” användes en funktion i Matlab som interpolerade dessa värden. Enligt figur 3.4 rör det sig om linjära funktioner och därför ansågs det lämpligast att använda linjär interpolation. Den linjära interpolationen utfördes för att kunna erhålla värden på de luftomsättningar som uppstår på grund av vindhastigheterna från 1998. Eftersom värdena på vindhastigheterna från 1998 är skilda från de uppmätta värdena av Jörgen Falk enligt tabell 3.3 innebär det att en linjär interpolation är lämplig för de vindhastigheter som hamnar mellan de uppmätta värdena. Resultatet från Matlab-beräkningarna tillämpades därefter som indata åt WUFI.

Nedan visar figurerna 3.5 och 3.6 luftomsättningens variation för året 1998. För luftomsättningarna som är beroende av vinden har ett medelvärde tagits fram för den övre och den undre gränsen.



Figur 3.5. Luftomsättningen i spalten (25 mm) året 1998 på grund av termiken.



Figur 3.6. Luftomsättningen i spalten (25mm) året 1998 på grund av vindhastigheten (medelvärde).

Vidare gäller att den slutgiltiga luftomsättningen för hela året 1998 blir en delvis summering av de två olika aspekterna som iakttagits, det vill säga termik och vind. Eftersom solen endast skiner på dagen anses den ha större påverkan på luftomsättningen under denna period medan vinden blir den dominerande faktorn under nätterna, då det inte finns någon sol.

Luftomsättningarna under natten beräknades med vind som den dominerande faktorn medan det under dagen var solinstrålningen som var den dominerande faktorn. Observera att luftomsättningen på grund av termik och vind inte summeras, utan den dominerande faktorn används. Det vill säga luftomsättningar på grund av sol under dagen och på grund av vind under kvällen.

Samma beräkningar utförs för Stockholm förutom att klimatdata från aktuell ort används. När detta är utfört har en luftomsättning tagits fram och kan användas som indata till WUFI.

Matlab-koden för beräkning av luftomsättningarna åskådliggörs i bilaga 2.

3.1.2 Val av kritiska scenarier

För att kunna identifiera vilka scenarier som är kritiska användes både WUFI och Matlab. Första steget var att i WUFI genomföra simuleringarna med klimatdata från året 1998 (både Lund och Stockholm). Ur simuleringen erhöles fukt- och temperaturvariationerna för varje observationspunkt i väggen. Punkternas läge i väggen var enligt tabell 3.1 ovan.

Andra steget för att få fram kritiska scenarier var att analysera resultaten från WUFI simuleringarna till en Matlab kod som skulle få fram det dygn som hade störst fukt- och temperaturskillnad under året 1998. Dessa fukt- och temperaturskillnader beräknas för varje enskild observationspunkt samt även mellan utsidan av putsen till utsidan av Aquapanelen (det vill säga från observationspunkt ett till sjutton). Kontroll utfördes även för att bestämma det dygn vars största fukt- och temperaturskillnad var i endast en observationspunkt. För Matlab-koderna se bilaga 4.

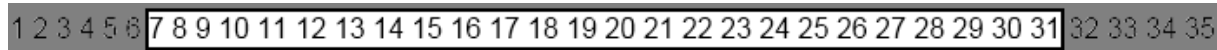
Vidare användes dessa resultat för beräkning av deformationen i FEM-programmet Brigade för att i viss mån kunna förutsäga putsade skivans beteende.

Det skall också påpekas att de skillnader i temperaturer samt relativ fuktighet som tas ut är ett absolutvärde. Med andra ord betraktas inte ifall skillnaderna är avtagande eller växande vilket anses ha liten betydelse eftersom endast skillnaden, värdet, är relevant.

3.2. Analys av temperatur och relativ fuktighet

Datamängden som fås ut från fukt- och temperatursimuleringsprogrammet är omfattande. För varje observationspunkt fås det ut en temperatur och relativ fuktighet för varje timme under ett helt år. För att ta fram kritiska temperatur- och fuktskillnader måste dessa resultat analyseras. I detta arbete görs det med hjälp av Matlab.

Undersökningen av kritiska fukt- och temperaturskillnader genomförs för 24 – timmarsperioder. För att enklast beskriva tillvägagångssättet kan man säga att man har en ”ruta”, där man endast kan se 24 timmar i taget, som man flyttar stegvis, timme för timme (se figur 3.6).



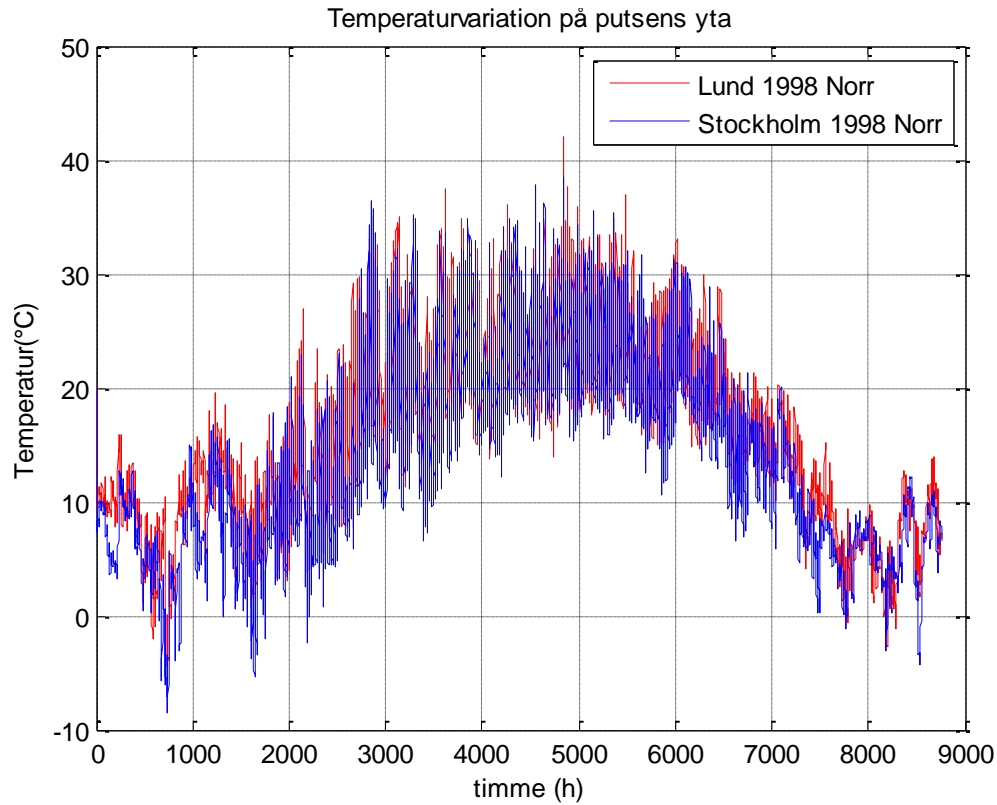
Figur 3.6. Rutan visar hur en 24-timmars period kan se ut

Detta innebär att man först undersöker från första timmen till 24:e timmen under året. Maximal och minimal temperatur respektive relativ fuktighet tas ut och en skillnad beräknas. Programmet lagrar dessa resultat och fortsätter beräkna för nästa 24 – timmars period med en timmes förskjutning, det vill säga från andra timmen till 25:e timmen under året. Denna process upprepas för hela året och alla skillnader i temperatur och skillnader i relativ fuktighet identifierades och lagras i tabeller. När detta är genomfört identifieras - de absolut största skillnaderna och när det inträffar.

I samband med simulering av temperatur och fuktförhållandena har det använts 17 observationspunkter genom väggen, där de första nio är punkter i puts och resterande i skivan. För varje punkt har det beräknats temperatur- och fuktighetsskillnad under 24 timmars perioder och lagrats för att sedan kunna ta ut maximala skillnader. Det har dessutom beräknats temperatur- och fuktighetsskillnader mellan punkt ett och tio, punkt tio och sjutton och punkt ett och sjutton. Detta görs för fyra olika fasader, två stycken i Lund och två stycken i Stockholm. De två fasaderna som undersöks i Lund vetter mot sydväst och norr. Fasaderna som undersöks i Stockholm vetter mot syd och norr.

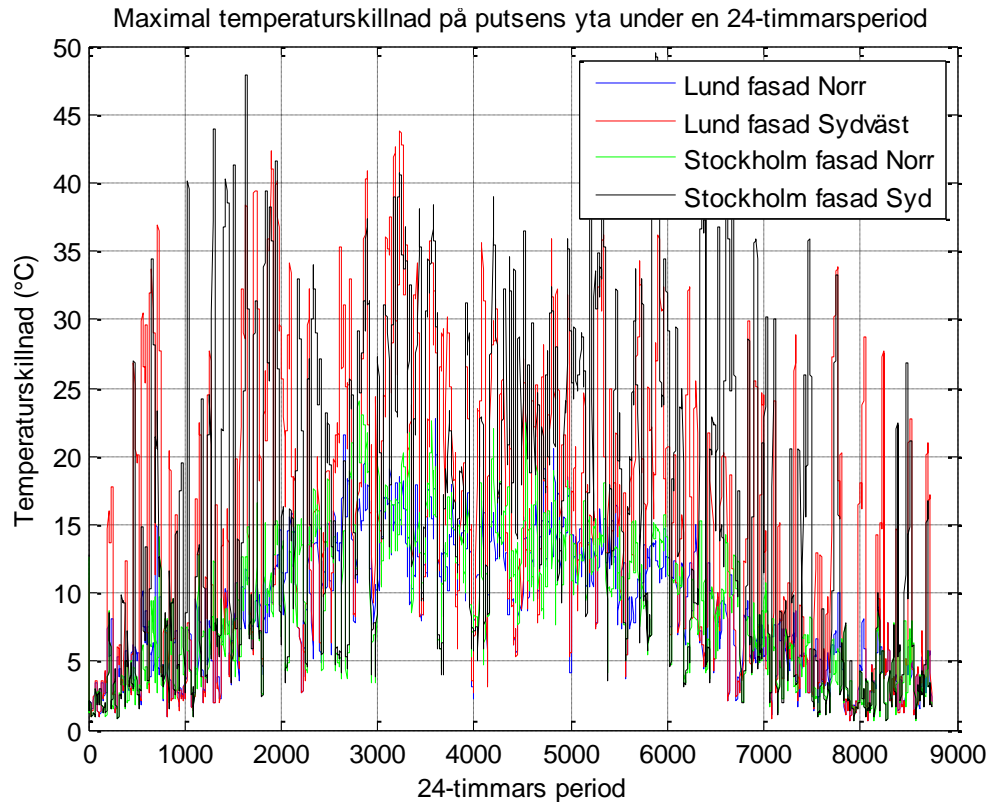
3.2.1. Resultat

Nedan följer figurer som beskriver olika resultat från Matlab. Koden kan ses i bilaga 4. Det som bör observeras är att när gradienterna tagits fram genom putsen, aquapanelskivan och konstruktionen har en skillnad tagits mellan den yttre och inre yta för kroppen som observeras. Till exempel när gradienten tagits fram genom konstruktion har en skillnad tagits mellan putsens yta och skivans yttre yta, alltså mellan punkten längst ut i konstruktionen och längst in i konstruktionen. Detta gör att gradienten genom konstruktionen blir mindre än för bara putsen eller skivan var för sig, då gradienterna tar ut varandra genom konstruktionen.



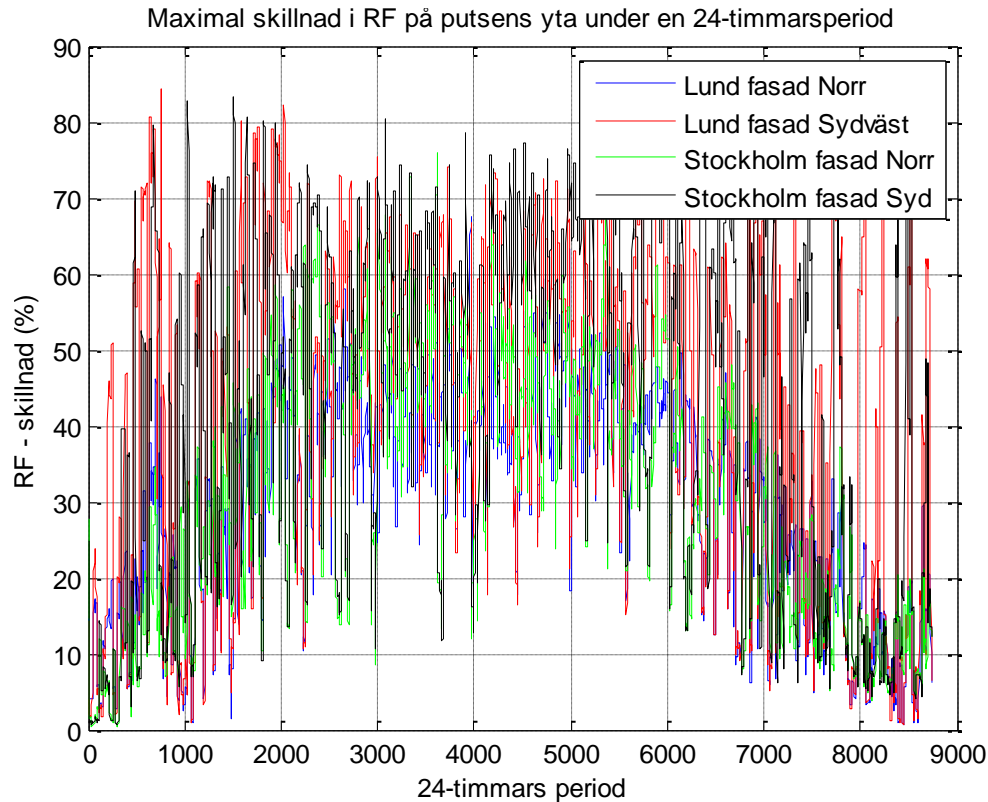
Figur 3.7. *Temperaturer på putsens yta*

I figur 3.7 visas temperaturvariationen i putsen närmst ytan (observationspunkt ett) under hela året för både Stockholm och Lund. Maximal temperatur i Lund är ca 42 °C och i Stockholm ca 38 °C. Detta inträffar i båda fall 20 juni. Minimal temperatur i Lund är ca -5 °C och i Stockholm ca -8 °C. Temperaturerna uppnås 30 januari i Lund och 31 januari i Stockholm.



Figur 3.8. Maximal temperaturskillnad på putsens yta under en 24 timmarsperiod

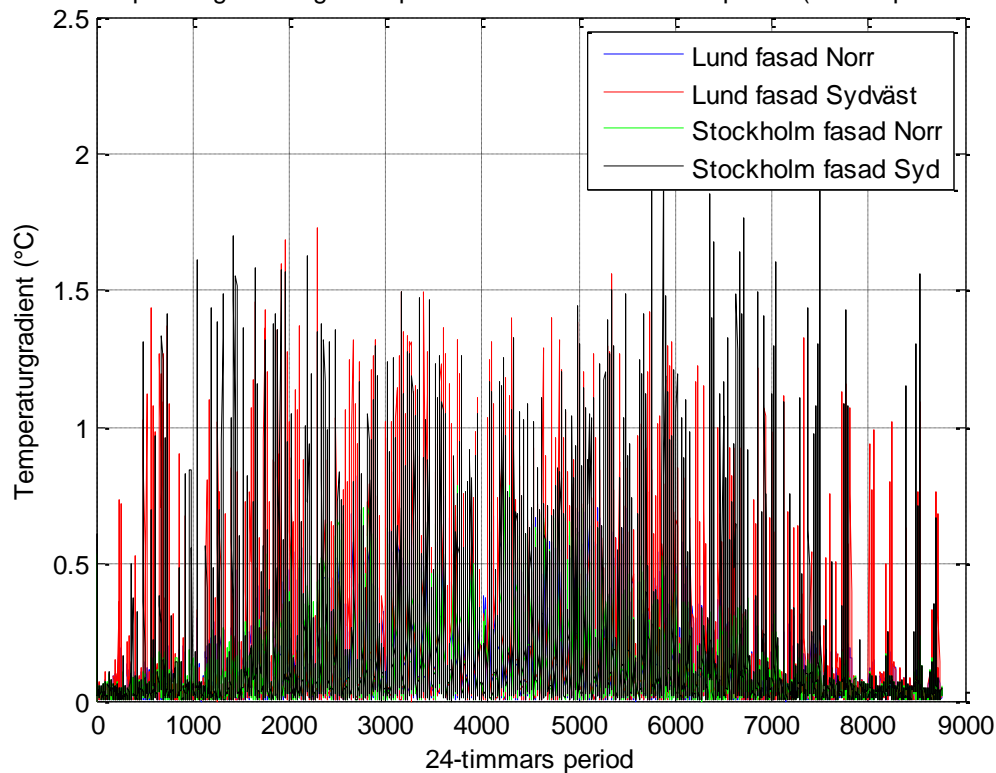
I figur 3.8 visas maximal temperaturskillnad på putsens yta under en 24 – timmarsperiod. Den maximala temperaturskillnaden för Lund, fasad riktad norr, är ca 22 °C och för fasad riktad mot sydväst ca 41 °C. För Stockholm är den maximala temperaturskillnaden ca 24 °C för fasad riktad norr och ca 45 °C för fasad riktad syd. Slutsatsen som kan dras är att temperaturen ändras mer kraftigt för fasader riktade syd. Anledningen till detta kan vara att solen större delen av dagen skiner mot fasader riktade syd och värmer som mest då. Under en 24 – timmars period sker stora skillnader i denna riktning.



Figur 3.9. Maximal skillnad i RF på putsens yta under en 24 timmarsperiod

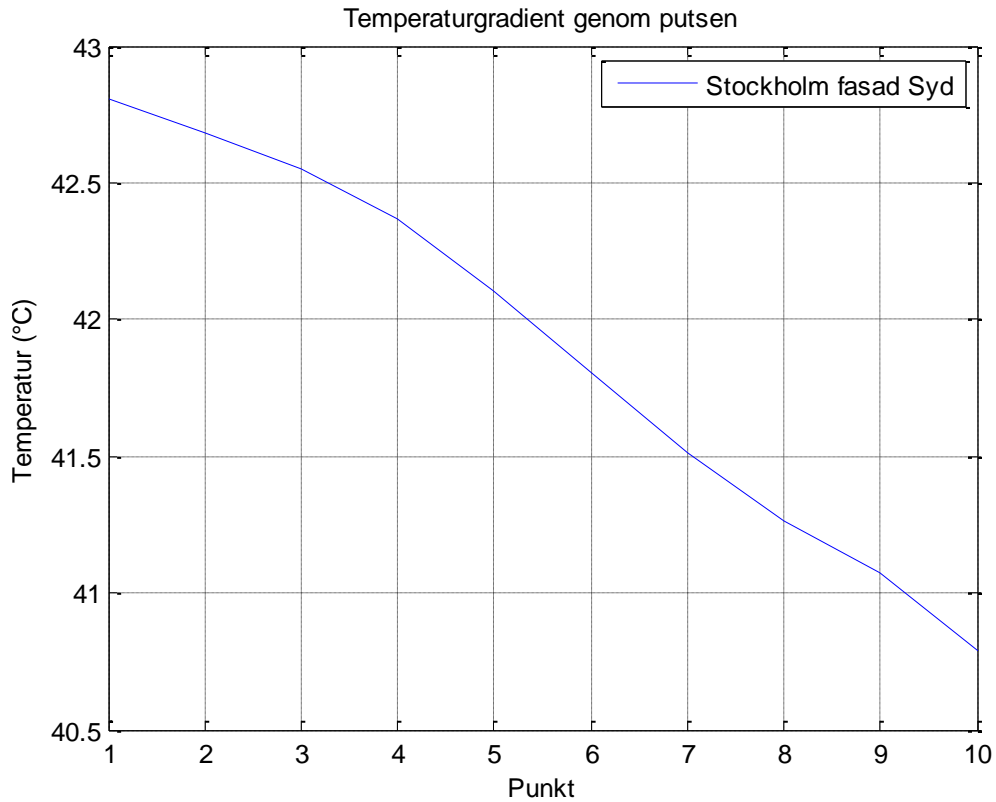
I figur 3.9 visas maximal skillnad i relativ fuktighet i väggen på putsens yta under en 24 – timmarsperiod. Den maximala skillnaden i RF för Lund, fasad riktad norr, är ca 68 procentenheter och för fasad riktad mot sydväst ca 84 procentenheter. Detta uppstår 14 juni för fasad riktad norr respektive 1 februari för fasad riktad sydväst. För Stockholm är den skillnaden i relativ fuktighet ca 76 procentenheter för fasad riktad norr och ca 84 procentenheter för fasad riktad syd. Detta uppstår 1 juni för fasad riktad norr respektive 12 augusti för fasad riktad syd. Slutsatsen som kan dras är att den relativa fuktigheten ändras mer kraftigt för fasader riktade syd. Anledningen till detta kan vara att slagregn oftast kommer in i fasader i denna riktning och dessutom skiner solen som mest mot denna fasad. Kombinationen kan under en 24 – timmarsperiod ge en stor fuktighetskillnad på putsens yta.

Maximal temperaturgradient genom putsen under en 24-timmarsperiod (mellan punkt 1 och 10)



Figur 3.10. Maximal temperaturgradient genom putsen under en 24 timmarsperiod

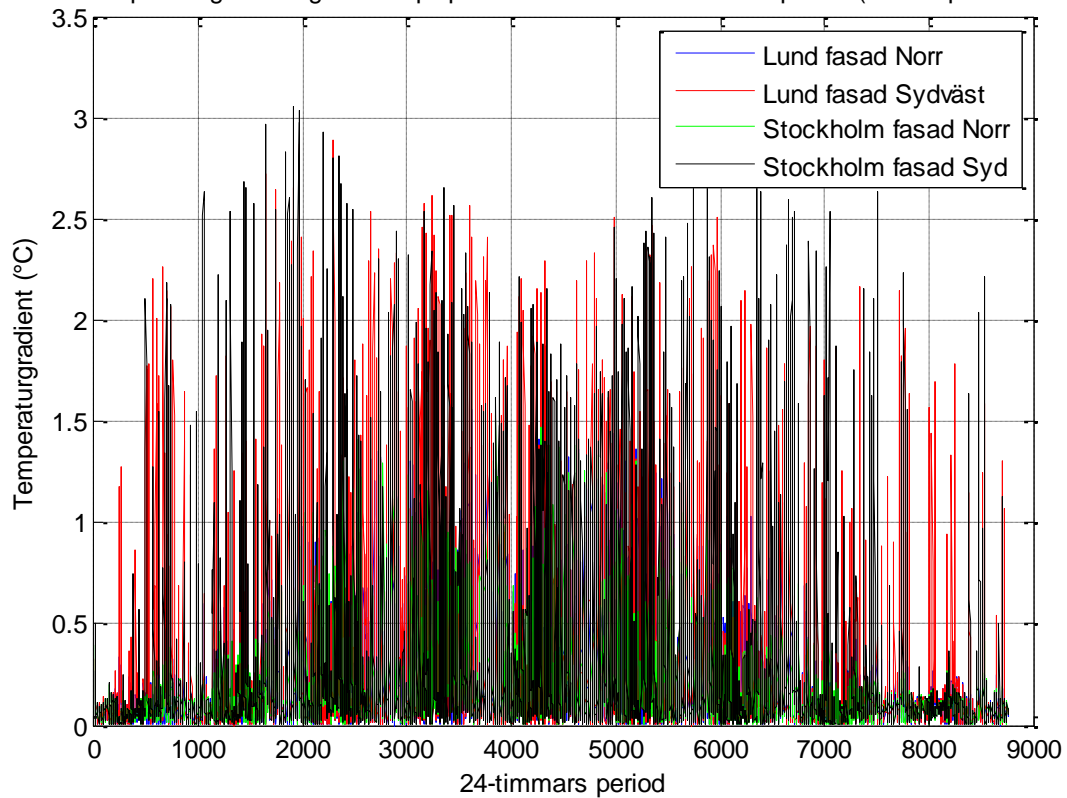
Figuren 3.10 visar maximal temperaturgradient genom putsen för varje timme, alltså under samma tidpunkt skillnaden i temperatur mellan observationspunkt ett och tio. Under en 24 – timmarsperiod tas det sedan ut maximal skillnad och det är det som visas i figuren ovan. Den maximala skillnaden är i Lund är ca 0.8 °C och ca 2 °C för fasad som vetter norr respektive sydväst. I Stockholm är den maximala skillnaden ca 0.9 °C och ca 2 °C för fasad som vetter norr respektive syd. Temperaturgradienten genom putsen för det värsta fallet, Stockholm fasad riktad syd, kan ses i figur 3.11. Allmänt kan man säga att putsen har hög värmeledningsförmåga, vilket betyder att värme lätt tränger igenom materialet. Detta gör att temperaturgradienterna inte blir stora.



Figur 3.11. Största temperaturgradient genom putsen för det värsta fallet

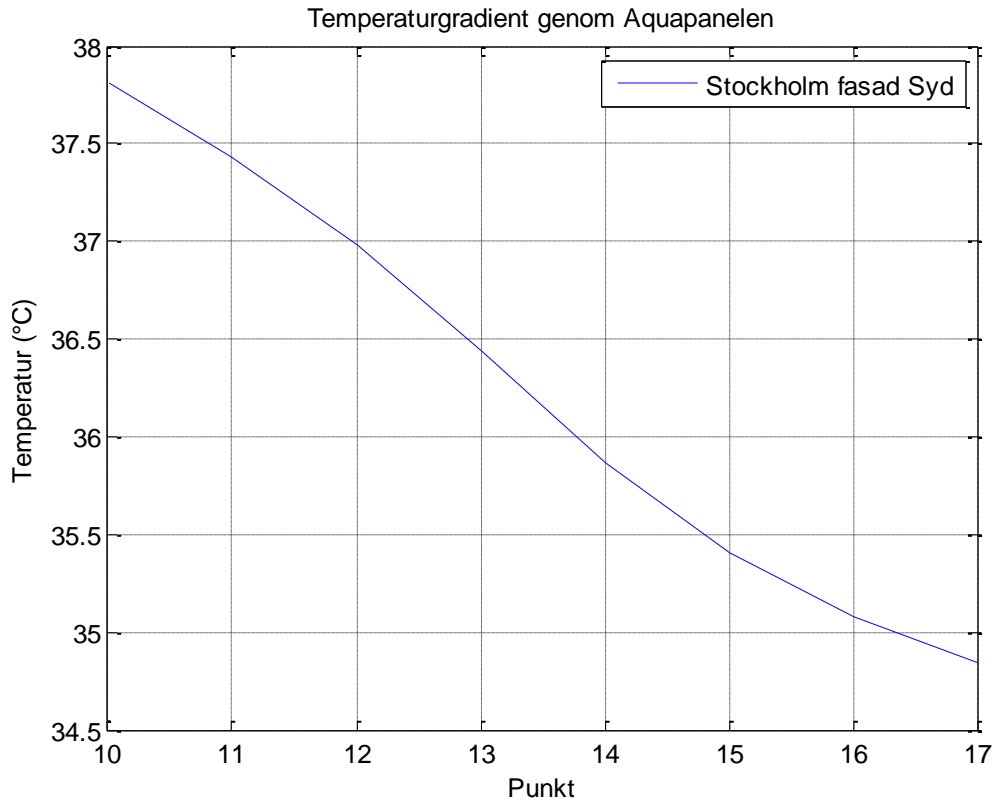
Som kan ses av figur 3.11 följer temperaturgradienten en någorlunda linjär utveckling. Detta är förväntat då värmekoefficienten är en konstant och därför bör gradienten genom ett homogent material följa en linjär utveckling.

Maximal temperaturgradient genom aquapanelen under en 24-timmarsperiod (mellan punkt 10 och 17)



Figur 3.12. Maximal temperaturgradient genom Aquapanel – skivan under en 24 timmarsperiod

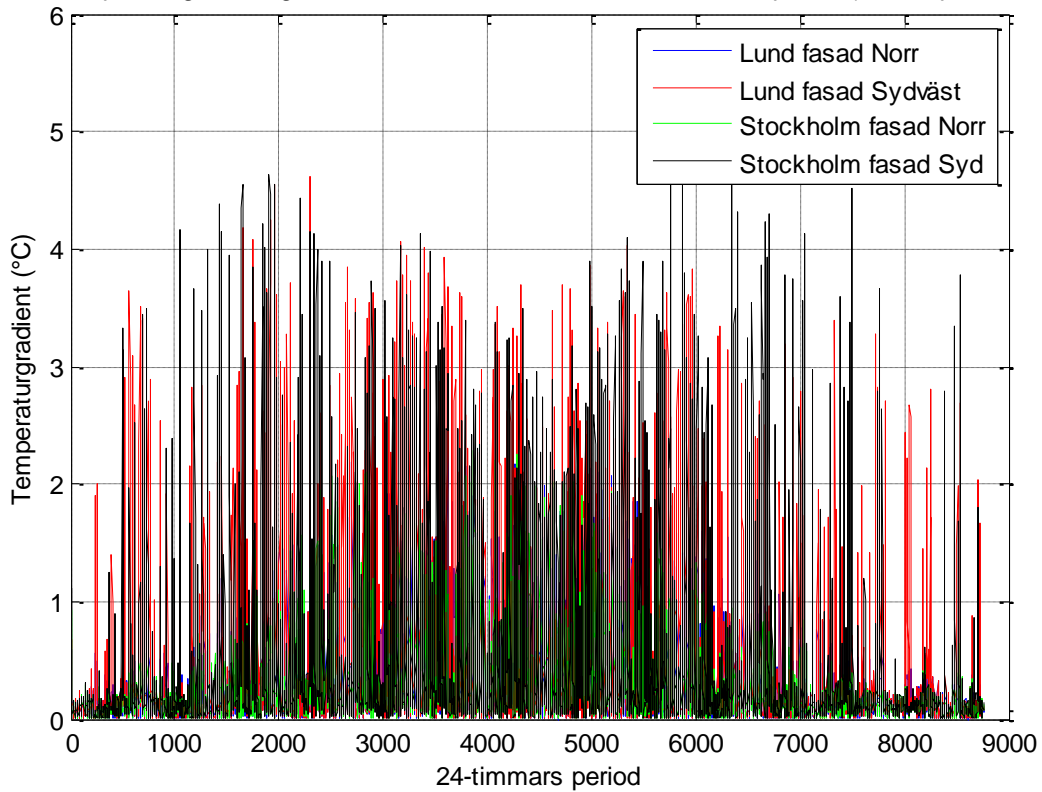
Figur 3.12 visar maximal temperaturskillnad genom Aquapanel – skivan, för varje 24 – timmars period. Den största temperaturgradienten i Lund för dessa två observationspunkter är ca 2 °C (norr) och ca 4 °C (sydväst). I Stockholm är temperaturgradienterna ca 2 °C (norr) och ca 4 °C (syd). Temperaturgradienten genom skivan för det värsta fallet, Stockholm fasad riktad syd, kan ses i figur 3.13. Temperaturgradienter mellan dessa två observationspunkter är något större vilket tyder på en lägre värmeledningsförmåga i skivan jämfört med putsen.



Figur 3.13. Största temperaturgradienten genom Aquapanelen för det värsta fallet

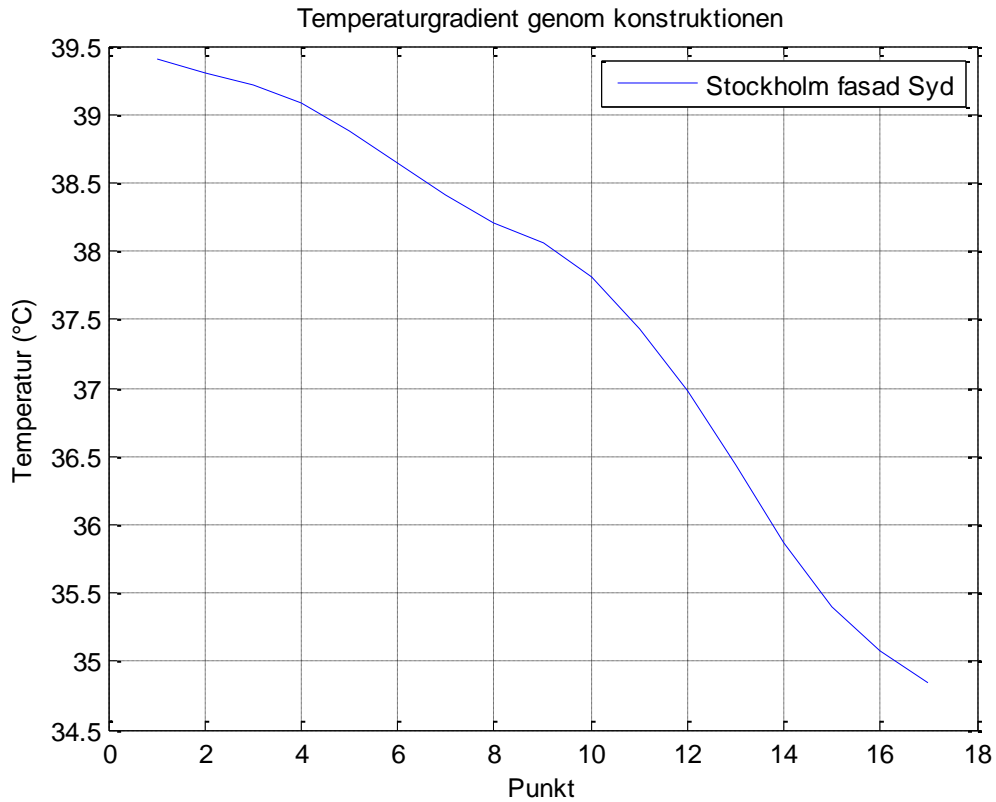
Även i detta fall är gradienten närmast linjär och samma argument gäller som för putsen i figur 3.11. För temperaturgradienten genom hela konstruktionen se figur 3.15.

Maximal temperaturgradient genom konstruktionen under en 24-timmarsperiod (mellan punkt 1 och 17)



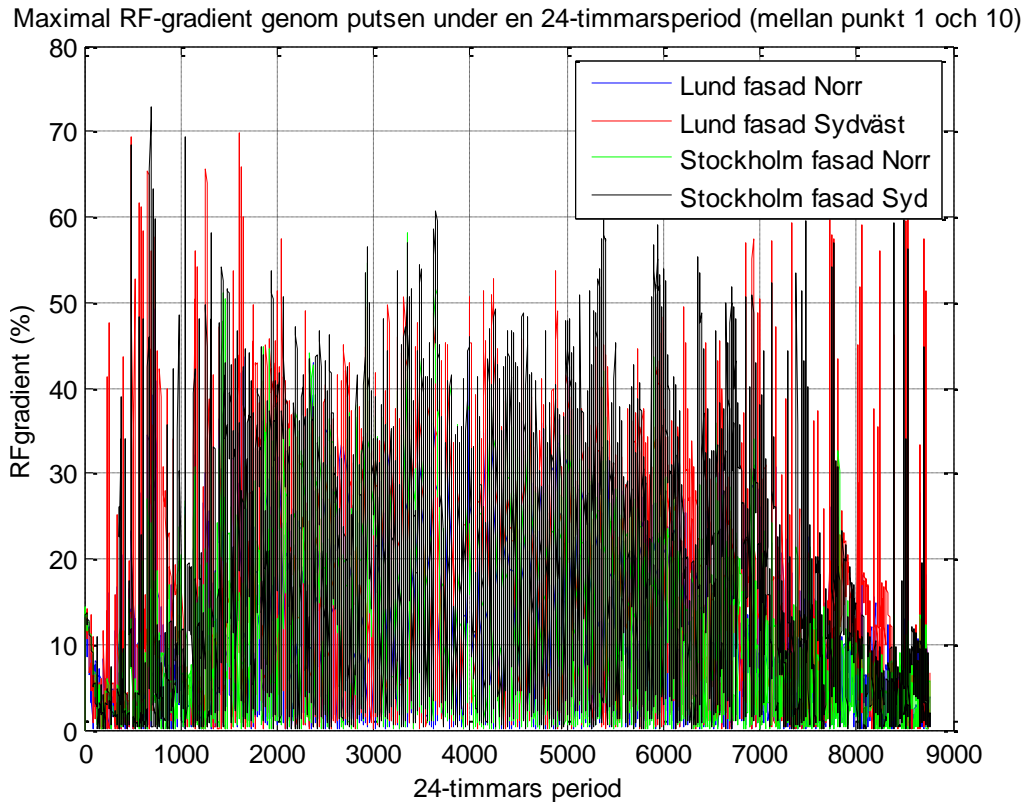
Figur 3.14. Maximal temperaturgradient genom hela konstruktionen under en 24 timmarsperiod

Figur 3.14 visar maximal temperaturskillnad genom konstruktionen (puts och skiva), för varje 24 – timmars period. Skillnaden tas även här för samma tidpunkt, det vill säga temperaturskillnaden undersöks timme för timme och maximal temperaturskillnad för varje 24 – timmars period har plottats i grafen ovan. Den största temperaturskillnaden i Lund för dessa två observationspunkter är ca 2 °C (norr) och ca 6 °C (sydväst). I Stockholm är temperaturskillnaderna ca 2 °C (norr) och ca 6 °C (syd). Temperaturgradienten genom skivan för det värsta fallet, Stockholm fasad riktad syd, kan ses i figur 3.15.



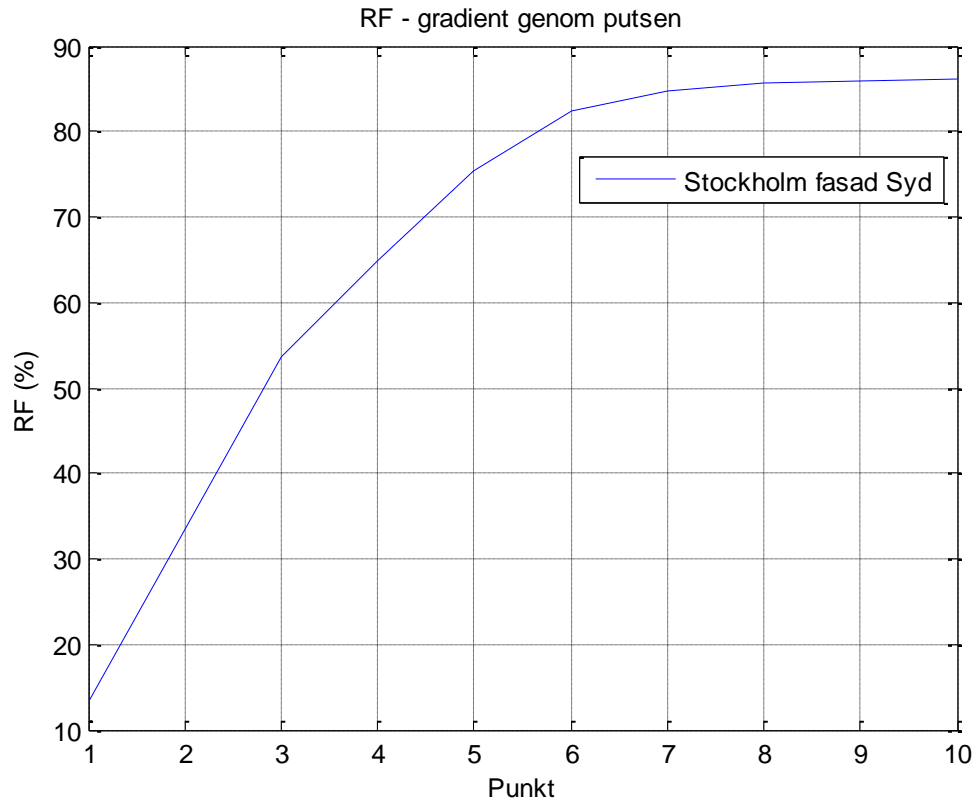
Figur 3.15. Största temperaturgradienten genom hela konstruktionen för det värsta fallet

Figur 3.15 visar temperaturgradienten genom hela konstruktionen. Av figuren framgår att temperaturgradienten i skivan är större än putsen, vilket beror på att skivans värmeledningsförmåga är lägre än putsens värmeledningsförmåga.



Figur 3.16. Maximal RF – gradient genom putsen under en 24 timmarsperiod

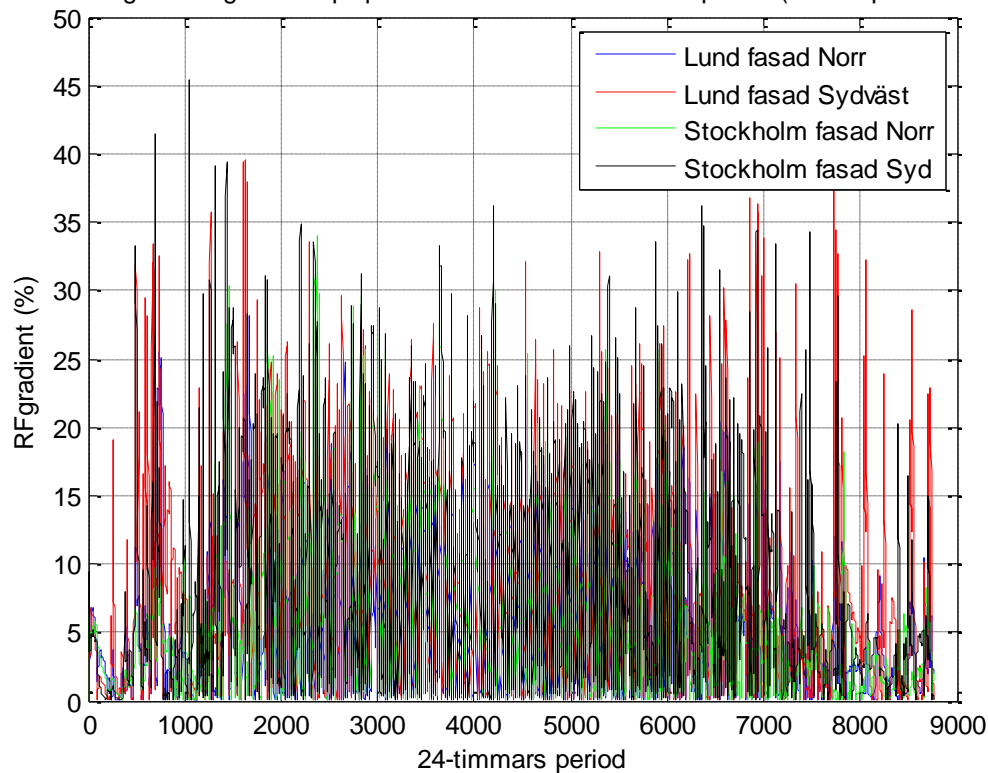
Figur 3.16 visar den maximala gradienten i relativ fuktighet genom putsen för varje timme, under en 24 timmarsperiod. Maximal RF – gradient är i Lund är ca 49 procentenheter (norr) och ca 69 procentenheter (sydväst). I Stockholm är gradienten ca 58 procentenheter (norr) och ca 71 procentenheter (syd). I Lund ligger gradienten mellan 30 – 50 procentenheter 294 gånger (norr) och 1253 gånger (sydväst). I Stockholm upprepas denna gradient 585 gånger (norr) och 1899 gånger (syd). RF – gradienten överstiger 50 procentenheter i Lund 0 gånger (norr) och 92 gånger (sydväst). I Stockholm inträffar detta 26 gånger (norr) och 167 gånger (syd). RF – gradienten genom putsen för det värsta fallet, Stockholm fasad riktad syd, kan ses i figur 3.17.



Figur 3.17. Största RF – gradienten genom putsen för det värsta fallet

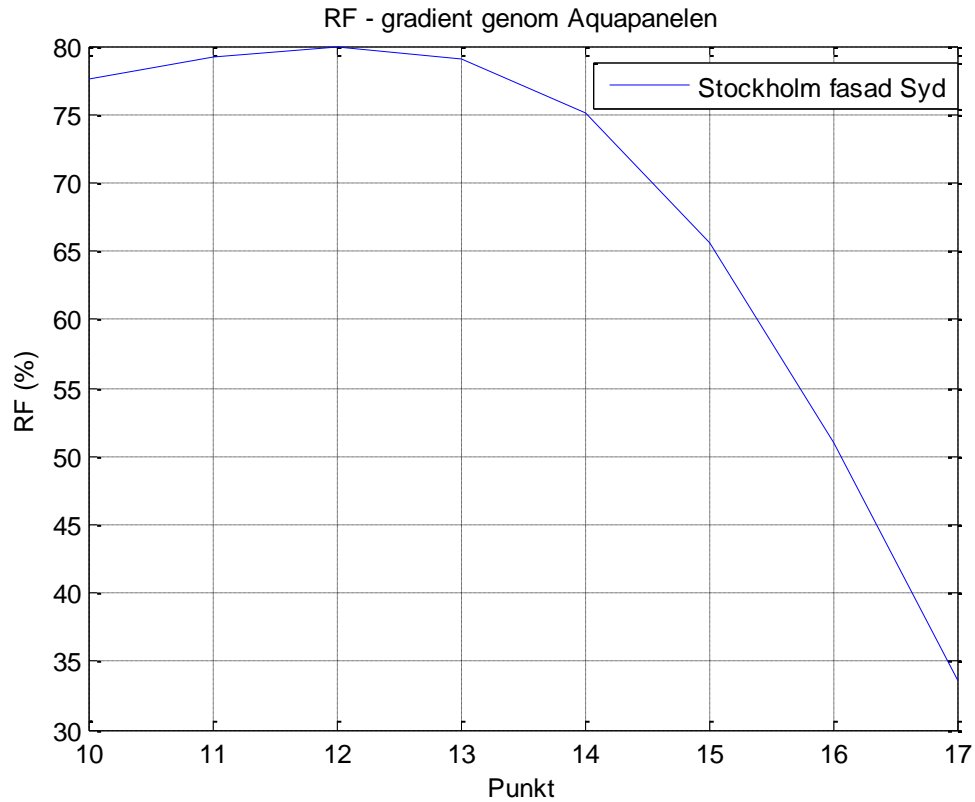
Som kan ses av figur 3.17 är RF – gradientens utveckling av ett kvadratisk utseende, till skillnad från temperaturgradienten. Detta eftersom den relativa fuktigheten genom ett material är en mer komplicerad process och beror på fler faktorer.

Maximal RF-gradient genom aquapanelen under en 24-timmarsperiod (mellan punkt 10 och 17)



Figur 3.18. Maximal RF – gradient mellan genom Aquapanelskivan under en 24 timmarsperiod

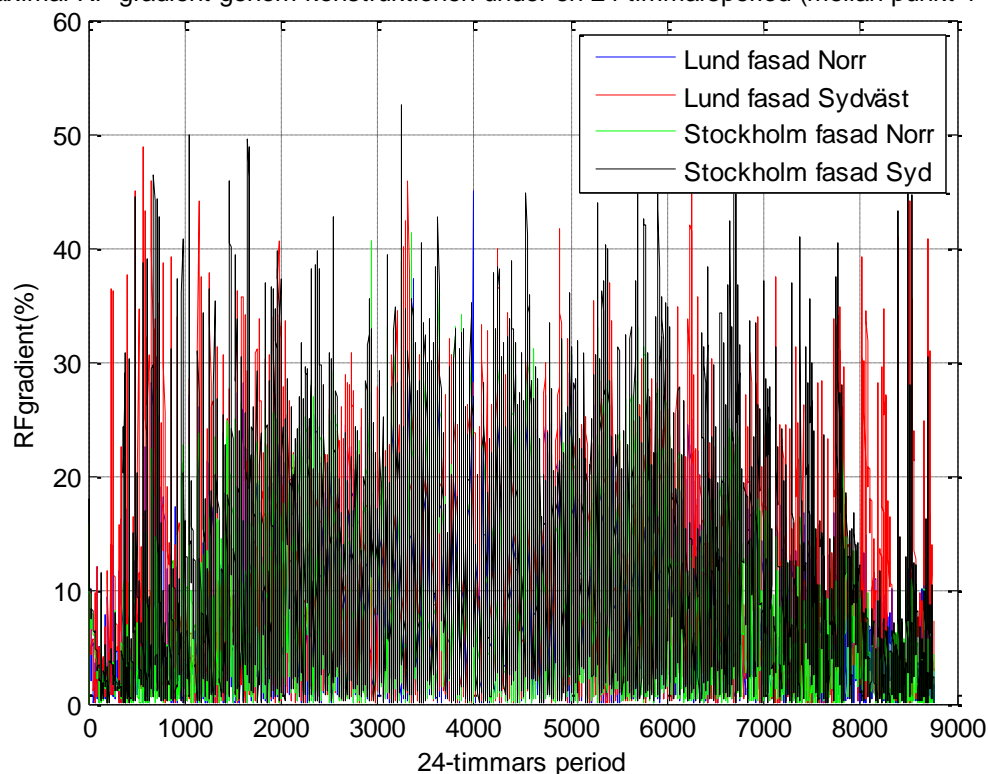
Figuren 3.18 visar den maximala RF – gradienten genom Aquapanelskivan. Maximal gradient i RF är i Lund är ca 30 procentenheter (norr) och ca 49 procentenheter (sydväst). I Stockholm är gradienten ca 36 procentenheter (norr) och ca 52 procentenheter (syd). I Lund ligger gradienten mellan 30 – 50 procentenheter 1 gång (norr) och 118 gånger (sydväst). I Stockholm upprepas denna gradient 42 gånger (norr) och 168 gånger (syd). Gradienten i RF överstiger 50 procentenheter i Lund 0 gånger (norr) och 1 gång (sydväst). I Stockholm inträffar detta 0 gånger (norr) och 3 gånger (syd). RF – gradienten genom skivan för det värsta fallet, Stockholm fasad riktad syd, kan ses i figur 3.19.



Figur 3.19. Största RF – gradienten genom Aquapanel – skivan

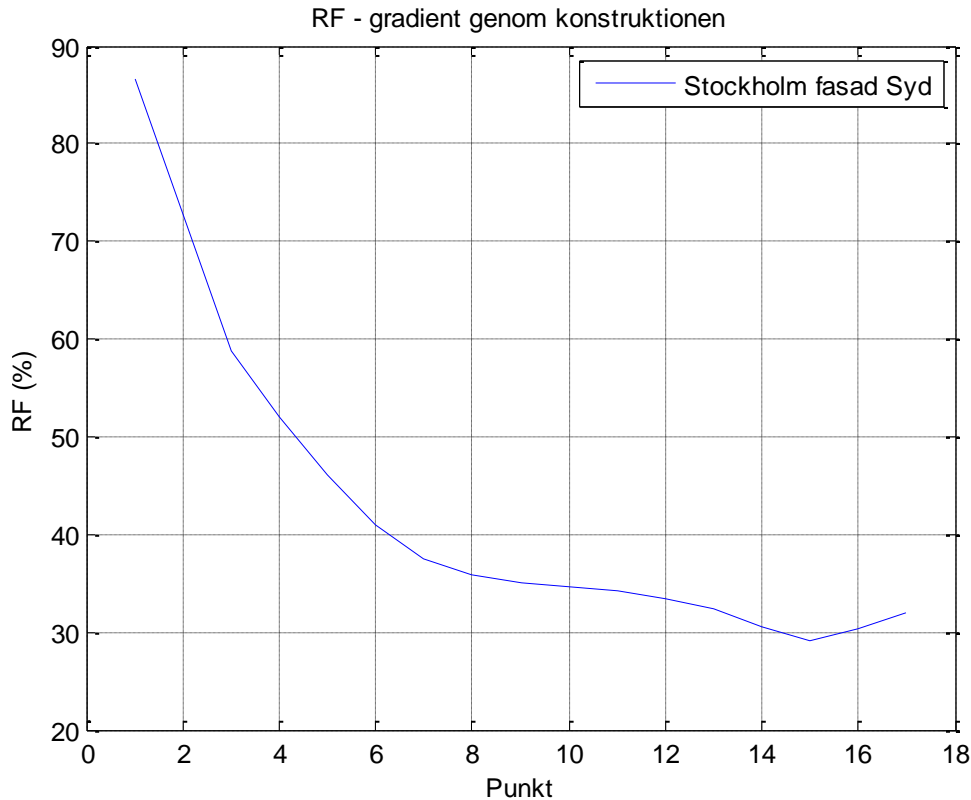
Figur 3.19 visar RF – gradienten genom Aquapanel – skivan. Det som bör observeras är att RF – gradienten kan uppvisa ett annat utseende. Se figur 3.21 där RF – gradienten genom hela konstruktionen beskrivs.

Maximal RF-gradient genom konstruktionen under en 24-timmarsperiod (mellan punkt 1 och 17)



Figur 3.20. RF – gradienten genom hela konstruktionen under en 24 timmarsperiod

Figuren ovan visar den maximala skillnaden i relativ fuktighet mellan observationspunkt ett och sjutton för varje timme, alltså under samma tidpunkt är skillnaden i relativ fuktighet mellan observationspunkt ett och tio. Maximal skillnad i RF i Lund är ca 45 procentenheter (norr) och ca 46 procentenheter (sydväst). I Stockholm är skillnaden ca 41 procentenheter (norr) och ca 52 procentenheter (syd). I Lund ligger skillnaden mellan 30 – 50 procentenheter 17 gånger (norr) och 268 gånger (sydväst). I Stockholm upprepas denna skillnad 68 gånger (norr) och 446 gånger (syd). Skillnaden i RF överstiger aldrig 50 procentenheter i Lund och i Stockholm överstiger den endast 50 procentenheter fem gånger i fasad med riktning syd. RF – gradienten genom hela konstruktionen för det värsta fallet, Stockholm fasad riktad syd, kan ses i figur 3.21.



Figur 3.21. Största RF – gradienten genom hela konstruktionen för det värsta fallet

I figur 3.21 visas RF – gradienten genom hela konstruktionen, alltså puts och skiva. Det som figuren visar är en snabb uppfuktning på ytan närmst utsidan och senare blir den uppfuktning mindre och mindre desto längre in i konstruktionen man kommer. Det går lite upp i slutet och kan bero på luftomsättningen i luftspalten.

3.3. Slutsats

En slutsats som kan dras från undersökningen är att de största fuktgradienterna uppnås genom enbart puts eller skiva. För hela konstruktionen uppnås inte lika stora gradienter och detta kan t.ex. bero på luftomsättningen i luftspalten. Skivan får en relativfuktighet som motsvarar ett närmre värde till den relativa fuktigheten utomhus och skillnaden i relativ fuktighet, mellan putsens yta och skivans yta, blir på så sätt mindre än om det inte hade funnits en luftspalt. För samtliga fall inträffar de största RF – gradienterna under vintertid, alltså någonstans mellan sent på november till sent på februari. Detta inträffar förmodligen under kalla vinterdagar då solinstrålningen är stor. Putsen och skivan värms upp samtidigt som utetemperaturen är låg och stora fuktgradienter bildas. I bilaga 6-9 kan temperaturer, RF och fiktiva temperaturer ses för samtliga fall som iakttagits.

4. Studie av fuktrelaterade deformationer

En experimentell studie utförs för att jämföra teori med praktik, vilka skillnader och likheter det finns i använda metoder och verkligheten. Målet är att få tillräckligt med kunskap om skivornas rörelser och massändring för att kunna verifiera teorin med praktiken. I kort ska den experimentella studien komplettera den teoretiska studien. Den skall kunna användas som underlag för att verifiera modelleringens noggrannhet.

4.1. Förstudie inför praktiskt utförande av experimentet

4.1.1. Simulering av fuktupptagning

Innan utförandet av den experimentella undersökningen gjordes en simulering av fuktupptagningen i kropparna och för att, efter att undersökningen är utförd, verifiera datorsimulationens trovärdighet. I undersökningen är det fyra olika provkroppar som skall prövas. Det är Aquapanel, puts, puts med armering och Aquapanel med puts. I själva WUFI modellerades endast tre sorters provkroppar eftersom armeringen i putsen är svår att modellera. Armeringens påverkan kan fås fram genom att studera skillnaden i massa (före och efter laborationen) för provkroppar bestående av enbart puts respektive provkroppar av puts med armering. Randvillkoren för modellerna i WUFI är att provkropparna måste tillåtas att torka ut från båda sidorna vilket så även var fallet i verkligheten under försöken. Observera att WUFI-modellen är endast endimensionell medan provkropparna i försöken utsätts för tredimensionell uppfuktning. Skillnaden bedöms dock ha begränsad inverkan i korttidsförsök, då mätningarna genomfördes på provkropparnas centrala delar som anses vara opåverkade av fuktinträngning genom provkroppens kanter.

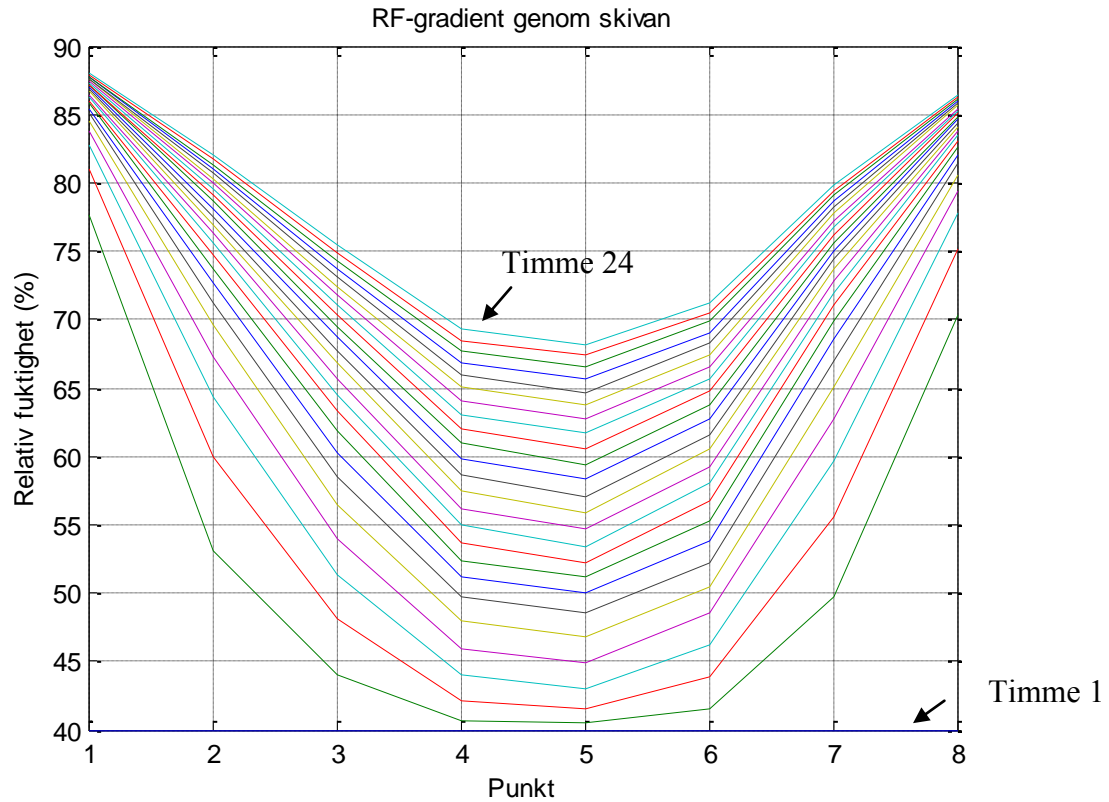
Försöken av provkropparna utfördes under en 24-timmars period med en begynnelsefuktighet på 40 % och en begynnelsestemperatur på 20 grader Celsius. Vid denna temperatur och relativ fuktighet var provkropparna i jämvikt och det åstadkommes med hjälp av ett klimatskåp. För att sedan uppnå den önskade relativa fuktigheten på 90 % placerades provkropparna i ett provrum där den relativa fuktigheten var 90 %. Dessa villkor anpassades för modelleringen i WUFI. Simuleringen i WUFI utfördes för en 24-timmars period med en begynnelsefuktighet på 40 %. I modelleringen ökades provkropparnas relativa fuktighet till 90 %. Simuleringen genomfördes med en konstant temperatur på 20 grader Celsius.

4.1.1.1 Modell 1- Aquapanel

En enkel modell av provkropparna av Aquapanel skapades i WUFI. Måttet på provkroppen var 220×100×12,5 mm och i modellen placerades åtta observationspunkter ut i det 12,5 mm tjocka Aquapanel skiktet där varje sådan punkt erhöll resultat för just det angivna läget i skiktet.

Tabell 4.1. Simulering av provkroppen Aquapanel i WUFI och observationspunkternas läge.

	Material/ Observationspunkt	Djup(mm)
Aquapanel	1	0
	2	1,2
	3	2,7
	4	5,0
	5	6,9
	6	8,9
	7	11,2
	8	12,5



Figur 4.2. RF – gradient genom skivan, timvis stigande uppåt flytta pilen i rätt läge

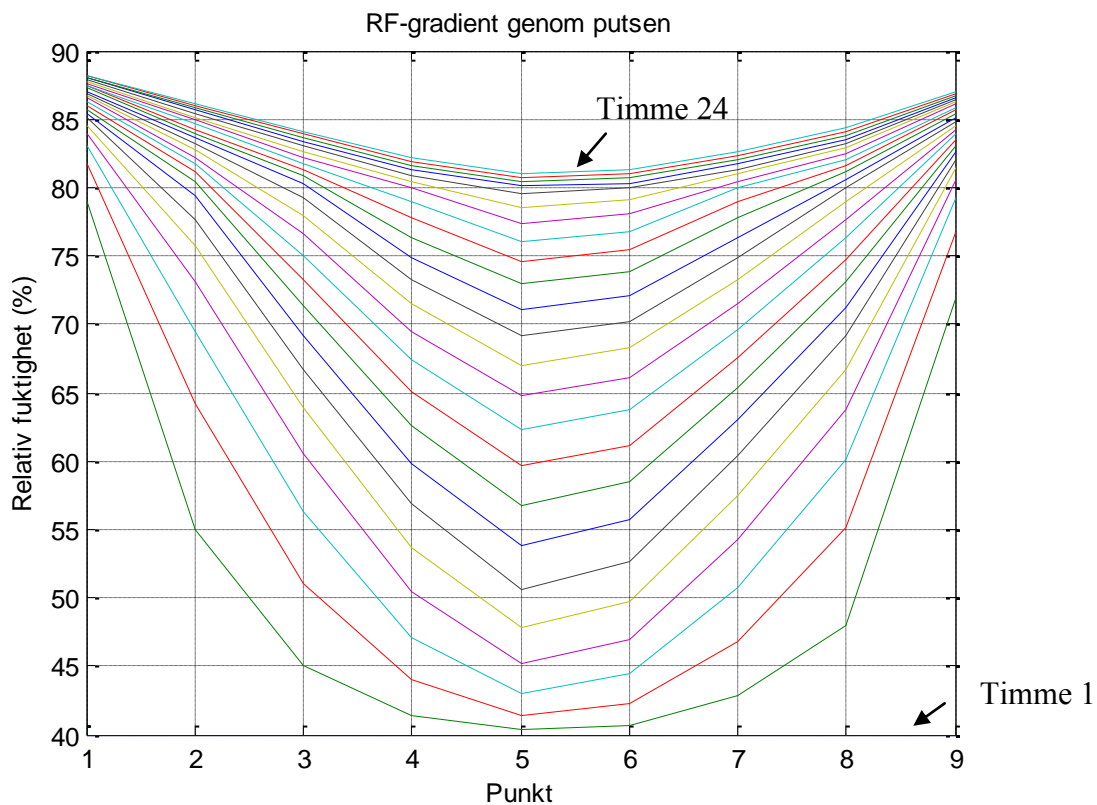
Figur 4.2 visar RF – gradienten för varje enskild timme, alltså beskriver varje kurva gradienten genom skivan för just den timmen. Utgångsvärdet utgörs av en rak linje där relativa fuktigheten är 40 %. Kurvorna ovanför visar sedan den timvisa utvecklingen av gradienten, där timme ökar stegvis uppåt. Observera att kurvorna inte når 90 % RF vilket tyder på att de inte hunnit komma i jämvikt med omgivningen under dessa 24 timmar.

4.1.1.2. Modell 2- Puts

En liknande modell skapades för provkroppar av puts i WUFI. Enda skillnaden i simuleringen var att provkroppen för puts hade en tjocklek på 15 mm, vilket i sin tur medförde att en extra observationspunkt placerades ut i modellen.

Tabell 4.2. Simulering av provkroppen Puts i WUFI och observationspunkternas läge.

	Material/ Observationspunkt	Djup(mm) (räknat från utsidan)
Yffärg	1	0
	2	1,5
	3	3,0
	4	4,8
	5	7,3
	6	9,6
	7	11,6
	8	13,1
	9	15,0



Figur 4.4. RF – gradienten genom putsen, timvis stigande uppåt

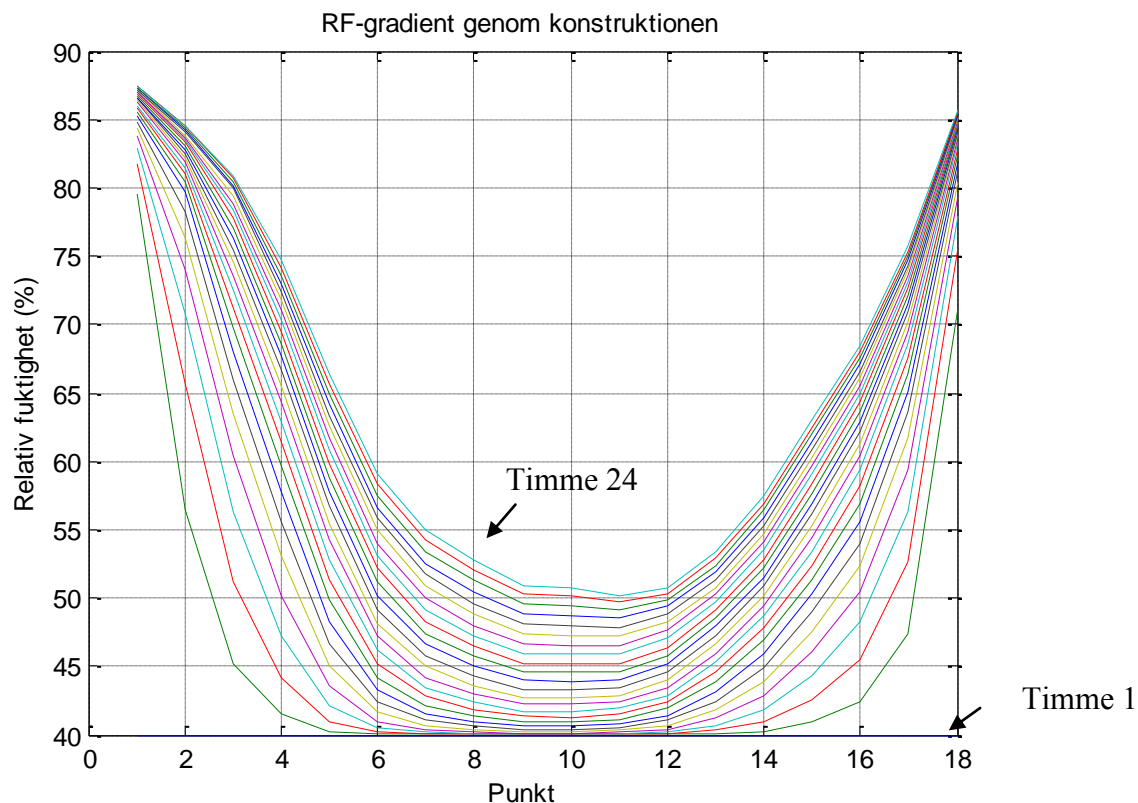
Figur 4.4 beskriver på samma sätt som i figur 4.2 utvecklingen av gradienten, timvis stigande uppåt.

4.1.1.3. Modell 3- Aquapanel och puts

Den sista modellen var den sammansatta provkroppen Aquapanel och puts. Randvillkoren var naturligtvis oförändrade och den totala tjockleken av provkroppen var 27,5 mm. Totala antalet observationspunkter för den sammansatta provkroppen blev 18 stycken. Modellen av denna provkropp visas nedan.

Tabell 4.3. Simulering av provkroppen Aquapanel+ Puts i WUFI och observationspunkternas läge.

	Material/ Observationspunkt	Djup(mm) (räknat från utsidan)
Puts	1	0
	2	1,4
	3	3,0
	4	4,8
	5	7,1
	6	9,7
	7	11,6
	8	13,0
	9	15,0
Aquapanel	10	15,1
	11	16,4
	12	18,1
	13	20,0
	14	21,7
	15	23,2
	16	24,4
	17	25,8
	18	27,5



Figur 4.6. RF – gradienten genom kroppen, timvis stigande uppåt

Figur 4.6 beskriver också på samma sätt som i figur 4.2 utvecklingen av gradienten, timvis stigande uppåt.

4.1.1.4 Resultat av ändring i fuktmängd från WUFI simulering i förstudien

Resultaten för simuleringen i WUFI av provkropparna för den experimentella studien redovisas nedan. Med hjälp av ekvationen,

$$m = \rho \cdot V \text{ där}$$

ρ =densitet (kg/m^3)

V =volym (m^3)

m =massa (kg)

kunde den massan beräknas för den andel fuktmängd de olika provkropparna absorberat. Tabell 4.4 visar materialens olika egenskaper som används vid beräkningarna medan tabell 4.5 och 4.6 anger den fuktmängd som absorberats i gram.

Tabell 4.4. Materialegenskaper hos Aquapanel och puts för WUFI simuleringen.

Material	Material dimensioner (mm)	Vatteninnehåll (densitet), startvärde (kg/m^3)
Aquapanel	220x100x12,5	63
Puts	200x90x15	24
Aquapanel+Puts	300x100x27,5	63+24=87

Tabell 4.5. Resultat från WUFI-simulering av provkropparna Aquapanel och puts.

Material	Förändring i vatteninnehåll (kg/m ³)	Förändring i fuktmängd (g)
Aquapanel	35,766	9,84
Puts	27,625	7,46

Redovisning för provkropparna, Aquapanel+ puts, sker separat för att WUFI ger resultat av vatteninnehållet i dessa provkroppar som en enhet (Aquapanel+puts) och dessutom enskilt för varje skikt i simuleringen. Se tabell 4.6 nedan.

Tabell 4.6. Resultat från WUFI för simuleringe av Aquapanel+puts som en enhet.

Material	Förändring i vatteninnehåll i skikt (kg/m ³)	Förändringen i vatteninnehåll för Aquapanel+puts (kg/m ²)	Förändring i fuktmängd (g)
Aquapanel+Puts	-	0,4638	13,91
Aquapanel	18,368	-	6,89
Puts	15,612	-	7,02

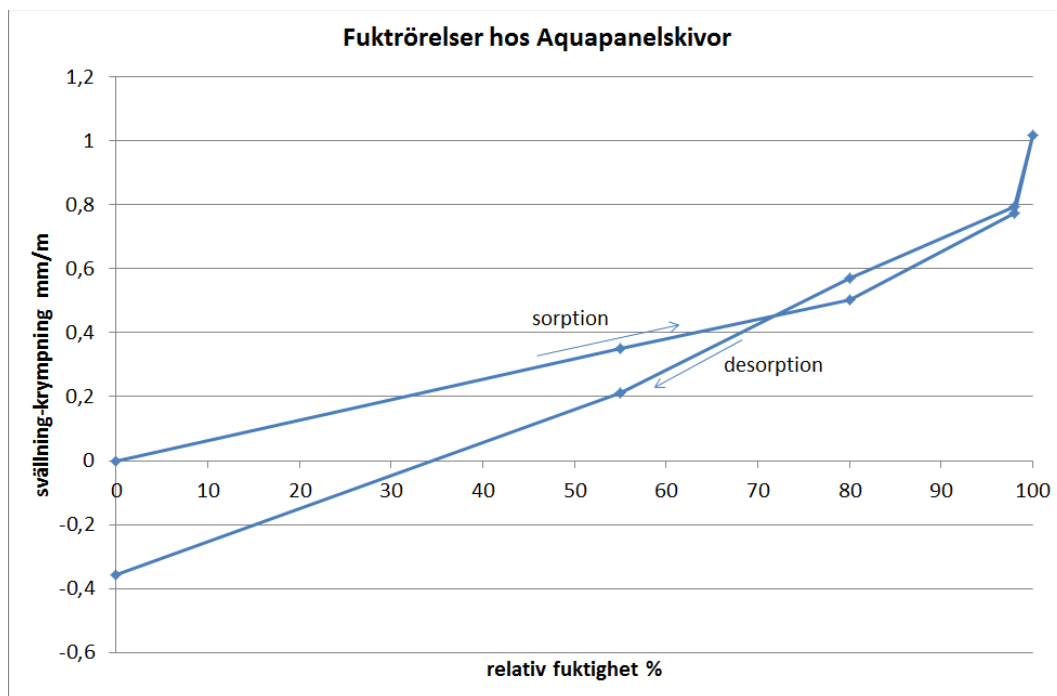
Jämförs tabellerna 4.5 och 4.6 så är absorptionen för provkropparna Aquapanel och puts större då de är enskilda medan absorptionen är något mindre då de fungerar som en enhet (Aquapanel+puts). Detta eftersom fuktupptagningen sker via de fria ytorna och för att den sammanlagda fria ytan för Aquapanel och puts är dubbelt så stor som den fria ytan för en provkropp med putsad skiva.

4.1.3. Modellering av fuktrelaterade deformationer

Utdata från WUFI innehåller endast förändringar av relativ fuktighet. Sorptionen eller desorptionen kommer att leda till deformationer i provkropparna. Dock kan dessa spänningar och deformationer inte räknas ut på grund av relativ fuktighet i det finita element program som används. Skillnaden i relativ fuktighet måste istället räknas om till en fiktiv temperaturförändring, ΔT_{RF} . Detta sker genom ekvationen 4.1.

$$\Delta T_{RF} = \frac{\Delta \varepsilon}{\alpha_{RF}} \quad (\text{ekv 4.1})$$

Det som sker är att skillnaden i den relativa fuktigheten kommer att skapa en töjning. Med hjälp av denna töjning och längdutvidgningskoefficienten (α) kan en fiktiv temperaturförändring beräknas. Först och främst ska töjningen på grund av skillnaden i relativ fuktighet beräknas fram. För varje enskilt material finns en specifik så kallad sorptions- och desorptionskurva som visar på hur stor töjningen är för en ökning eller sänkning i relativ fuktighet. Figur 4.7 visar en fuktkurva för den cementbaserade skivan Aquapanel.



Figur 4.7. Fuktkurvor för Aquapanelskiva (Molnär, 2010)

För att underlätta har en linjär kurva antagits för Aquapanel skivan där töjningen för både sorption och desorption ökar eller minskar med samma konstant. Denna linjära kurva har tagits fram genom att förlänga den första delen av sorptionskurvan till 80 % relativ fuktighet. Under den experimentella studien är endast sorptionskurvan relevant, då det kommer att ske en uppfuktning i provkropparna från 40% RF till 90% RF. Dock kommer den räta linjen användas senare under rapporten för både sorption och desorption. Lutning beräknas med hjälp av räta linjens ekvation, $y=kx+m$, där k är lutningen och m (startvärde) i detta fall är noll.

$$\frac{\Delta \varepsilon}{\Delta RF} = k = \frac{0,5 - 0}{80 - 0} = 0,0063$$

Linjens lutning (k) är alltså 0,0063. Med hjälp av denna och ΔRF beräknas töjningen fram. När töjningen har erhållits kan en fiktiv temperaturförändring beräknas fram, på grund av skillnader i relativ fuktighet, genom att dividera töjningen med längdutvidgningskoefficienten som kan ses i tabell 4.7. Detta ger:

$$\frac{0,0063 \cdot 10^{-3}}{7 \cdot 10^{-6}} \cdot \Delta RF_A = \Delta T \rightarrow \Delta T = 0,9 \cdot \Delta RF_A \text{ (Aquapanel)}$$

$$\frac{0,0025 \cdot 10^{-3}}{9 \cdot 10^{-6}} \cdot \Delta RF_P = \Delta T \rightarrow \Delta T = 0,3 \cdot \Delta RF_P \text{ (Puts)}$$

Alltså för varje procentändring i relativ fuktighet fås det en 0,9 °C respektive 0,3 °C ändring i temperatur. I bilaga 3 kan Matlab – koden ses.

Rent programmeringsmässigt skapas det en tabell som startar med en utgångstemperatur på 20 °C. Relativa fuktigheter beräknade genom WUFI räknas om till fiktiva temperaturer med hjälp av ekvation 4.1. Töjningen (ϵ) och längdutvidgningskoefficienten (α) för skivan och putsen är skilda. Längdutvidgningskoefficienten och fuktkurvans lutning för putsen antagna värden. Dessa är samlade i tabell 4.1 nedan.

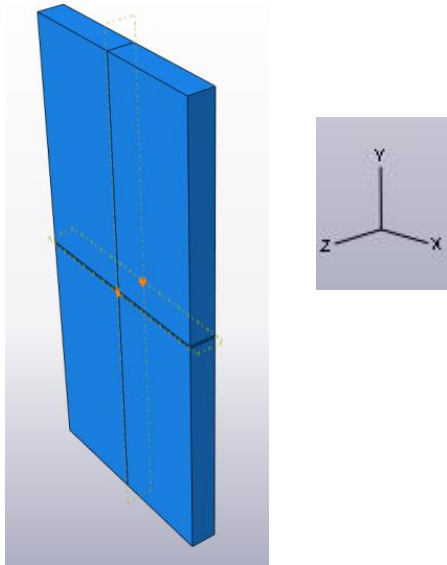
Tabell 4.7. Materialvärden som användes i Matlab

Material	Fuktkurvans lutning(10^{-3} m)	Längdutvidgningskoefficient (10^{-6})
Aquapanel	0,0063	7
Puts	0,0025	9

Genom att använda värden ovan, resultat från WUFI och tabell 4.1 har temperaturökningen (ΔT) beräknats för varje timme. Detta adderas steg för steg till ursprungstemperaturen i varje observationspunkt och en temperaturfördelning fås ut. Denna temperaturfördelning används sedan som last i finita element programmet.

4.1.4. Finit elementmodellering av fuktrelaterade deformationer

Modelleringen av fuktrörelser har skett i ett finit element program kallat Brigade. Modelleringen i Brigade har skett i 3D. Randvillkoren är sådana att ena sidan av plattan är fast inspänd i två punkter, som ligger en halv millimeter från mittpunkten. På andra sidan, mitt emot dessa punkter, kan den inte röra sig i x- och y-led (se figur 4.7). Från dessa punkter deformeras plattan i x-, y- och z-led. Denna modell ska efterlikna randvillkoren för en platta som i praktiken fritt kan röra sig på ett plant underlag. Randvillkoren ger en platta som står på samma plats, men kan expandera fritt i alla riktningar.

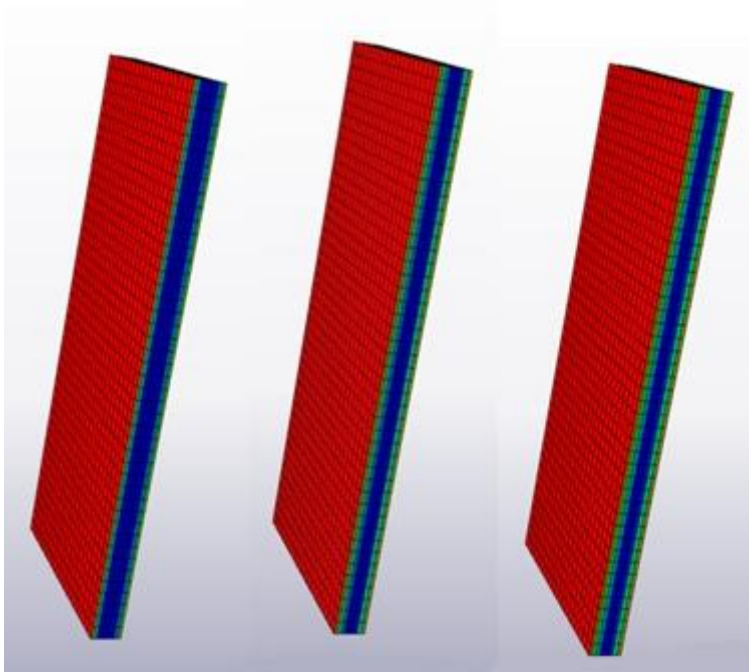


Figur 4.8.. Skivans utseende i Brigade

Anledningen till att det blev två punkter väldigt nära mitten istället för en punkt i mitten var att programmet reagerade till randvillkoren på ett annorlunda sätt än tänkt. Istället för att expandera i olika riktningar började kroppen rotera kring x – och z – axeln. Detta är uppenbarligen inte realistiskt och därför, med lite kvalificerade prövningar, ändrades randvillkor till två punkter tätt intill mittpunkten.

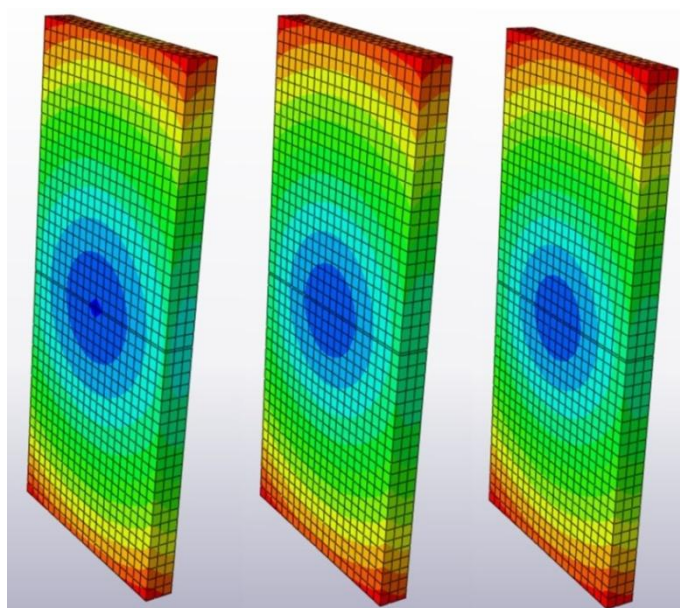
4.1.4.1. Utförande

Först och främst görs en modell där resultaten från WUFI/Matlab placeras in i Brigade som randvillkor. Detta ger en temperaturfördelning genom hela skivan (se figur 4.9). Denna temperaturfördelning kommer senare i nästa modell fungera som en last. Från WUFI fås det ut temperaturer i ett antal punkter genom kroppen. Rent modelleringsmässigt klarar det finita element programmet inte av att beräkna fram krafter med enbart temperaturer i några punkter utan behöver temperaturen genom hela skivan. Den första modellen, skapar med hjälp av temperaturen från våra resultat, en kropp med temperaturen för varje punkt i kroppen. Med andra ord skapar den ett värme flöde genom kroppen. Detta flöde beror på värmekapaciteten som angivits i programmet. Värmekapaciteten är densamma som använts tidigare i WUFI.



Figur 4.9. Temperaturfördelningen i Aquapanel-skivan (efter en, fyra och åtta timmar)

Kollar man noggrant på figur 4.9. ser man att den blåa (kalla) volymen blir mindre och mindre, vilket visar att värmen tränger in i materialet. Nästa modell utförs med randvillkoren enligt figur 4.8. Lasten blir temperaturfördelningen från första modellen, som placeras in som en fördefinierad last. Med andra ord kommer kroppen timme för timme ändra sin temperatur enligt första modellen som då blir så kallat default för modell två. Denna temperaturförändring ger senare en utböjning och längdutvidgning (se figur 4.10). Temperaturfördelningen genom materialet är det som orsakar utböjningen av kroppen. Materialet vill vidgas ut olika mycket olika långt in i materialet men hålls tillbaka av resten av kroppen och detta orsakar en utböjning av kroppen. Spänningarna i kroppen förstärks om man t.ex. skruvar fast kroppen och inte tillåter den expandera fritt. Utböjningen och töjningen är det som i verkligheten kan orsaka sprickor i fasaden och som leder till en estetiskt ful fasad.

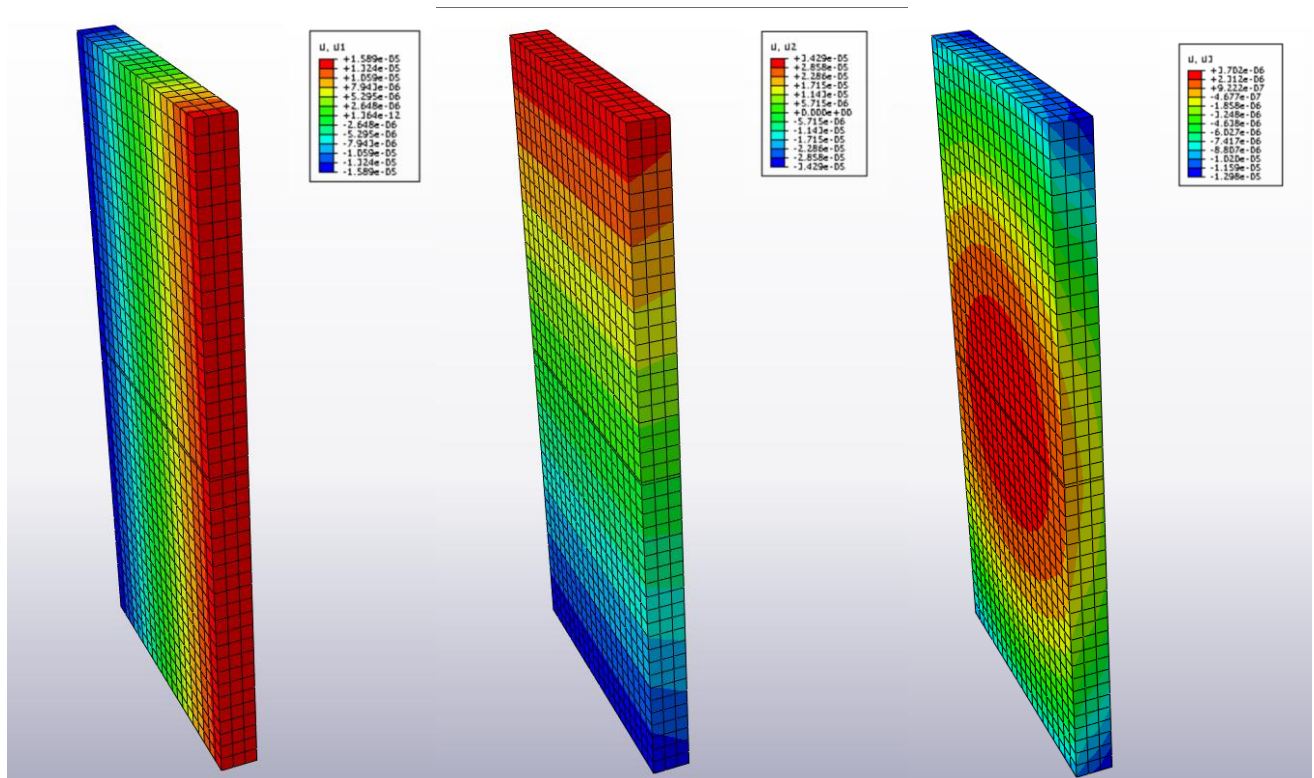


Figur 4.10. Deformationer i Aquapanel-skivan (efter en, fyra och åtta timmar)

Värt att notera här är att glasfiberarmeringens och putsens elasticitetsmodul som använts är kvalificerade antagningar och därmed inte precisa. Några exakta värden har inte kunnat tas fram vilket kan leda till skillnader senare under mätningen.

Färgerna i figuren 4.10 beskriver storleken på deformationen där den röda och blå färgen anger positiva respektive negativa deformationer i förhållande till infästningspunkterna. Positiv riktning är i detta fall till vänster.

Aquapanel



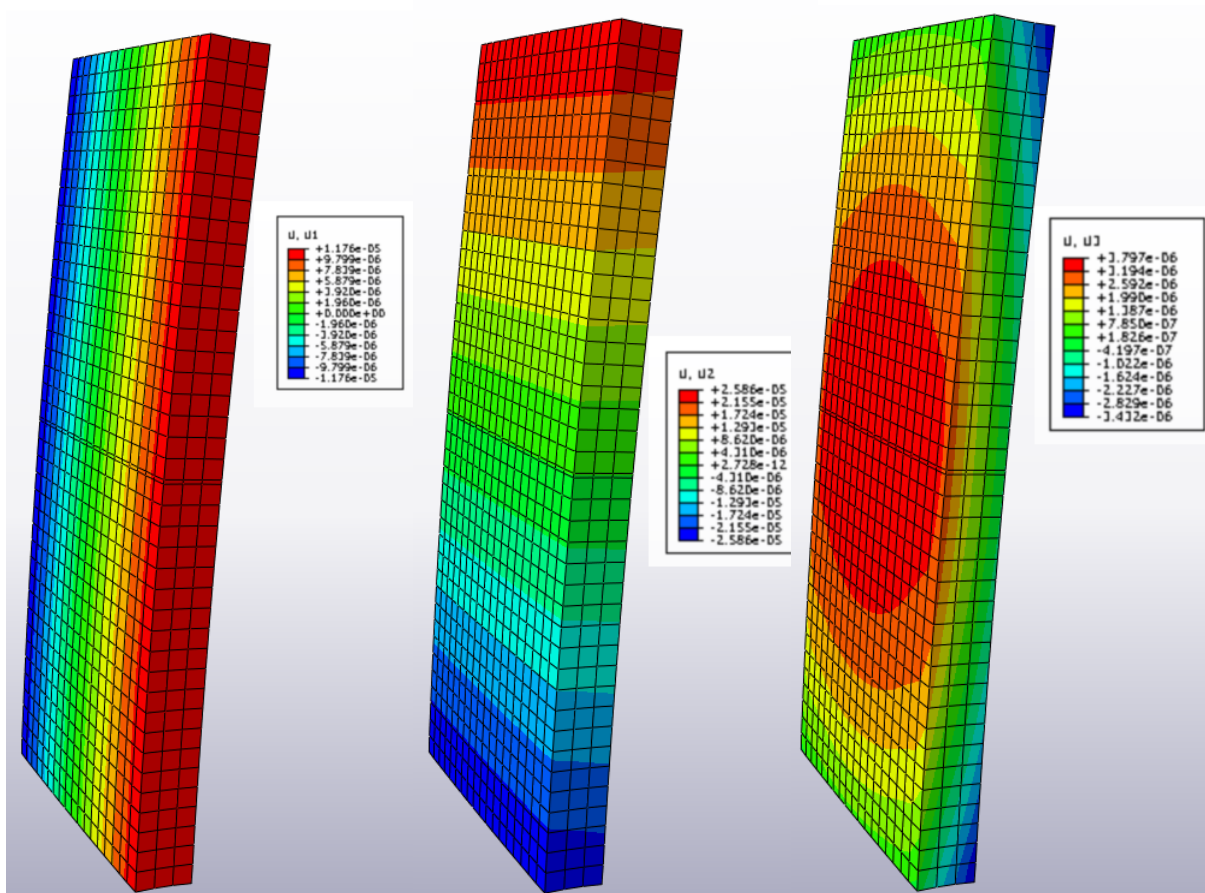
Figur 4.11. Deformationer i tre olika riktningar för Aquapanel efter åtta timmar

I figur 4.11 visas förskjutningarna i x- (U1), y- (U2) och z-riktning (U3) för Aquapanel skivan, efter åtta timmar. Inmatningsdata som använts i Brigade kan ses i tabell 4.8 nedan.

Tabell 4.8. Materialegenskaper för Aquapanel.

Aquapanel	
Material	Aquapanel
Mått	220x100x12.5 mm
Densitet	1150 kg/m ³
Värmekapacitet	950 J/kg*K
Värmeledning	0.36 W/m°C
Elasticitetsmodul	5*10 ⁹ Pa
Poissons tal	0.3
Expansionskoefficient	7*10 ⁻⁶ °C ⁻¹

Puts



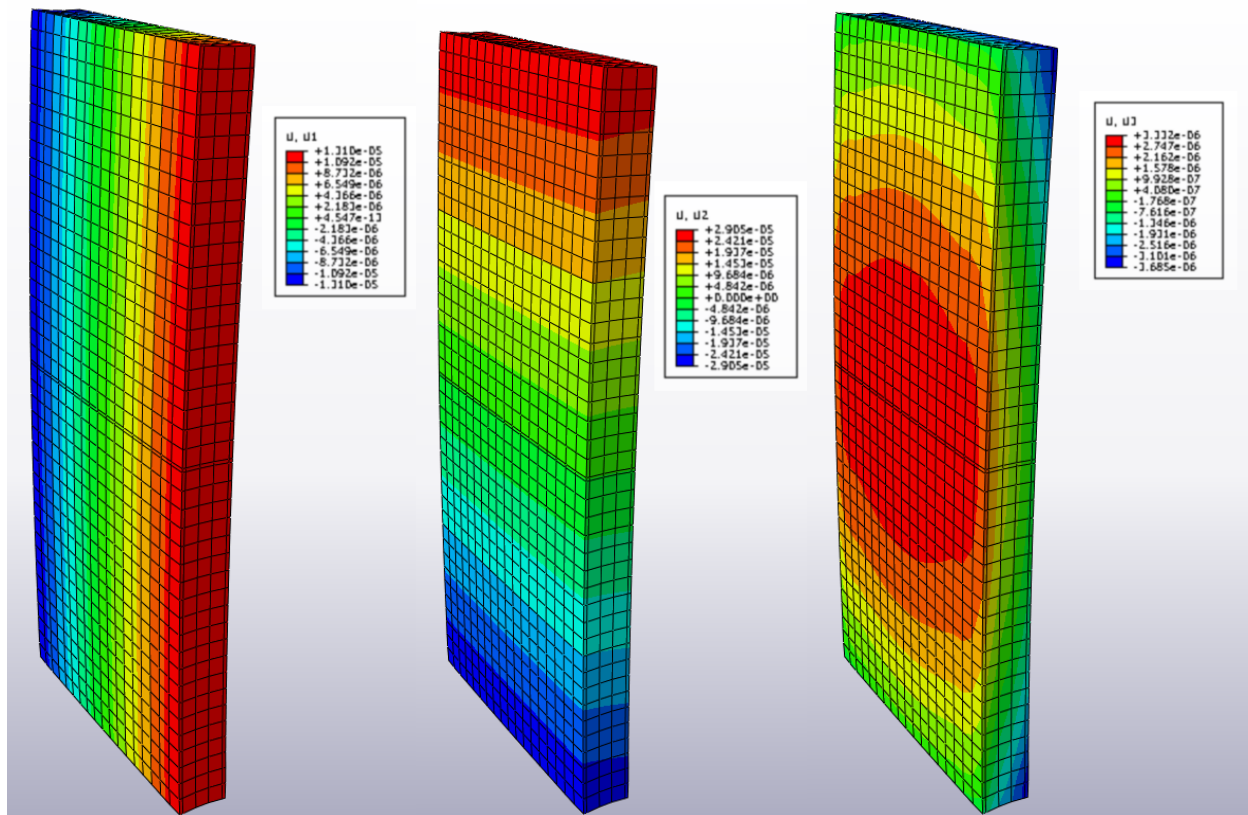
Figur 4.12. Deformationer i tre olika riktningar för puts efter åtta timmar

Figur 4.12 visas förskjutningarna i x- (U1), y- (U2) och z-riktning (U3) för puts, efter åtta timmar. Inmatningsdata som använts i Brigade kan ses i tabell 4.9 nedan.

Tabell 4.9. Materialegenskaper för puts.

Puts	
Material	Puts
Mått	200x90x15 mm
Densitet	1900 kg/m ³
Värmekapacitet	850 J/kg*K
Värmekonduktivitet	0.8 W/m°C
Elasticitetsmodul	10 Gpa
Possions tal	0.3
Expansionskoefficient	9*10 ⁻⁶ °C ⁻¹

Armerad puts



Figur 4.13. Deformationer i tre olika riktningar för armerad puts efter åtta timmar

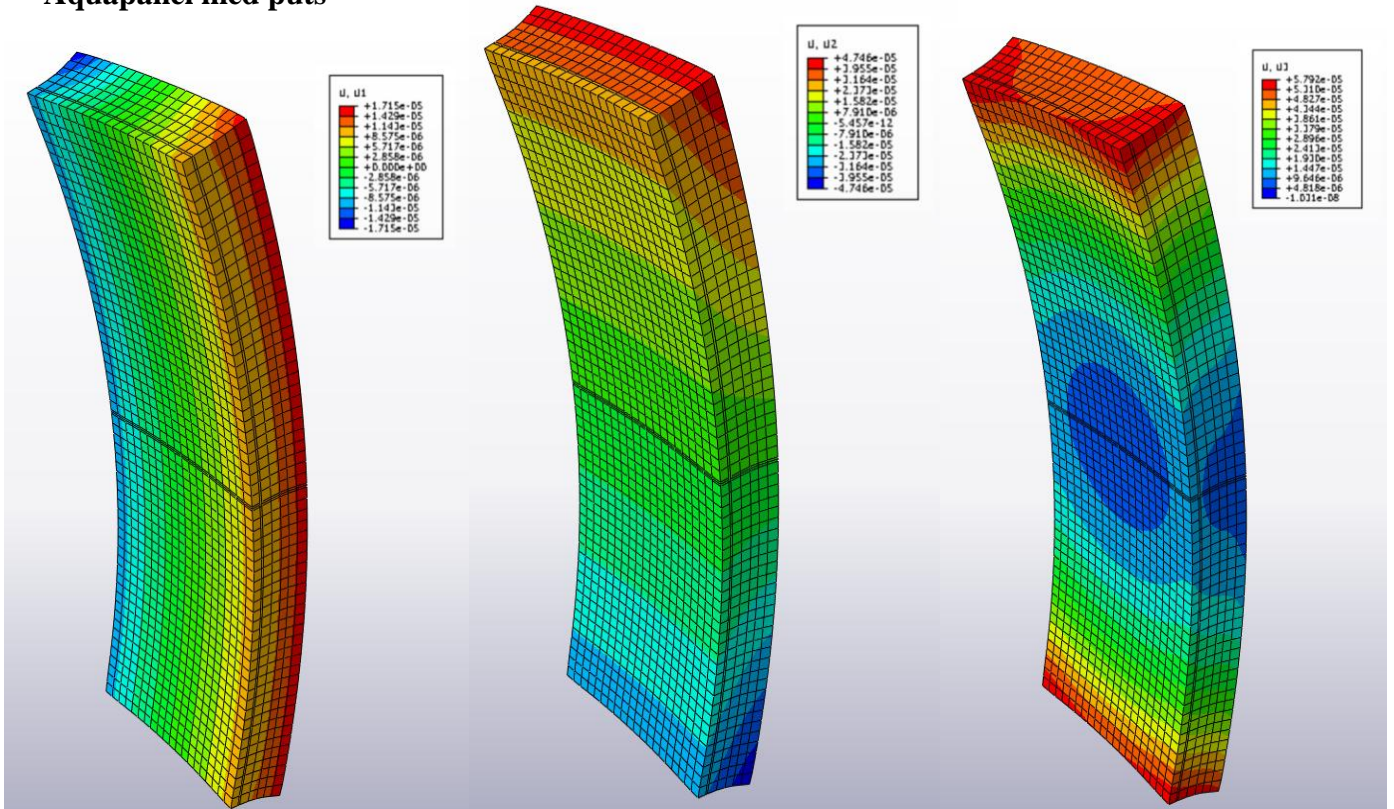
Figur 4.13 visas förskjutningarna i x- (U1), y- (U2) och z-riktning (U3) för armerad puts, efter åtta timmar. Putsen är alltså armerad med glasfiber. Rent modelleringsmässigt är glasfiberskiktet placerat fem millimeter in i putsen och har en tjocklek på en millimeter. Materialparametrar för glasfiberarmeringen är baserat på kvalificerad antagning och kan ses i tabell 4.10 nedan.

Tabell 4.10. Egenskaper för glasfiberarmeringen.

Armering	
Material	Glasfiber
E – modul	25 GPa
Tjocklek	1 mm

Värt att notera är att glasfiberarmeringen fungerar bäst i drag och är därmed i stort sett oanvändbart då det utsatt för tryck. I modellen är armeringen placerad fem millimeter in i putsen medan den i verkligheten placeras närmre putsens utsida. Det gör väldigt liten skillnad var den placeras, men modelleringsmässigt var detta enklast.

Aquapanel med puts



Figur 4.14. Förskjutningarna U_1 , U_2 , U_3 för Aquapanel med puts

Figur 4.14 visas förskjutningarna i x- (U_1), y- (U_2) och z-riktning (U_3) för Aquapanel med armerad puts, efter åtta timmar.

Tabell 4.11. Ingående tjocklekar för Aquapanel med puts.

Aquapanel + puts	
Mått	300x100x27.5 mm
Aquapanel tjocklek	12.5 mm
Puts tjocklek	15 mm

4.1.4.2. Resultat från simulering av fuktrörelser

I tabell 4.12 följer resultaten från Brigade som senare kommer att jämföras med resultaten från labbmätningen.

Tabell 4.12. Deformationer (μm) i provkropparnas längdriktning mellan två punkter i kroppens centrumlinje på ett avstånd av 100 mm

Tidpunkt:	Provkropp			
	Aquapanel (μm)	Puts (μm)	Armerad puts (μm)	Aquapanel + puts (μm)
30 min	6,0	5,5	6,5	4,5
1 h	12,7	11,0	12,9	9
3 h	13,3	11,5	13,9	9,1
6 h	14,8	12,4	14,4	9,4
24 h	19,0	14,6	15,0	10,3

4.2. Praktiskt utförande av labbstudien

Provkroppar som testas är Aquapanelskiva, puts, puts med armering och Aquapanelskiva med puts. Dimensionerna är samma som de som använts i Brigade-simuleringarna, det vill säga provkroppar med dimensioner enligt tabell 4.13.

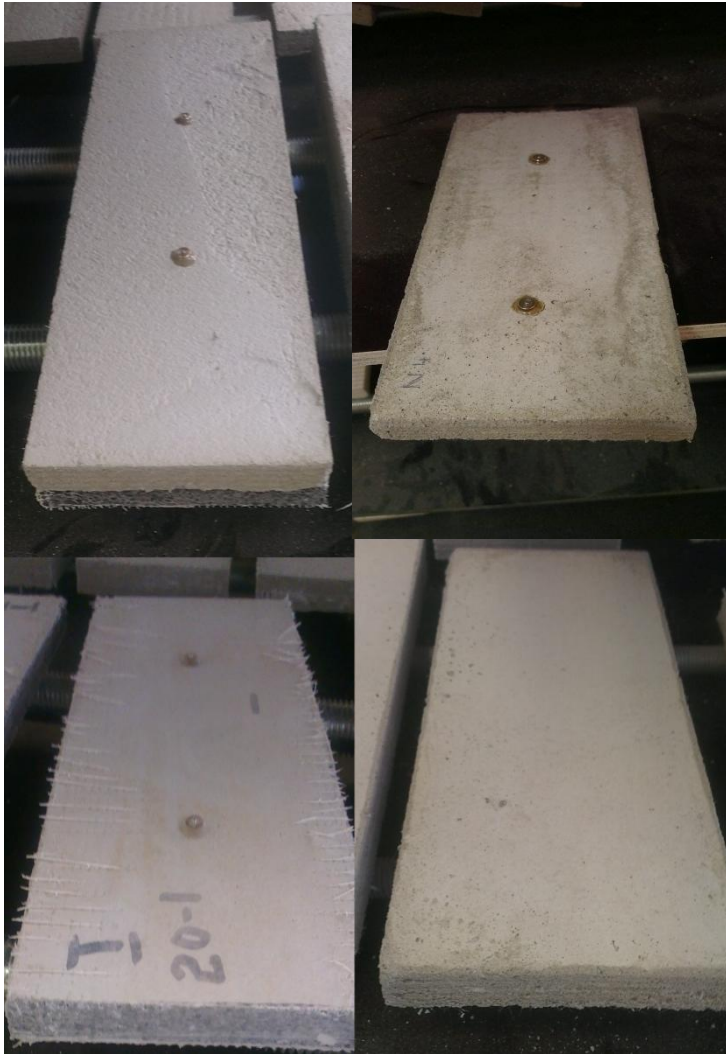
Tabell 4.13. Dimensioner på provkropparna

Provkroppstyp	Dimensioner
Aquapanelskiva	220×100×12.5
Puts	200×90×15
Puts med armering	200×90×15
Aquapanelskiva med puts	300×100×27.5 mm

Provkropparna, som initieellt förvarades i labbmiljö, placeras i ett klimatskåp med relativa fuktigheten på 40% och temperatur på 20 °C i ca fem dagar. Detta kommer tillåta provkropparna att komma i jämvikt och skapa en önskad initiell temperatur och relativ fuktighet. Därefter placeras dessa provkroppar i ett klimatrum med relativ fuktighet på 90% och temperatur på 20 °C. I korthet ska provkropparna utsättas för en uppfuktning från 40% till 90%. Mätning av deformationer och massändring genomfördes efter en halvtimme, en timme och sedan efter tre, sex och 24 timmar. Resultaten från labbmätningen jämförs sedan med simuleringarna av fukttinnehåll i WUFI och av fuktrelaterade rörelserna från Brigade.

På provkropparna finns det två fastlimmade mätplattor vardera ca 50 mm från mittpunkten åt skilda håll (se figur 4.15). Mätning av deformationer och av massförändring görs under fuktupptagningens gång. Med hjälp av mätplattorna avläses hur mycket punkterna har förflyttats och på så sätt avläses förskjutningen i y – led. Förskjutningar mäts med hjälp av en handhållen deformationsmätare (se figur 4.16) som är kapabel att mäta i μm noggrannhet.

Resultaten från tabell 4.12 representerar töjningarna längs y-axeln (U2) mellan de två mätpunkterna på provkroppen.



Figur 4.15. Aquapanel med puts, armerad puts, Aquapanel, puts (sett från längst upp till vänster till längs ner till höger)



Figur 4.16. Handhållen deformationsmätare

4.3. Resultat från experimentell studie

Från den experimentella studien har vi tagit fram förskjutningen i y – led (se tabell 4.14). Förskjutningen är tagen längs en sträcka på 100 mm i provkropparnas mitt längs med y-axeln. Följande tabeller visar resultaten från de stabila värdena från försöken, då det var en hel del resultat som var opålitliga på grund av att provkroppen var dålig och dålig att mäta från. I kolumnen längst till höger finns den maximala procentuella avvikelsen, i procent, från medelvärdet.

Tabell 4.14. Förskjutningar för provkroppar av armerad puts

Tid (h)	1 (µm)	2 (µm)	3 (µm)	4 (µm)	5 (µm)	6 (µm)	Medel (µm)	Avvikelse (%)
0	-	-	-	-	-	-	-	-
0.5	3	3	4	5	4	2	4	50
1	4	12	4	5	3	4	6	100
3	8	8	8	8	6	9	8	25
6	8	11	11	10	8	12	10	20
24	6	6	8	10	8	7	8	25

För armerad puts är resultaten från den experimentella studien rätt enhetliga, bortsett från provkropp 2 som efter en timme får en förskjutning på 12 µm från den ursprungliga längden. Slutsatsen som kan dras är att den största förskjutningen sker under den första halvtimmen och sedan fortsätter förskjutningen lite långsammare och efter 24 timmar har den minskat. Detta är den största skillnaden på labbmätningen och Brigade resultaten (tabell 4.12), att provkropparnas förskjutning i y – led blir mindre efter 24 timmar. Detta betyder dock inte att provkroppar inte expanderar längre, utan kan betyda att den böjs på ett sådant sätt att förskjutningen i y – led blir mindre. Det som också kan ses är att töjningen är större i simuleringen än under labbmätningen vilket tyder på att diffusionskoefficienten som användes i simuleringarna var högre än i verkligheten. Nätarmeringen kan ha en inverkan på denna skillnad också då det i FEM – programmet inte kunde tas hänsyn till armeringens inverkan lika bra som i verkligheten.

Tabell 4.15. Förskjutningar för puts

Tid (h)	1 (µm)	2 (µm)	3 (µm)	4 (µm)	5 (µm)	6 (µm)	Medel (µm)	Avvikelse (%)
0	-	-	-	-	-	-	-	-
0.5	9	2	11	5	1	2	5	120
1	4	3	4	5	4	4	4	25
3	5	5	9	7	8	5	7	29
6	7	6	14	9	12	12	10	40
24	6	8	10	10	9	6	8	25

För puts utan armering har resultaten varierat under den experimentella studien. Den största töjningen sker under första timmen och sedan töjs provkropparna långsamt och efter 24 timmar förminskas provkropparna i de flesta fall i y – led. Det som kan sägas om provkropparna av puts är att mätningarna var väldigt instabila och resulterade i stor spridning på resultatet. Dock kan slutsatsen dras att förskjutningen i y – led i snitt bara är något mindre än Brigade resultaten.

Tabell 4.16. Förskjutningar (μm) för Aquapanel, 4 provkroppar

Tid (h)	1 (μm)	2 (μm)	3 (μm)	4 (μm)	Medel (μm)	Avvikelse (%)
0	-	-	-	-	-	-
0.5	7	9	11	5	8	38
1	8	3	7	3	5	60
3	11	11	7	2	8	75
6	14	8	9	3	9	67
24	37	8	26	15	22	68

De mest instabila resultaten kom för Aquapanel – skivan. Det var väldigt svårt att mäta förskjutningarna och ta fram resultat som var realistiska. Deformationerna ökade förhållandevis mycket efter en halvtimme, för att sedan minska eller stanna av under timme 1-6. Tre av dessa fyra provkropparna uppvisade dock återigen större deformationer efter 24 timmar. Detta kan bero på att provkropparna i verkligheten inte nått sin mättnadspunkt.

Tabell 4.17. Förskjutningar (μm) för Aquapanel + puts, 6 provkroppar

Tid (h)	1 (μm)	2 (μm)	3 (μm)	4 (μm)	5 (μm)	6 (μm)	Medel (μm)	Avvikelse (%)
0	-	-	-	-	-	-	-	-
0.5	6	0	1	3	1	2	2	200
1	6	1	4	4	4	5	4	75
3	7	3	4	4	5	4	5	40
6	12	3	5	5	6	6	6	100
24	5	2	3	6	7	4	5	60

Resultaten från förskjutningarna för Aquapanel plus puts är de viktigaste och de mest relevanta resultaten då detta motsvarar en vägg. Förutom den första provkroppen är resultaten rätt lika och förskjutningar är mindre än för de andra provkropparna. Även här är resultaten mindre än det som fåtts från Brigade. Här bör det iaktas att om skivan deformeras mer än putsen kommer kroppen att böjas. Det uppstår en tryckkomposant i putsen, vilket minskar deformationerna i förhållande till provkropparna av puts.

Allmänt om den experimentella studien kan det sägas att den relativa fuktigheten kan variera då provkropparna fick tas ut från klimatskåpet en och en och stoppas in i plastpåsar för att senare placeras in i ett klimatrum där det senare skulle fuktas upp. Som tidigare nämnts var mätningen svår då provkropparna i vissa fall rörde sig för mycket. Anledningen bakom dett är att det ibland fanns för mycket lim under plopparna som gjorde att de rörde på sig. Detta gav ibland oralistiska resultat och gjorde det svårt att dra verklighetstroga resultat.

Den experimentella studien ger en försäkran att resultaten från Brigade är realistiska och metoderna kan användas för lite mer verkliga typväggar. En vidareutveckling med hjälp av denna metod kan göras och kan vara försäkrad att den är verklighetstrogen.

I tabell 4.18 illustreras medelvärdet av ändringen i fukt mängd från den experimentella studien. För mer noggranna resultat se bilaga 10.

Tabell 4.18. Medelvärde av ändringen i fuktmängd för provkropparna vid experimentell studie

Δm_{medel} (g)	Aquapanel	Puts	Armerad puts	Aquapanel+ puts
	3.13	3.30	2.75	7.16

Avvikelser

Faktorer som kan ha påverkan på resultatet är bland annat att relativa fuktigheten inte riktigt var 40 % vid den experimentella studien. Detta då eftersom en förflyttning av provkropparna gjordes från klimatskåpet till provrummet. Under denna förflyttning var det möjligt att den relativa fuktigheten förändrades och kan därmed ha annorlunda resultat jämfört med vad WUFI indikerar.

En annan orsak till avvikelse i resultat kan vara att de fysikaliska egenskaperna hos putsen och skivan inte riktigt stämde överrens. Detta eftersom provkropparna har stått ute i rumstemperatur en längre tid medan de fysikaliska egenskaperna i WUFI-modellen är baserade på standardförutsättningar.

Från modellen i WUFI fås ett resultat som är baserat på dubbelsidig fukttransport genom flatsidorna av materialet. Även om den största fukttransporten sker huvudsakligen på detta sätt existerar ändå en viss transport av fukt axiellt som kan ha en påverkan på resultatet.

Simuleringen i Brigade gjordes med hjälp av kvalificerade antagningar av elasticitetsmodulerna för glasfiberarmeringen och putsen. Detta har naturligtvis en påverkan på det slutgiltiga resultatet och dess trovärdighet.

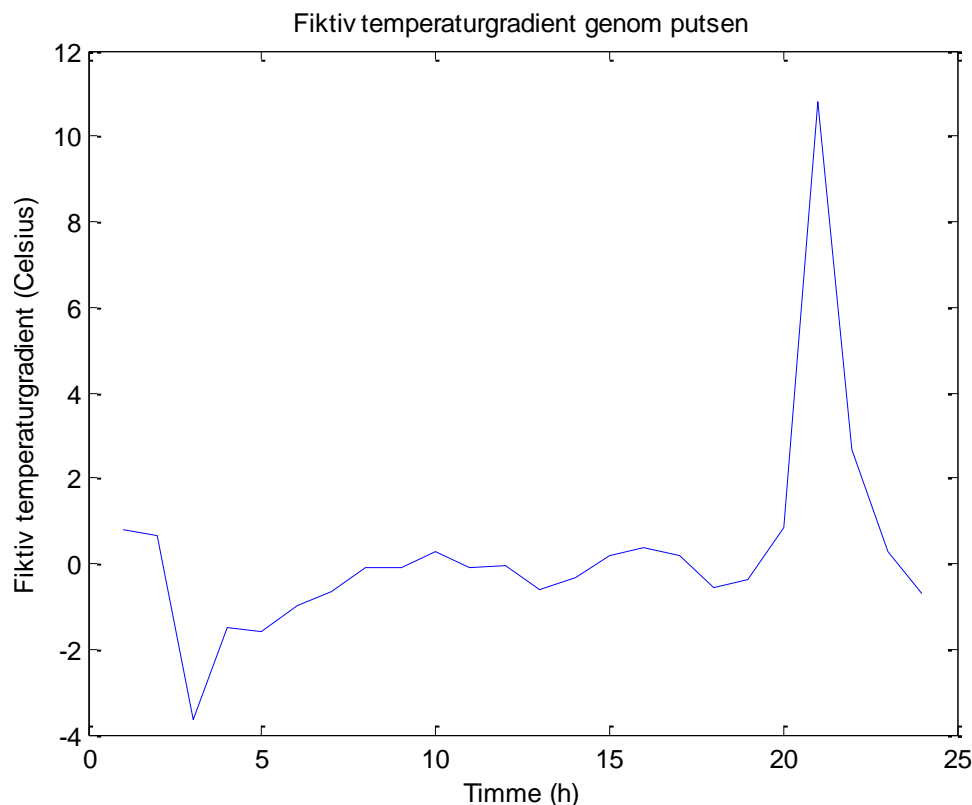
5. Modellering av deformationer i putsade skivor i utomhusklimat

Modelleringen av deformationer kommer att ske med hjälp av finita element programmet Brigade och det kommer att ske i fyra olika scenarion. Då temperaturskillnaderna inte blir stora läggs fokus på skillnaderna i relativ fuktighet. De fyra olika scenarion som väljs är när skillnaden i relativ fuktighet under en 24 - timmarsperiod är som störst genom putsen, genom skivan, genom hela konstruktionen (alltså puts och skiva) och dessutom när skillnaden i RF är som störst för en enskild observationspunkt. Temperaturerna kommer att tas med i beräkningarna, men de kritiska förloppen väljs på grund av skillnader i RF. Förutsättningarna baseras på resultat med avseende på maximala gradienten enligt kapitel 3.2. För samtliga fall blev fasaden med de största fuktrörelserna en fasad i Stockholm som vetter mot söder.

5.1. Framtagande av kritiska fiktiva temperaturer

I likhet med den experimentella studien har utförandet även här bestått av att först beräkna om skillnaderna i RF till fiktiva temperaturskillnader. Till skillnad från den experimentella studien finns här redan temperaturskillnader för varje timme. När de fiktiva temperaturerna beräknas adderas dessa med de vanliga temperaturskillnaderna, som uppstår på grund av värmeskillnader. Matlab – kod som hanterar beräkning av temperaturerna kan ses i bilaga 5.

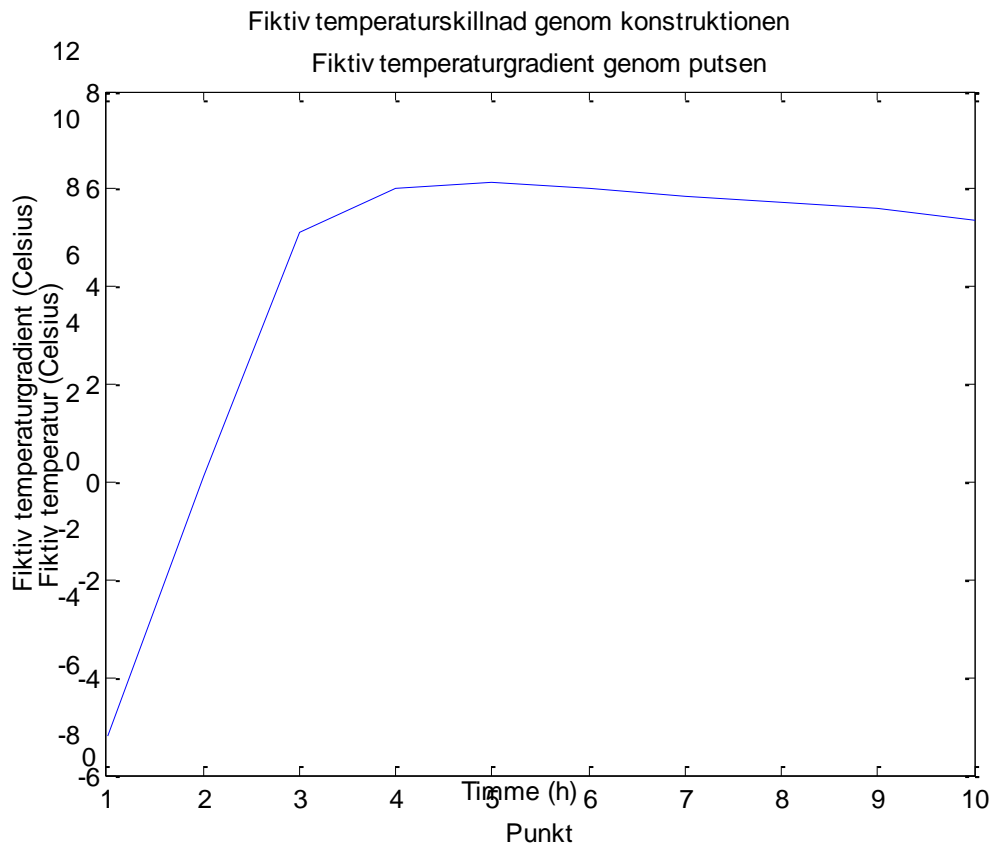
De kritiska dygnet är valda och de fiktiva temperaturskillnaderna kan ses i följande figurer.



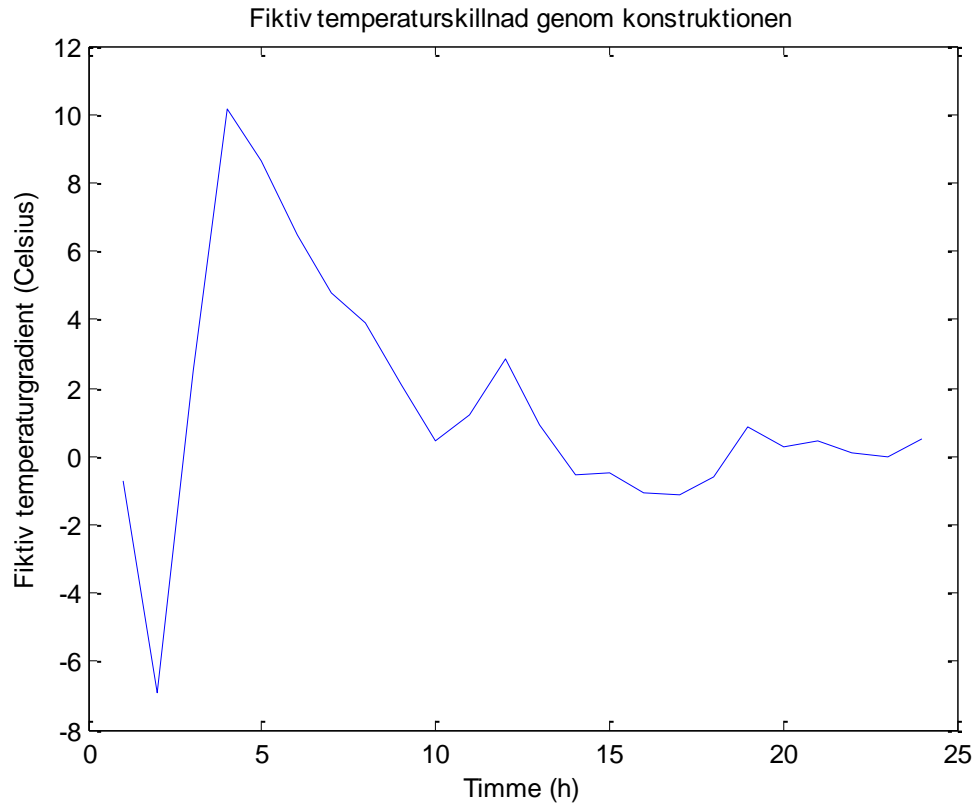
Figur 5.1. Fiktiv temperaturgradient över tid genom putsen när skillnaden i RF

Figur 5.1 visar temperaturgradienten genom putsen under det dygn då skillnaden i RF är som störst för detta fall. Detta sker runt 29 januari. I Matlab har en fiktiv temperatur beräknats för varje observationspunkt som sedan skall användas i FEM – programmet Brigade för att senare bestämma deformationerna. Figuren visar en skillnad på ca 11 °C som, vilket antyder att trots en stor fuktighetsskillnad blir inte temperaturskillnaden stor. Detta på grund av att temperaturskillnaden och fuktighetsskillnaden motverkar varandra, vilket betyder att när

temperaturskillnaden ökar minskar luftfuktighetskillnaden och tvärtom. Resultatet av detta blir att den fiktiva temperaturskillnaden inte blir stor. Figur 5.2 visar gradienten genom putsen för just den timmen då temperaturskillnaden är som störst.

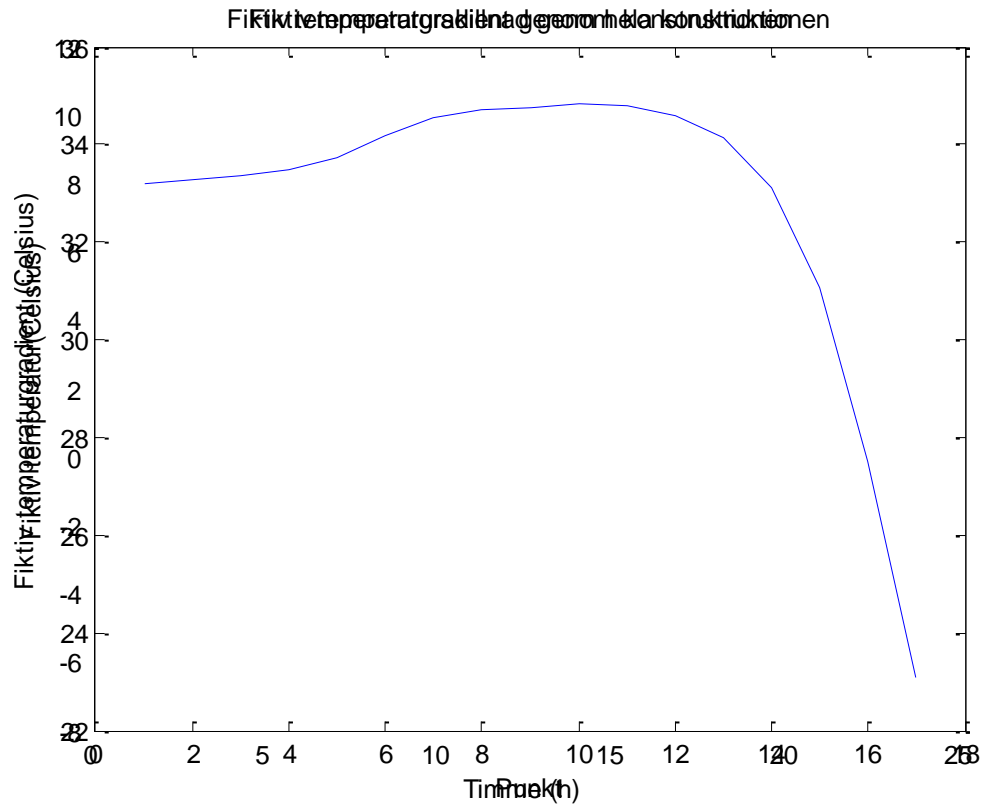


Figur 5.2. Fiktiv temperaturgradient genom putsen för det värsta fallet (timme 21 från figur 5.1)

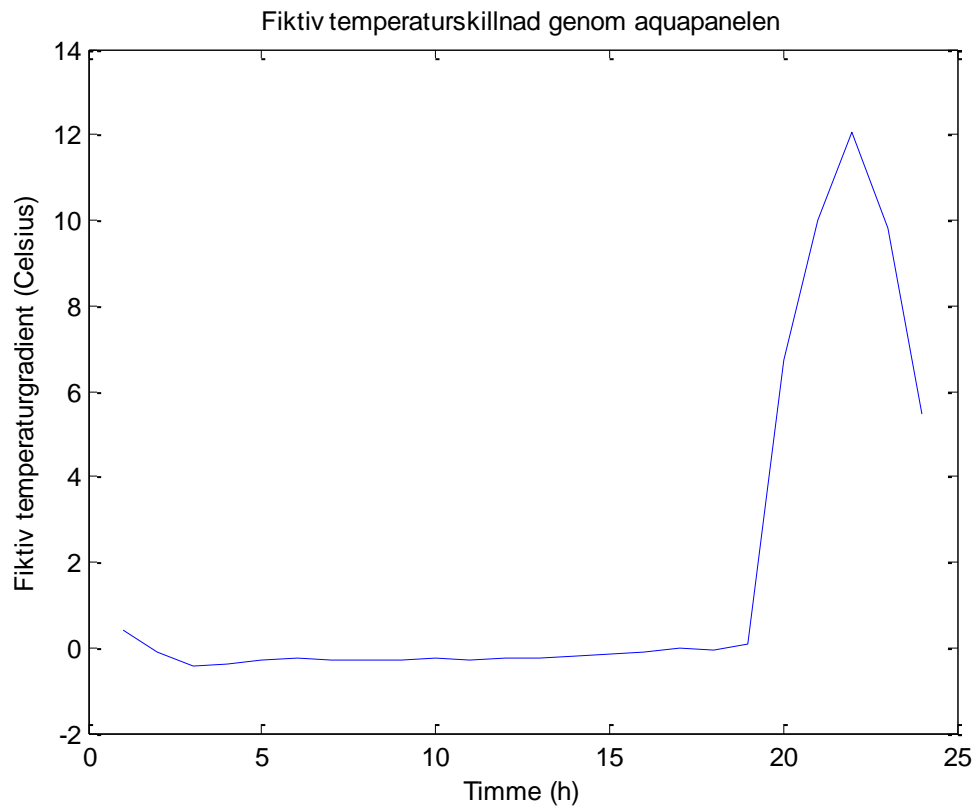


Figur 5.3. Fiktiv temperaturgradient mellan observationspunkt genom hela konstruktionen då skillnaden i RF

Figur 5.3 visar temperaturgradienten genom hela konstruktionen under det dygn skillnaden i RF är som störst. Detta inträffar runt 5 oktober. Den största temperaturskillnaden ligger här på ca 10 °C. Figur 5.4. visar gradienten genom hela konstruktionen för just den timmen då gradient är som störst.

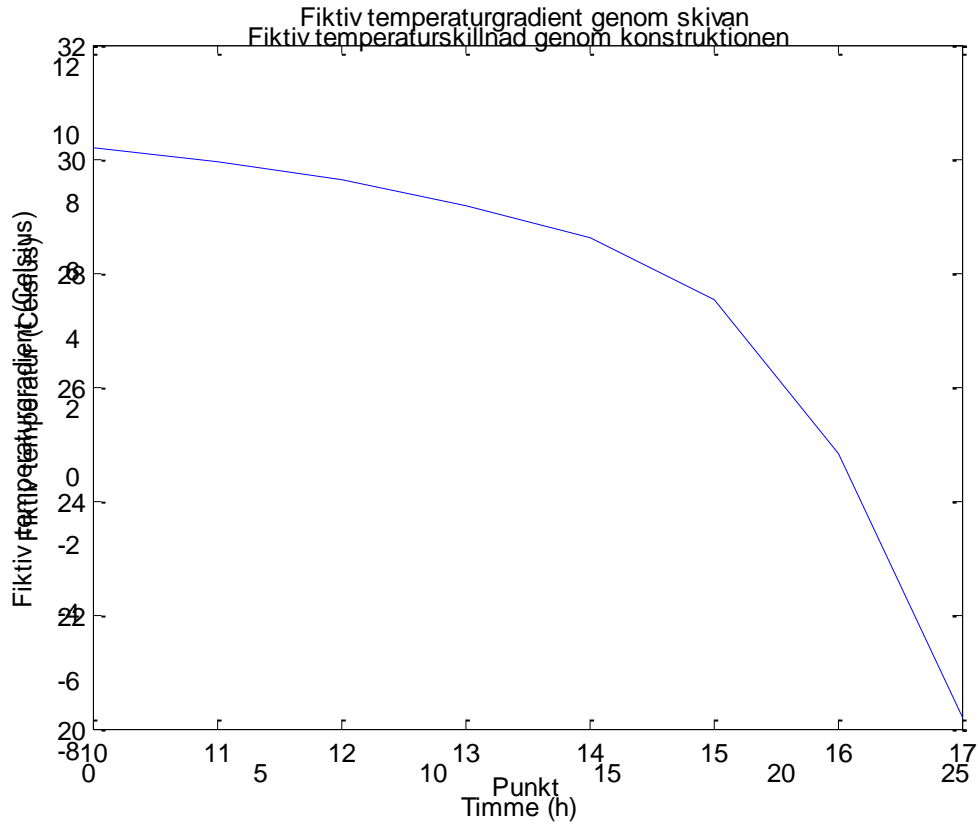


Figur 5.4. Fiktiv temperaturgradient genom hela konstruktionen för värsta fallet (timme 4 i figur 5.3)

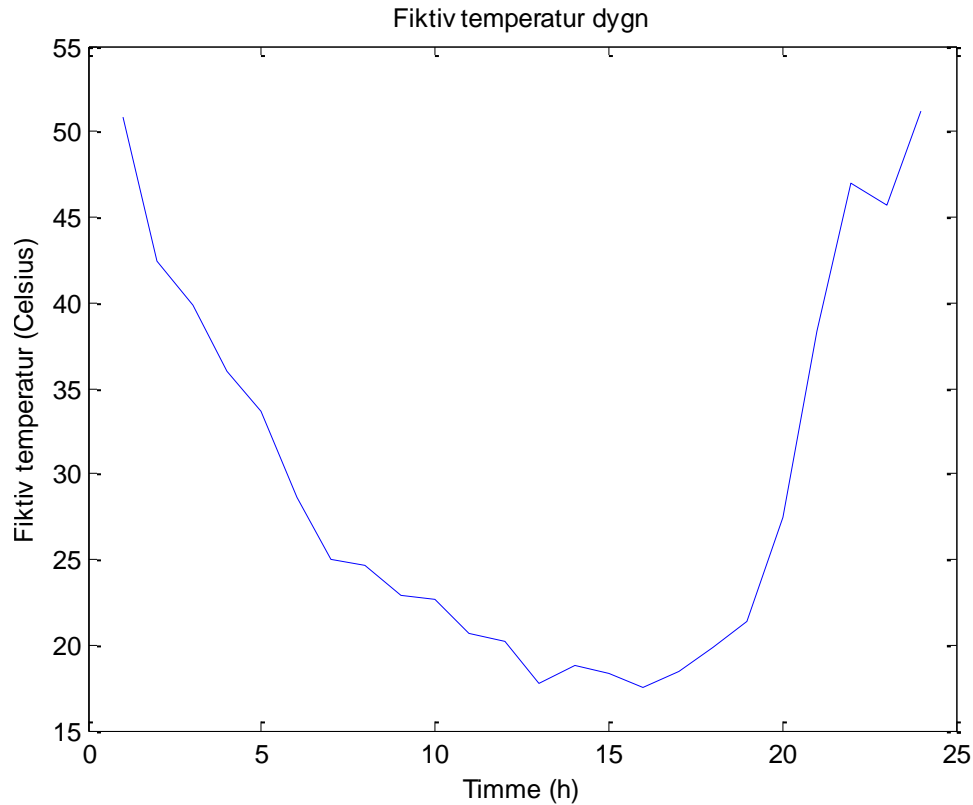


Figur 5.5. Fiktiv temperaturskillnad genom Aquapanelskivan då skillnaden i RF är som störst för detta fall

Figuren 5.5 visar den fiktiva temperaturskillnaden genom skivan under det dygn då skillnaden i RF är som störst. Detta sker runt 11 februari. Den största temperaturskillnaden ligger här på ca 12 °C. Temperaturgradienten genom skivan kan ses i figur 5.6 då den är som störst.



Figur 5.6. Fiktiv temperaturgradient genom Aquapanelskivan för värsta fallet



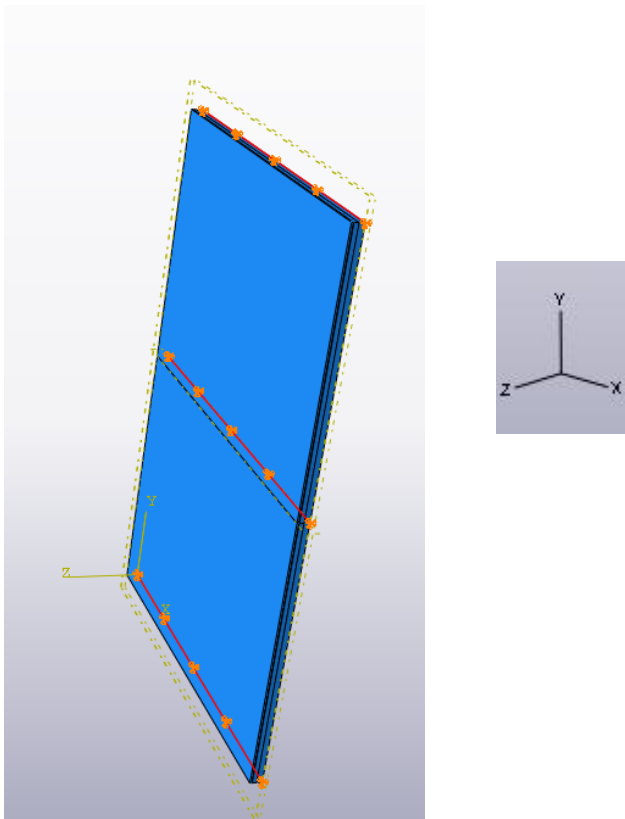
Figur 5.7. Fiktiv temperaturskillnad på putsens yta för det dygn där luftfuktigheten ändras som mest för en specifik observationspunkt

Figuren 5.7 visar den fiktiva temperaturen på putsens yta för det dygn då skillnaden i RF är som störst under ett dygn för en specifik observationspunkt, i detta fall observationspunkt ett. Detta inträffar runt 11 augusti. Den fiktiva temperaturskillnaden är som mest ca 30 °C för hela dygnet. Detta betyder att skillnaden mellan den maximala fiktiva temperaturen (ca 50 °C) och minimala fiktiva temperaturen (ca 20 °C) under detta dygn ligger på ca 30 °C.

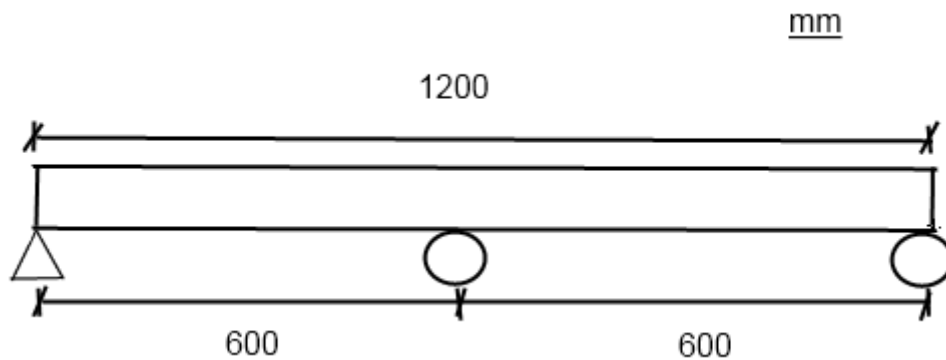
5.2. Framtagning av deformationer

I FEM – programmet Brigade görs i likhet med den experimentella studien två stycken modeller. Första modellen kommer att beräkna temperaturflödet genom hela modellen. Temperaturflödet har sedan tidigare beräknats med hjälp av Matlab, men är bara för ett antal punkter. Modelleringsmässigt behöver det finita element programmet en temperaturfördelning för samtliga punkter genom hela kroppen och det är detta som beräknas i den första modellen i Brigade. Temperaturfördelningen blir senare en fördefinierad last i modell två, en så kallad default. Det är detta som senare ger de olika spänningar och förskjutningar i kroppen.

I modell två beräknas förskjutningar för de olika fallen. Till skillnad från labbmätningen kommer modellen i detta fall efterlikna en vägg och har därför andra randvillkor. Randvillkoren i detta fall är sådana att plattan är fast inspänd i en linje var 600 mm i x – led (se figur 5.8). I figur 5.9 kan randvillkor för en platta ses där varje stöd motsvarar en inspänningslinje i figur 5.8.



Figur 5.8. Modell i Brigade som visar var randvillkoren är satta



Figur 5.9. Randvillkor med mått

Den fasta inspänningen som är randvillkoret ska efterlikna de vertikala trä- eller ställäkten som skivorna skruvats fast till. Resten av plattan får expandera fritt. Vertikala deformationer tas ut mitt emellan två vertikala läkt i skarven mellan två plattor (se figur 5.10).



Figur 5.10. Röd ring visar på var deformationer ska tas ut

Detta val har gjorts på grund av det är här två plattor går ihop och fogas ihop. Det är av stor betydelse att veta vilken rörelse som är att förvänta i denna punkt för att veta hur mycket fogmassa som behövs mellan plattorna och hur stor betydelse den har till uppkomsten av eventuella sprickor. Skivans dimensioner (tillsammans med puts) är 1200*900*27.5 mm. Höjd och bredd är ett standardmått för Aquapanel – skivan.

Utförandet i Brigade har gjorts för samtliga fyra fall, vilket betyder att fyra olika temperaturflöden har beräknats och fyra olika fall för förskjutningar har beräknats. Randvillkoren (se figur 5.8 och 5.9) är detsamma för samtliga fall. Det är alltså bara temperatur- och fuktförhållandena som skiljer de olika fallen åt.

5.3. Resultat från typvägg

Som tidigare nämnt beräknas förskjutningar för fyra olika fall. Samtliga fall föreställer förhållanden från Stockholm, fasad vetter mot syd. Förskjutningar beräknas i x-, y- och z-riktning för samtliga fall (se figur 5.5 och 5.6). De maximala förskjutningarna är samlade i tabellen nedan.

Tabell 5.1. Resultat från Brigade som visar förskjutningar i x-, y- och z-led i en punkt på skivan mitt emellan två läkt närmst skarven (se figur 5.10)

Dag	Förskjutning (mm)		
	X	Y	Z
Fall 1	0.19	0.064	0.66
Fall 2	0.1	0.034	0.33
Fall 3	0.15	0.052	0.50
Fall 4	0.18	0.061	0.62

Fall 1: gradienten för relativ fuktighet i en specifik observationspunkt är som störst under ett dygn.

Fall 2: gradienten för relativ fuktighet genom putsen är som störst under ett dygn.

Fall 3: gradienten för relativ fuktighet genom skivan är som störst under ett dygn.

Fall 4: gradienten för relativ fuktighet genom konstruktionen är som störst under ett dygn.

Tabell 5.1 visar förskjutningarna i en punkt, i en skiva, på kanten mittemellan två läkt. Alltså i den punkt som ligger bredvid intilliggande skiva. Detta betyder att två plattor vill förskjutas mot varandra med samma förskjutningar i x-led som visas i tabellen. I till exempel fall ett vill båda plattorna i x-led förskjutas mot varandra med 0.19 mm.

Enligt tabellen ovan är det mest kritiskt i fall 1 då gradienten för relativ fuktighet i en specifik observationspunkt är stor, vilket oftast inträffar på ytan. De största förskjutningar sker i z-led och det är förmodligen dessa som oftast leder till sprickbildning. Putsen skall kunna motstå dessa deformationer för att sprickbildning inte ska uppstå och bör därför dimensioneras efter dessa. Förskjutningen i y-led kan bero på utböjningen av plattan. Förskjutningen i z-led är den utböjning som sker ut från fasaden.

6. Analys, diskussion och slutsatser

6.1. Analys och diskussion

Att kunna avgöra om en fasad är beständig och fuktsäker är väldigt svårt att veta oavsett fasadens utseende eller uppbyggnad. Det finns olika metoder och sätt att dra slutsatser som är baserade på tidigare kännedom om de olika ingående materialens egenskaper och t.ex. deras uppförande då de utsätts för fukt. Eftersom fukt har ett mer komplicerat beteende än temperatur i materialen så medför det ett svårare fastställande av dess påverkan på materialet. I detta examensarbete undersöks dessutom ett material, Aquapanelskivan, vars fuktrelaterade beteende är förhållandevis lite utforskat. För att erhålla mer kunskap måste en rad tester utföras. Därför har även i detta examensarbete beräkningar och simuleringar kunnat understödjas med en experimentell studie. Jämförelsen mellan den experimentella studien och simuleringarna visar hur trovärdiga dessa simuleringar är och om de är lämpliga att använda som understöd vid verkliga utföranden. Som med alla andra simuleringar och experimentella studier finns det ett antal osäkerheter och ett antal antaganden har därför varit nödvändiga. De antaganden som är redovisade i arbetet var oftast en nödvändighet för att kunna fullfölja undersökningen men var ändå realistiska så att resultatet i sig analyseras med hänsyn till dessa antaganden. Till exempel har den experimentella studien i arbetet gett en verklig bild av den tredimensionella fuktabsorptionen i skivan och putsen medan datorprogrammet, WUFI, gav resultat med hänsyn till en endimensionell fuktabsorption. Skillnaden i resultat ses tydligt och därmed kan osäkerheten mellan simulering och experimentell studie lättare identifieras samtidigt som en uppfattning ges av fuktgenomträngningen i materialen.

En viktig aspekt i den här rapporten har varit omräkningen från skillnad i relativ fuktighet till en fiktiv temperaturförändring. Det har gjort det möjligt att beräkna fram deformationer med hjälp av FEM – programmet Brigade. Tanken bakom omräkningen är att räkna om temperaturförändring till töjning med hjälp av längdutvidgningskoefficienten α . En temperaturförändring och en fukttransport beter sig dock olika då fukttransporten är mer komplex och svår att beräkna. Till exempel kan fuktmängden i en skiva, eller en kvadratmeter, vara inhomogen och skapa fläckar på väggen på grund av att t.ex. putsen fått olika tjocklekar när skivan spacklats. Detta blir svårt att ta hänsyn till och är något som utesluts från denna rapport.

Under den experimentella studien och även i typväggen användes glasfiberarmering i putsen. Armeringen är något som varit svårt att simulera under processens gång. Det är nämligen så att armeringen är vattenavledande och det blir därför svårt att förutse hur fukttransporten sker genom armeringen. Under den experimentella studien kunde det tydligt ses att en liten hinna av fukt skapas på grund av armeringen och lika mycket fukt tränger inte genom hålrummen i armeringen som om armeringen inte fanns där. Detta kan kanske leda till att putsen närmst ytan fuktas upp extra mycket och töjs ut mer än resten av putsen, vilket kan leda till större spänningar. Samtidigt tillåter inte armeringen att lika mycket fukt tränger in i resten av konstruktionen (putsen och Aquapanel-skivan) vilket påverkar den på ett positivt sätt.

I rapporten har det inte heller tagits hänsyn till så kallad hysteres i fuktkurvorna, vilket är vanligt i de flesta byggnadsmaterial. Detta har gjorts för att underlätta beräkningarna, men också för att exakta fuktkurvor inte fanns tillgängliga. Under omräkningen av skillnad i relativ fuktighet till temperaturförändring har det alltså inte tagits hänsyn till att det är en skillnad i töjning mellan fallen om det är sorption eller desorption. I vanliga fall är detta något som gärna tas hänsyn till och ger en liten skillnad i deformationer.

6.2. Slutsatser

Under rapportens gång blev det allt mer klart att bristen på verkliga materialegenskaper leder till större osäkerhet vid resultat. Längdutvidgningskoefficienten och fuktkurvorna är en vital del i rapporten och bristen på exakta värden (framförallt för puts) leder till felmarginaler. Dock gav den experimentella studien en bra inblick på hur stora felmarginalerna blev och vad som bör undersökas bättre. Därmed kan det konstanteras att den experimentiella studiens resultat är de som skall anses mest trovärdiga vid för stora avvikelser från de beräkningar som gjorts.

I mån av mer tid hade det varit bra att studera putsens materialegenskaper mycket noggrannare med till exempel experimentella studier. En annan tillgång till rapporten hade varit en utökad experimentell studie på fler provkroppar och även vid fler tillfällen, för att få ett större utbud av resultatet.

Metoden är bäst att tillämpa då man vill se fukttransport genom materialet. Vad gäller framtagning av deformationer visar den goda tendenser till ett potentiellt tillvägagångssätt. Det bör undersökas vidare med bättre tillgång till materialdata. Men resultaten från simuleringarna och den experimentella studien var inte helt skilda, vilket visade att en vidareutveckling av denna metod kan leda till mer precisa resultat och större trovärdighet.

Rapporten hänvisar till hur stora deformationerna kan bli under ett typår i Lund och Stockholm. Vad som inte studerats är storleken på de deformationer som bidrar till sprickor i fasaden. Det är därför svårt att avgöra i denna rapport om det uppstår sprickor i fasaden eller ej. En vidare forskning på detta problem kan då till exempel vara en beräkning på vilka deformationer som krävs för att det ska uppstå sprickor i fasaden.

Litteraturförteckning

Burström, P. G. (2007). *Byggnadsmaterial*. Lund: Studentlitteratur AB.

Clas Ohlson. (den 13 Juni 2012). Hämtat från Clas Ohlson: www.clasohlson.se den 13 Juni 2012

Engerup, C. (2008). *Enstegstätning av putsade fasader*. Lund: KFS.

Falk, J. (2010). *Ventilerad luftspalt i yttervägg - Luftomsättningar och konvektiv fukttransport*. Lund: Lunds Universitet.

Fraunhofer IBP, 2012. *WUFI PRO version 5.1*.

Knauf USG Systems 2012. (2012). Hämtat från Aquapanel: www.aquapanel.com 2012

Knauf, A. (den 21 September 2012). www.knaufdanogips.se. Hämtat från http://byggsystem.knaufdanogips.se/products/boards/cement/aquapanel_outdoor/index.html

Knaufdanogips. (den 30 April 2012). Hämtat från www.knaufdanogips.se den 8 Juni 2012

Lindab. (u.d.). *Lindab*. Hämtat från www.lindab.com

MathWorks, 2013. *MATLAB Software Version 7.13 (R2013b)*, s.l.: s.n.

Molnär, M. (2010). *Fuktbetingade rörelser samt fuktupptagnings- och fuktavgivningsegenskaper hos putsbärande skivor av typen Aquapanel Outdoor och Sto Ventec*. Lund: LTH.

Scanscot Technology AB, 2012. *Brigade/Plus*

Sheppard, L. M. (den 13 Juni 2012). *Made How*. Hämtat från <http://www.madehow.com/Volume-2/Fiberglass.html> den 13 Juni 2012

Specialty Minerals. (2012). Hämtat från Specialty Minerals: <http://www.specialtyminerals.com> den 13 Juni 2012

Sto. (2012). [www.Sto.se](http://www.sto.se). Hämtat från http://www.sto.se/40662_SE-Broschyren-StoVentec.pdf 2012

Tegelmäster. (den 12 Juni 2012). *Tegelmäster AB*. Hämtat från Tegelmäster AB: www.tegelmaster.se den 12 Juni 2012

vvsforum. (den 13 Juni 2012). Hämtat från vvsforum: www.vvsforum.se den 13 Juni 2012

Weber. (den 11 06 2012). Hämtat från www.weber.se den 11 06 2012

Weber. (den 11 06 2012). www.weber.se. Hämtat från Weber. den 11 06 2012

d

Bilaga 1 – materialegenskaper och inställningar i WUFI – simuleringen

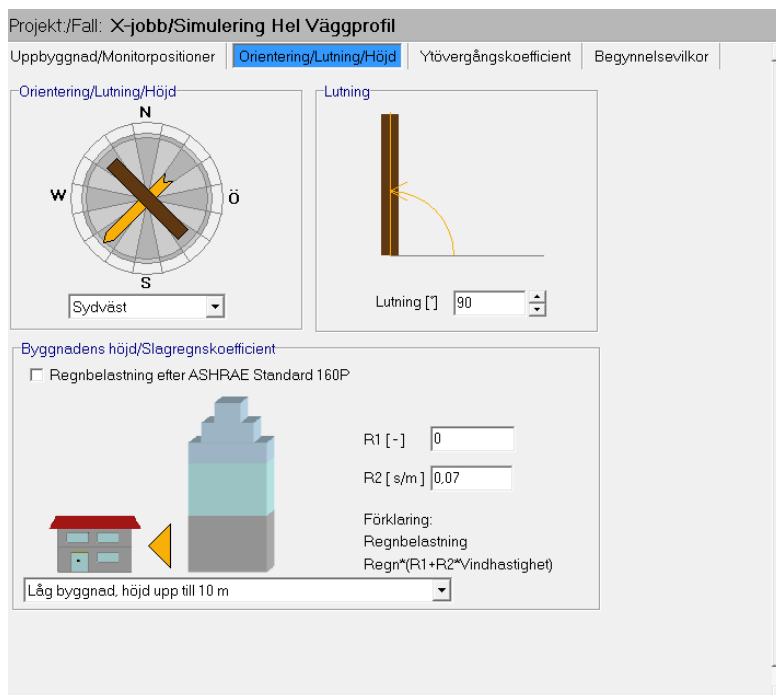
Tabell bilaga 1.1. Materialegenskaper för ingående material

Egenskap	Material					
	Ytfärg	Puts	Aquapanel	Luftspalt	Ångspärr	Mineralull
Skrymdensitet (kg/m^3)	1475	1900	1150	1,3	130	60
Porositet (%)	44	24	25	99,9	0,1	95
Specifik värmekapacitet (J/kgK)	1000	850	950	1000	2300	850
Värmeledningsförmåga (W/mK)	0,689	0,8	0,36	0,155	2,3	0,04
Diffusionsmotstånd för vattenånga	74	19	19	0,51	100000	1,3

Tabell bilaga 1.2. Särskilda materialegenskaper för puts

Egenskap	Material	
	Ytfärg	Puts
Referens vattteninnehåll (kg/m^3)	2,9	45
Fri vattenhalt (kg/m^3)	303	210
Vatten absorptionskoefficient ($\text{kg/m}^2 \text{s}^{0.5}$)	0,00016	0,017

Bilderna nedan visar inställningarna som använts i WUFI.



Projekt/Fall: X-jobb/Simulering Hel Vägprofil

Uppbyggnad/Monitorpositioner | Orientering/Lutning/Höjd | **Ytövergångskoefficient** | Begynnelsevillkor

Yttre yta (vänster sida)

Värmemotstånd [m²K/W] External Wall

Vindberoende Inkluderas långvågigt strålningsbidrag

Sd-värde [m] No coating

Absorptionstal för kortvågig strålning [-] Brick, red

Emissionstal för långvågig strålning [-] [Detaljer >>](#)

Absorptionstal för regnvatten [-] According to inclination and construction type

Inre yta (höger sida)

Värmemotstånd [m²K/W] (External Wall)

Sd-värde [m] Gypsum board

Projekt/Fall: X-jobb/Simulering Hel Vägprofil

Beräkningsperiod / Profiler | **Numerik**

Beräkningstyp

Värmetransportberäkning Fukttansportberäkning

För värmeledning

Använd temperatur- och fuktberoende

Använd konstant dimensionerande värde

Hygrotermiska specialinställningar

Utan kapillärtransport

Utan latent värme ånga-vätska

Utan latent värme vätska-fast

Numeriska parametrar

Ökad noggrannhet

Konvergensförbättring

Adaptiv tidsstegskontroll

Sätt på

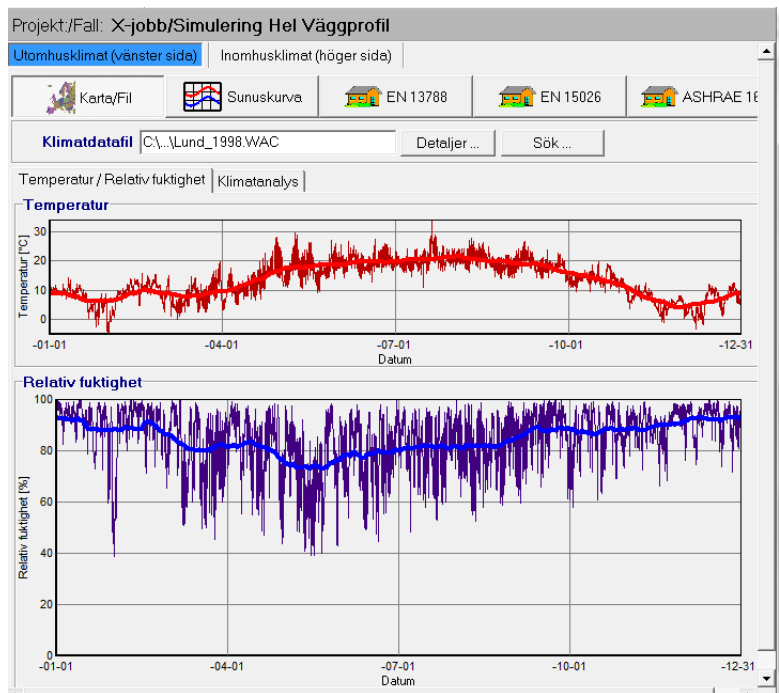
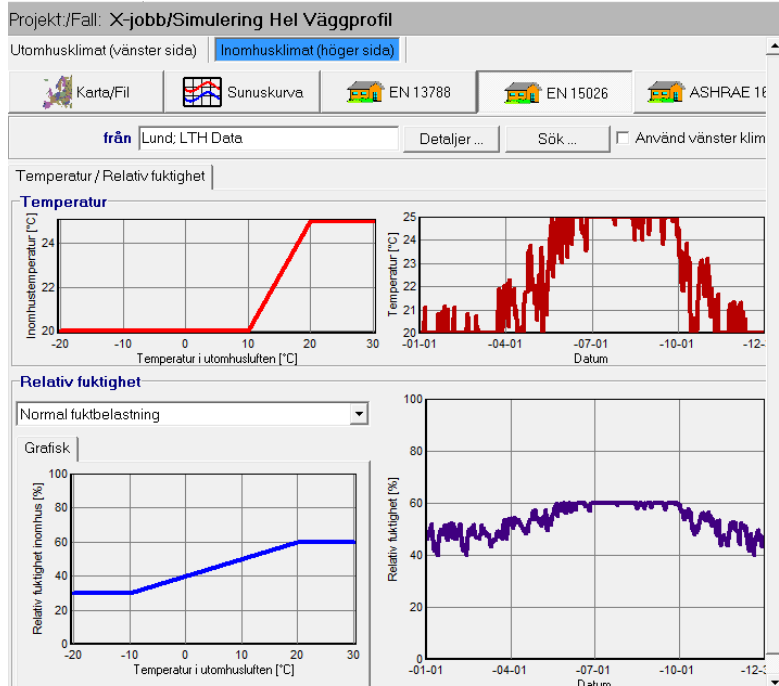
Steg

Max steg

Geometri

Kartesiska

Cylindersymmetrisk



Bilaga 2 – framtagande av luftomsättningarna i luftspalten

```
close all
clear all
format compact
load matlab.mat

% Termisk drivkraft-tryckskillnad pga temperaturskillnad
T1=21; % Celsius
T2=[Lund98(:,1)];
h=3;
D=size(T2);

for k=1:8760
deltap(k)=abs(3462*(1/(T2(k)+273.15)-1/(T1+273.15))*h);
end
deltap;
DeltapMaj=deltap(1,3169:3337)';

figure(1)
plot(T2,deltap)
title('Tryckskillnad i luftspalt')
xlabel('Temperaturskillnad (C)')
ylabel('Tryckskillnad (Pa)')

% Temperaturens normalfördelning
F=normcdf(deltap);
figure(2)
plot(F)
title('Temperaturens normalfördelning för hela året')
xlabel('Timme (h)')
ylabel('Fördelning')

% Medelluftshastigheten som funktion av tryckskillnaden (taget ur JF)
TS=[0:10]';
Um=[0;0.6;0.85;1;1.2;1.45;1.5;1.6;1.7;1.8;1.92];
figure(3)
plot(TS,Um)
title('Medelluftshastighet i spalt')
xlabel('Tryckskillnad (Pa)')
ylabel('Medelluftshastighet (m/s)')

% Interpolation av grafen för våra värden
Xq=[DeltapMaj];
s=interp1(TS,Um,Xq);

% Luftomsättningen i en spalt med vertikal läkt
DeltapMaj;
t=size(DeltapMaj);
Umspalt=s;
figure
plot(DeltapMaj,Umspalt)
title('Medelluftshastigheten som funktion av tryckskillnaden')
xlabel('Tryckskillnad (Pa)')
ylabel('Medelluftshastigheten (m/s)')

Omsattning=(Umspalt./h)*3600;
r=Omsattning;
figure
```

```
plot(r, 'b+:')  
title('Luftomsättningen som funktion av tiden')  
xlabel('Tid (h)')  
ylabel('Luftomsättningen (oms/h)')
```

Bilaga 3 – framtagande av fiktiva temperaturer för experimentell studie

```
close all
clear all
load provkroppRF.mat
load provkropparrf.mat
alpha=7*10^-6; %alpha Aquapanel
alphaputs=9*10^-6;
deltaRF=[];

%Temperatur- och RelativFuktighetsskillnader per timme bara Aquapanel
for i=1:48
    for j=1:8
        deltarf(j)=RF((i+1),j)-RF(i,j);
    end
    deltaRF(i,:)=[deltarf];
end
Expansion=[];
T=20*[ones(1,8);zeros(47,8)];
%Omräkning deltaRF -> deltaT
for i=1:48
    for j=1:8
        expansion(j)=(RF((i+1),j)*0.0063-RF(i,j)*0.0063)*10^-3;
    end
    Expansion(i,:)=[expansion];
    deltaTRF(i,:)=[expansion/alpha];
    for j=1:8
        T((i+1),j)=T(i,j)+deltaRF(i,j);
    end
end

%Temperatur- och Relativa fuktighetsskillnader per timme
RFAP=RFAP((1:25),(2:19));
RFAP(1,18)=40;
RFA=RFA((1:25),(2:9));
RFP=RFP((1:25),(2:10));
TAP=20*[ones(1,18);zeros(23,18)];
TA=20*[ones(1,8);zeros(23,8)];
TP=20*[ones(1,9);zeros(23,9)];
ExpansionA=[];
ExpansionP=[];
ExpansionAP=[];
%Omräkning deltaRF -> deltaT-> Temperatur
for i=1:24
    for j=1:8
        expansiona(j)=(RFA((i+1),j)-RFA(i,j))*0.0063*10^-3;
    end
    for j=1:9
        expansionp(j)=(RFP((i+1),j)-RFP(i,j))*0.0025*10^-3;
    end
    for j=1:18
        if j<10
            expansionap(j)=(RFAP((i+1),j)-RFAP(i,j))*0.0025*10^-3;
            deltaaprf(j)=expansionap(j)/alphaputs;
        else
            expansionap(j)=(RFAP((i+1),j)-RFAP(i,j))*0.0063*10^-3;
            deltaaprf(j)=expansionap(j)/alpha;
        end
    end
    ExpansionA(i,:)=[expansiona];
```



```

deltaTARF(i,:)=[expansiona/alpha];
ExpansionP(i,:)=[expansionp];
deltaTPRF(i,:)=[expansionp/alphaputs];
ExpansionAP(i,:)=[expansionap];
deltaTAPRF(i,:)=[deltaaprf];
for j=1:8
    TA((i+1),j)=TA(i,j)+deltaTARF(i,j);
end
for j=1:9
    TP((i+1),j)=TP(i,j)+deltaTPRF(i,j);
end
for j=1:18
    TAP((i+1),j)=TAP(i,j)+deltaTAPRF(i,j);
end
end
figure(1)
plot(1:8,TA)
xlabel('Punkt')
ylabel('Fiktiv temperatur (Celsius)')
title('Fiktiv temperaturgradient genom skivan')
grid on
figure(2)
plot(1:9,TP)
xlabel('Punkt')
ylabel('Fiktiv temperatur (Celsius)')
title('Fiktiv temperaturgradient genom putsen')
grid on
figure(3)
plot(1:18,TAP)
xlabel('Punkt')
ylabel('Fiktiv temperatur (Celsius)')
title('Fiktiv temperaturgradient genom konstruktionen')
grid on
figure(4)
plot(1:8,RFA)
xlabel('Punkt')
ylabel('Relativ fuktighet (%)')
title('RF-gradient genom skivan')
grid on
figure(5)
plot(1:9,RFP)
xlabel('Punkt')
ylabel('Relativ fuktighet (%)')
title('RF-gradient genom putsen')
grid on
figure(6)
plot(1:18,RFAP)
xlabel('Punkt')
ylabel('Relativ fuktighet (%)')
title('RF-gradient genom konstruktionen')
grid on

```

Bilaga 4 – framtagande av kritiska scenarion

```
clear all
close all
load wufiresultat.mat
%Loop över största temperatur- och luftfuktighetskillnader
alpha=7*10^-6;
start=1;
slut=24;
tempLundNorr=[];
tempLundSydvast=[];
tempSthlmNorr=[];
tempSthlmSyd=[];
rfLundNorr=[];
rfLundSydvast=[];
rfSthlmNorr=[];
rfSthlmSyd=[];
while slut<8761
    m=start;
    n=slut;
    for i=1:17
        %Lagra temperatur och rf för varje punkt under 24 timmarsperiod
        tempLundNorr(:,i)=[TempRF98LundNorr(m:n,2*i)];
        rfLundNorr(:,i)=[TempRF98LundNorr(m:n,(2*i+1))];
        tempLundSydvast(:,i)=[TempRF98LundSydvast(m:n,2*i)];
        rfLundSydvast(:,i)=[TempRF98LundSydvast(m:n,(2*i+1))];
        tempSthlmNorr(:,i)=[TempRF98SthlmNorr(m:n,2*i)];
        rfSthlmNorr(:,i)=[TempRF98SthlmNorr(m:n,(2*i+1))];
        tempSthlmSyd(:,i)=[TempRF98SthlmSyd(m:n,2*i)];
        rfSthlmSyd(:,i)=[TempRF98SthlmSyd(m:n,(2*i+1))];
        %Ta ut störst skillnad för varje punkt under varje 24 timmars
        %period
        tempskillnadLundNorr(:,i)=[max(tempLundNorr(:,i))-
min(tempLundNorr(:,i))];
        rfskillnadLundNorr(:,i)=[max(rfLundNorr(:,i))-
min(rfLundNorr(:,i))];
        tempskillnadLundSydvast(:,i)=[max(tempLundSydvast(:,i))-
min(tempLundSydvast(:,i))];
        rfskillnadLundSydvast(:,i)=[max(rfLundSydvast(:,i))-
min(rfLundSydvast(:,i))];
        tempskillnadSthlmNorr(:,i)=[max(tempSthlmNorr(:,i))-
min(tempSthlmNorr(:,i))];
        rfskillnadSthlmNorr(:,i)=[max(rfSthlmNorr(:,i))-
min(rfSthlmNorr(:,i))];
        tempskillnadSthlmSyd(:,i)=[max(tempSthlmSyd(:,i))-
min(tempSthlmSyd(:,i))];
        rfskillnadSthlmSyd(:,i)=[max(rfSthlmSyd(:,i))-
min(rfSthlmSyd(:,i))];
    end
    %Ta ut störst temperaturskillnad under varje 24 timmars
    %period
    mtskillnadLundNorr(m)=abs(tempskillnadLundNorr(:,1));
    mrfskillnadLundNorr(m)=abs(rfskillnadLundNorr(:,1));
    mtskillnadLundSydvast(m)=abs(tempskillnadLundSydvast(:,1));
    mrfskillnadLundSydvast(m)=abs(rfskillnadLundSydvast(:,1));
    mtskillnadSthlmNorr(m)=abs(tempskillnadSthlmNorr(:,1));
    mrfskillnadSthlmNorr(m)=abs(rfskillnadSthlmNorr(:,1));
    mtskillnadSthlmSyd(m)=abs(tempskillnadSthlmSyd(:,1));
    mrfskillnadSthlmSyd(m)=abs(rfskillnadSthlmSyd(:,1));
    start=start+1;
    slut=slut+1;
end
```

```

%Ta up temperaturskillnad mellan punkt 1-10,1-17,10-17
tempkillnad1_10=[];
tempkillnad1_10(:,1)=(abs(TempRF98LundNorr(:,2)-TempRF98LundNorr(:,20)));
tempkillnad1_10(:,2)=(abs(TempRF98LundSydvast(:,2)-
TempRF98LundSydvast(:,20)));
tempkillnad1_10(:,3)=(abs(TempRF98SthlmNorr(:,2)-
TempRF98SthlmNorr(:,20)));
tempkillnad1_10(:,4)=(abs(TempRF98SthlmSyd(:,2)-TempRF98SthlmSyd(:,20)));
tempkillnad1_17=[];
tempkillnad1_17(:,1)=(abs(TempRF98LundNorr(:,2)-TempRF98LundNorr(:,34)));
tempkillnad1_17(:,2)=(abs(TempRF98LundSydvast(:,2)-
TempRF98LundSydvast(:,34)));
tempkillnad1_17(:,3)=(abs(TempRF98SthlmNorr(:,2)-
TempRF98SthlmNorr(:,34)));
tempkillnad1_17(:,4)=(abs(TempRF98SthlmSyd(:,2)-TempRF98SthlmSyd(:,34)));
tempkillnad10_17=[];
tempkillnad10_17(:,1)=(abs(TempRF98LundNorr(:,20)-
TempRF98LundNorr(:,34)));
tempkillnad10_17(:,2)=(abs(TempRF98LundSydvast(:,20)-
TempRF98LundSydvast(:,34)));
tempkillnad10_17(:,3)=(abs(TempRF98SthlmNorr(:,20)-
TempRF98SthlmNorr(:,34)));
tempkillnad10_17(:,4)=(abs(TempRF98SthlmSyd(:,20)-
TempRF98SthlmSyd(:,34)));
rfskillnad1_10=[];
rfskillnad1_10(:,1)=(abs(TempRF98LundNorr(:,3)-TempRF98LundNorr(:,21)));
rfskillnad1_10(:,2)=(abs(TempRF98LundSydvast(:,3)-
TempRF98LundSydvast(:,21)));
rfskillnad1_10(:,3)=(abs(TempRF98SthlmNorr(:,3)-TempRF98SthlmNorr(:,21)));
rfskillnad1_10(:,4)=(abs(TempRF98SthlmSyd(:,3)-TempRF98SthlmSyd(:,21)));
rfskillnad1_17=[];
rfskillnad1_17(:,1)=(abs(TempRF98LundNorr(:,3)-TempRF98LundNorr(:,35)));
rfskillnad1_17(:,2)=(abs(TempRF98LundSydvast(:,3)-
TempRF98LundSydvast(:,35)));
rfskillnad1_17(:,3)=(abs(TempRF98SthlmNorr(:,3)-TempRF98SthlmNorr(:,35)));
rfskillnad1_17(:,4)=(abs(TempRF98SthlmSyd(:,3)-TempRF98SthlmSyd(:,35)));
rfskillnad10_17=[];
rfskillnad10_17(:,1)=(abs(TempRF98LundNorr(:,21)-TempRF98LundNorr(:,35)));
rfskillnad10_17(:,2)=(abs(TempRF98LundSydvast(:,21)-
TempRF98LundSydvast(:,35)));
rfskillnad10_17(:,3)=(abs(TempRF98SthlmNorr(:,21)-
TempRF98SthlmNorr(:,35)));
rfskillnad10_17(:,4)=(abs(TempRF98SthlmSyd(:,21)-TempRF98SthlmSyd(:,35)));
%Beräkning av hur många gånger rf skillnaden är mellan 0-30%, 30-50% och
%50+%.
antall_10_0_30=[0,0,0,0];
antall_10_30_50=[0,0,0,0];
antall_10_50_=[0,0,0,0];
antall_17_0_30=[0,0,0,0];
antall_17_30_50=[0,0,0,0];
antall_17_50_=[0,0,0,0];
antall10_17_0_30=[0,0,0,0];
antall10_17_30_50=[0,0,0,0];
antall10_17_50_=[0,0,0,0];
for i=1:8761
    for j=1:4
        if rfskillnad1_10(i,j) <= 30
            antal1_10_0_30(1,j)=antal1_10_0_30(1,j)+1;
        elseif rfskillnad1_10(i,j) <= 50
            antal1_10_30_50(1,j)=antal1_10_30_50(1,j)+1;
        else

```

```

        antal10_17_50_(1,j)=antal10_17_50_(1,j)+1;
    end
    if rfskillnad10_17(i,j) <= 30
        antal10_17_0_30(1,j)=antal10_17_0_30(1,j)+1;
    elseif rfskillnad10_17(i,j)<=50
        antal10_17_30_50(1,j)=antal10_17_30_50(1,j)+1;
    else
        antal10_17_50_(1,j)=antal10_17_50_(1,j)+1;
    end
    end
    if rfskillnad1_17(i,j) <= 30
        antal1_17_0_30(1,j)=antal1_17_0_30(1,j)+1;
    elseif rfskillnad1_17(i,j)<=50
        antal1_17_30_50(1,j)=antal1_17_30_50(1,j)+1;
    else
        antal1_17_50_(1,j)=antal1_17_50_(1,j)+1;
    end
    end
end
figure(1)
plot(1:8761,TempRF98LundNorr(:,2), 'r')
hold on
plot(1:8761,TempRF98SthlmNorr(:,2), 'b')
grid on
xlabel('timme (h)')
ylabel('Temperatur (Celsius)')
title('Temperaturvariation på putsens yta')
legend('Lund 1998', 'Stockholm 1998')
figure(2)
plot(1:8737,mtskillnadLundNorr, 'b')
hold on
plot(1:8737,mtskillnadLundSydvast, 'r')
hold on
plot(1:8737,mtskillnadSthlmNorr, 'g')
hold on
plot(1:8737,mtskillnadSthlmSyd, 'k')
grid on
xlabel('24-timmars period')
ylabel('Temperaturskillnad (Celsius)')
title('Maximal temperaturskillnad på putsens yta under en 24-timmarsperiod')
legend('Lund fasad Norr', 'Lund fasad Sydväst', 'Stockholm fasad Norr', 'Stockholm fasad Syd')
figure(3)
plot(1:8737,mrfskillnadLundNorr, 'b')
hold on
plot(1:8737,mrfskillnadLundSydvast, 'r')
hold on
plot(1:8737,mrfskillnadSthlmNorr, 'g')
hold on
plot(1:8737,mrfskillnadSthlmSyd, 'k')
grid on
xlabel('24-timmars period')
ylabel('RF - skillnad (%)')
title('Maximal skillnad i RF på putsens yta under en 24-timmarsperiod')
legend('Lund fasad Norr', 'Lund fasad Sydväst', 'Stockholm fasad Norr', 'Stockholm fasad Syd')
figure(4)
plot(1:8761,tempkillnad1_10(:,1), 'b')
hold on
plot(1:8761,tempkillnad1_10(:,2), 'r')
hold on

```

```

plot(1:8761,tempkillnad1_10(:,3),'g')
hold on
plot(1:8761,tempkillnad1_10(:,4),'k')
grid on
xlabel('24-timmars period')
ylabel('Temperaturskillnad (Celsius)')
title('Maximal temperaturskillnad genom putsen under en 24-timmarsperiod
(mellan punkt 1 och 10)')
legend('Lund fasad Norr','Lund fasad Sydväst','Stockholm fasad
Norr','Stockholm fasad Syd')
figure(5)
plot(1:8761,tempkillnad10_17(:,1),'b')
hold on
plot(1:8761,tempkillnad10_17(:,2),'r')
hold on
plot(1:8761,tempkillnad10_17(:,3),'g')
hold on
plot(1:8761,tempkillnad10_17(:,4),'k')
grid on
xlabel('24-timmars period')
ylabel('Temperaturskillnad (Celsius)')
title('Maximal temperaturskillnad genom aquapanelen under en 24-
timmarsperiod (mellan punkt 10 och 17)')
legend('Lund fasad Norr','Lund fasad Sydväst','Stockholm fasad
Norr','Stockholm fasad Syd')
figure(6)
plot(1:8761,tempkillnad1_17(:,1),'b')
hold on
plot(1:8761,tempkillnad1_17(:,2),'r')
hold on
plot(1:8761,tempkillnad1_17(:,3),'g')
hold on
plot(1:8761,tempkillnad1_17(:,4),'k')
grid on
xlabel('24-timmars period')
ylabel('Temperaturskillnad (Celsius)')
title('Maximal temperaturskillnad genom konstruktionen under en 24-
timmarsperiod (mellan punkt 1 och 17)')
legend('Lund fasad Norr','Lund fasad Sydväst','Stockholm fasad
Norr','Stockholm fasad Syd')
figure(7)
plot(1:8761,rfskillnad1_10(:,1),'b')
hold on
plot(1:8761,rfskillnad1_10(:,2),'r')
hold on
plot(1:8761,rfskillnad1_10(:,3),'g')
hold on
plot(1:8761,rfskillnad1_10(:,4),'k')
grid on
xlabel('24-timmars period')
ylabel('RFskillnad (%)')
title('Maximal skillnad i RF genom putsen under en 24-timmarsperiod (mellan
punkt 1 och 10)')
legend('Lund fasad Norr','Lund fasad Sydväst','Stockholm fasad
Norr','Stockholm fasad Syd')
figure(8)
plot(1:8761,rfskillnad10_17(:,1),'b')
hold on
plot(1:8761,rfskillnad10_17(:,2),'r')
hold on
plot(1:8761,rfskillnad10_17(:,3),'g')

```

```

hold on
plot(1:8761,rfskillnad10_17(:,4),'k')
grid on
xlabel('24-timmars period')
ylabel('RFskillnad (%)')
title('Maximal skillnad i RF genom aquapanelen under en 24-timmarsperiod
(mellan punkt 10 och 17)')
legend('Lund fasad Norr','Lund fasad Sydväst','Stockholm fasad
Norr','Stockholm fasad Syd')
figure(9)
plot(1:8761,rfskillnad1_17(:,1),'b')
hold on
plot(1:8761,rfskillnad1_17(:,2),'r')
hold on
plot(1:8761,rfskillnad1_17(:,3),'g')
hold on
plot(1:8761,rfskillnad1_17(:,4),'k')
grid on
xlabel('24-timmars period')
ylabel('RFskillnad (%)')
title('Maximal skillnad i RF genom konstruktionen under en 24-timmarsperiod
(mellan punkt 1 och 17)')
legend('Lund fasad Norr','Lund fasad Sydväst','Stockholm fasad
Norr','Stockholm fasad Syd')
figure(10)
plot(1:10,TempRF98SthlmSyd(5869,2:2:20))
title('Temperaturgradient genom putsen')
legend('Stockholm fasad Syd')
xlabel('Punkt')
ylabel('Temperatur (Celsius)')
grid on
figure(11)
plot(10:17,TempRF98SthlmSyd(1645,20:2:34))
title('Temperaturgradient genom Aquapanelen')
legend('Stockholm fasad Syd')
xlabel('Punkt')
ylabel('Temperatur (Celsius)')
grid on
figure(12)
plot(1:17,TempRF98SthlmSyd(1645,2:2:34))
title('Temperaturgradient genom konstruktionen')
legend('Stockholm fasad Syd')
xlabel('Punkt')
ylabel('Temperatur (Celsius)')
grid on
figure(13)
plot(1:10,TempRF98SthlmSyd(686,3:2:21))
title('RF - gradient genom putsen')
legend('Stockholm fasad Syd')
xlabel('Punkt')
ylabel('RF (%)')
grid on
figure(14)
plot(10:17,TempRF98SthlmSyd(1047,21:2:35))
title('RF - gradient genom Aquapanelen')
legend('Stockholm fasad Syd')
xlabel('Punkt')
ylabel('RF (%)')
grid on
figure(15)
plot(1:17,TempRF98SthlmSyd(6703,3:2:35))

```

```
title('RF - gradient genom konstruktionen')
legend('Stockholm fasad Syd')
xlabel('Punkt')
ylabel('RF (%)')
grid on
```

Bilaga 5 – framtagande av fiktiva temperaturer för typvägg

```
close all
clear all
load wufiresultat
alpha=7*10^-6; %alpha Aquapanel
alphaputs=9*10^-6;
%Temperatur- och Relativa fuktighetsskillnader per timme
rf1_10=[TempRF98SthlmSyd(662:686,(3:2:35))];
temp1_10=[TempRF98SthlmSyd(662:686,(2:2:34))];
rf10_17=[TempRF98SthlmSyd(1023:1047,(3:2:35))];
temp10_17=[TempRF98SthlmSyd(1023:1047,(2:2:34))];
rf1_17=[TempRF98SthlmSyd(6679:6703,(3:2:35))];
temp1_17=[TempRF98SthlmSyd(6679:6703,(2:2:34))];
rf=[TempRF98SthlmSyd(5342:5366,(3:2:35))];
temp=[TempRF98SthlmSyd(5342:5366,(2:2:34))];
Expansion1_10=[];
Expansion10_17=[];
Expansion1_17=[];
Expansion=[];
%Omräkning deltaRF -> deltaT -> Temperatur
for i=1:24
    for j=1:17
        if j<10
            expansion1_10(j)=(rf1_10((i+1),j)-rf1_10(i,j))*0.0025*10^-3;
            expansion10_17(j)=(rf10_17((i+1),j)-rf10_17(i,j))*0.0025*10^-3;
            expansion1_17(j)=(rf1_17((i+1),j)-rf1_17(i,j))*0.0025*10^-3;
            expansion(j)=(rf((i+1),j)-rf(i,j))*0.0025*10^-3;
            delta1_10(j)=expansion1_10(j)/alphaputs;
            delta10_17(j)=expansion10_17(j)/alphaputs;
            delta1_17(j)=expansion1_17(j)/alphaputs;
            delta(j)=expansion(j)/alphaputs;
        else
            expansion1_10(j)=(rf1_10((i+1),j)-rf1_10(i,j))*0.0063*10^-3;
            expansion10_17(j)=(rf10_17((i+1),j)-rf10_17(i,j))*0.0063*10^-3;
            expansion1_17(j)=(rf1_17((i+1),j)-rf1_17(i,j))*0.0063*10^-3;
            expansion(j)=(rf((i+1),j)-rf(i,j))*0.0063*10^-3;
            delta1_10(j)=expansion1_10(j)/alphaputs;
            delta10_17(j)=expansion10_17(j)/alphaputs;
            delta1_17(j)=expansion1_17(j)/alphaputs;
            delta(j)=expansion(j)/alphaputs;
        end
    end
    Expansion1_10(i,:)=[expansion1_10];
    deltaT1_10(i,:)=[delta1_10];
    Expansion10_17(i,:)=[expansion10_17];
    deltaT10_17(i,:)=[delta10_17];
    Expansion1_17(i,:)=[expansion1_17];
    deltaT1_17(i,:)=[delta1_17];
    Expansion(i,:)=[expansion];
    deltaT(i,:)=[delta];

    for j=1:17
        T1_10(i,j)=temp1_10((i+1),j)+deltaT1_10(i,j);
        T10_17(i,j)=temp10_17((i+1),j)+deltaT10_17(i,j);
        T1_17(i,j)=temp1_17((i+1),j)+deltaT1_17(i,j);
        T(i,j)=temp((i+1),j)+deltaT(i,j);
    end
end
figure(1)
plot(1:24,(T1_10(:,10)-T1_10(:,1)))
```



```

xlabel('Timme (h)')
ylabel('Fiktiv temperaturgradient (Celsius)')
title('Fiktiv temperaturskillnad genom putsen')
figure(2)
plot(1:24,(T1_17(:,1)-T1_17(:,17)))
xlabel('Timme (h)')
ylabel('Fiktiv temperaturgradient (Celsius)')
title('Fiktiv temperaturskillnad genom konstruktionen')
figure(3)
plot(1:24,(T10_17(:,10)-T10_17(:,17)))
xlabel('Timme (h)')
ylabel('Fiktiv temperaturgradient (Celsius)')
title('Fiktiv temperaturskillnad genom aquapanelen')
figure(4)
plot(1:24,T(:,1))
xlabel('Timme (h)')
ylabel('Fiktiv temperatur (Celsius)')
title('Fiktiv temperatur dygn')
figure(5)
plot(1:10,T1_10(21,1:10))
xlabel('Punkt')
ylabel('Fiktiv temperatur (Celsius)')
title('Fiktiv temperaturgradient genom putsen')
figure(6)
plot(10:17,T10_17(21,10:17))
xlabel('Punkt')
ylabel('Fiktiv temperatur (Celsius)')
title('Fiktiv temperaturgradient genom skivan')
figure(7)
plot(1:17,T1_17(4,1:17))
xlabel('Punkt')
ylabel('Fiktiv temperatur(Celsius)')
title('Fiktiv temperaturgradient genom hela konstruktionen')

```

Bilaga 6 – Temperaturer, RF, och fiktiva temperaturer för värsta fallet genom pulsen
Tabell bilaga 6.1. Tjänis temperaturavveckling genom icela konstruktivoren för värsta fallet genom pulsen

	Observationspunkt																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7,99208	7,9679	7,94404	7,91144	7,86579	7,81282	7,75763	7,70999	7,67262	7,61131	7,51299	7,39488	7,25483	7,10993	6,98906	6,89908	6,83465	
9,28521	9,24363	9,22227	9,19334	9,15258	9,105	9,05487	9,01099	8,97813	8,91829	8,82457	8,71052	8,57293	8,42724	8,30275	8,20871	8,14156	
10,0675	10,0499	10,0324	10,0091	9,97623	9,93793	9,89747	9,86188	9,83346	9,7861	9,70904	9,61481	9,50047	9,37853	9,27382	9,1953	9,14084	
4,08596	4,1153	4,14397	4,18629	4,24391	4,30792	4,37046	4,42056	4,45717	4,51331	4,59787	4,69118	4,78896	4,87214	4,9251	4,95556	4,97527	
1,29931	1,31964	1,33964	1,36927	1,41044	1,45743	1,50504	1,54479	1,575	1,62308	1,69808	1,78493	1,8825	1,97528	2,04478	2,09275	2,12789	
0,55782	-0,54499	-0,53237	-0,51372	-0,48793	-0,45865	-0,42922	-0,40488	-0,38655	-0,35764	-0,31293	-0,26186	-0,2058	-0,15475	-0,11904	-0,09616	-0,08071	
-1,68781	-1,67902	-1,67037	-1,65757	-1,63981	-1,61947	-1,5968	-1,58148	-1,56826	-1,54717	-1,51414	-1,47568	-1,43217	-1,39036	-1,35856	-1,33604	-1,31936	
-2,41027	-2,40331	-2,39643	-2,38626	-2,37205	-2,35557	-2,33854	-2,324	-2,31271	-2,29439	-2,26526	-2,23057	-2,18996	-2,14883	-2,11529	-2,08994	-2,07033	
-2,89291	-2,88747	-2,88208	-2,87409	-2,86286	-2,84976	-2,8361	-2,82431	-2,81508	-2,79999	-2,77582	-2,74674	-2,71224	-2,67661	-2,64685	-2,6239	-2,60595	
-3,1165	-3,11255	-3,10864	-3,10279	-3,09448	-3,08466	-3,07424	-3,06506	-3,05778	-3,04567	-3,02604	-3,00199	-2,97277	-2,94157	-2,9145	-2,8929	-2,87568	
-3,51171	-3,50703	-3,50239	-3,49549	-3,48574	-3,47433	-3,46238	-3,45201	-3,44385	-3,43045	-3,40889	-3,38275	-3,35142	-3,31851	-3,29044	-3,26844	-3,25121	
-4,0027	-3,9974	-3,99215	-3,98438	-3,97343	-3,96066	-3,94734	-3,93586	-3,92686	-3,91216	-3,88861	-3,86023	-3,82645	-3,79135	-3,76178	-3,73894	-3,72132	
-4,27351	-4,26929	-4,2651	-4,25887	-4,25001	-4,23956	-4,2285	-4,21881	-4,21112	-4,19841	-4,17786	-4,15274	-4,12233	-4,09	-4,06206	-4,04003	-4,0228	
-4,68429	-4,67947	-4,67473	-4,66775	-4,65789	-4,64635	-4,63427	-4,62381	-4,61539	-4,60212	-4,5805	-4,5543	-4,52303	-4,49028	-4,46246	-4,44089	-4,4243	
-4,84399	-4,84053	-4,83711	-4,83204	-4,82483	-4,81625	-4,8071	-4,79901	-4,79254	-4,78178	-4,76428	-4,74274	-4,7164	-4,68802	-4,66315	-4,64334	-4,62784	
-4,80954	-4,80743	-4,80532	-4,80215	-4,79751	-4,79185	-4,7856	-4,77988	-4,77516	-4,76712	-4,75379	-4,73695	-4,71571	-4,69191	-4,67018	-4,65231	-4,63805	
-5,03174	-5,0284	-5,02507	-5,02014	-5,01312	-5,00482	-4,99604	-4,98832	-4,98218	-4,97703	-4,96558	-4,95539	-4,94079	-4,88434	-4,86117	-4,84276	-4,82846	
-5,42746	-5,42306	-5,4187	-5,41226	-5,40316	-5,39251	-5,38137	-5,37174	-5,36418	-5,35182	-5,332	-5,30802	-5,27935	-5,24934	-5,2228	-5,20408	-5,18912	
-5,4641	-5,46124	-5,4584	-5,45417	-5,44807	-5,44071	-5,43272	-5,42554	-5,41971	-5,40991	-5,39383	-5,37373	-5,34872	-5,32114	-5,29635	-5,27636	-5,26066	
-5,63761	-5,63314	-5,6287	-5,62219	-5,61284	-5,60167	-5,58964	-5,57893	-5,5703	-5,55586	-5,53225	-5,50291	-5,46656	-5,42663	-5,3909	-5,36229	-5,33976	
-5,41983	-5,41793	-5,41598	-5,41302	-5,40857	-5,40295	-5,39652	-5,39044	-5,38529	-5,37834	-5,36128	-5,34184	-5,31673	-5,28778	-5,26062	-5,238904	-5,21992	
6,96357	6,88517	6,80845	6,69991	6,55092	6,38276	6,21461	6,0763	5,97257	5,8098	5,55837	5,27077	4,95213	4,65416	4,43594	4,29284	4,19651	
18,0957	18,007	17,9198	17,796	17,632	17,4344	17,2406	17,0785	16,935	16,7582	16,45	16,0915	15,6849	15,2919	14,9225	14,7891	14,6537	
25,9328	25,8522	25,7728	25,6593	25,4993	25,3235	25,1454	24,9947	24,8781	24,6899	24,3913	24,0377	23,6266	23,2142	22,8864	22,6575	22,506	
28,7316	28,6721	28,613	28,5282	28,4052	28,2676	28,1286	28,0084	27,9132	27,7561	27,5014	27,1912	26,8163	26,4197	26,0868	25,8464	25,684	

Tabell bilaga 6.2. Timvis RF – utveckling genom hela konvulsionen för värsta fallet genom runden

	Observationspunkt																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
49,2903	65,9089	82,1785	84,955	86,4735	87,2187	87,4942	87,5758	87,5849	87,5935	87,6471	87,5146	87,0482	86,2784	85,7342	84,5878	78,3009	
45,0944	62,8901	80,5119	83,9921	85,9393	86,9843	87,4027	87,5302	87,53	87,5615	87,6218	87,4925	87,0365	86,2801	85,5672	83,3983	74,5119	
41,6796	60,3321	78,8488	83,0151	85,3442	86,6921	87,276	87,4663	87,5081	87,5287	87,5935	87,4681	87,0219	86,2616	85,2831	81,9907	71,4756	
56,3978	68,2411	80,6002	82,9588	85,0199	86,464	87,1605	87,4101	87,4949	87,5333	87,5681	87,4415	87,0006	86,2272	85,0292	81,1573	71,8677	
62,9911	72,0696	81,4275	83,0803	84,8354	86,2824	87,0355	87,3867	87,4716	87,5261	87,5312	87,4229	86,9849	86,1941	84,8147	80,6472	72,6513	
69,3431	75,6029	82,1702	83,2427	84,7405	86,1384	86,9398	87,3035	87,4402	87,5078	87,5368	87,4076	86,9713	86,1615	84,6291	80,2642	72,6314	
73,3826	77,9478	82,707	83,4423	84,7023	86,0246	86,8723	87,2501	87,4043	87,4839	87,5239	87,3949	86,9595	86,1294	84,4622	79,9709	72,8487	
76,0326	79,518	83,1012	83,6341	84,6996	85,935	86,7924	87,1968	87,3661	87,4569	87,5112	87,3834	86,9484	86,0965	84,3076	79,5761	73,2141	
76,687	80,024	83,3244	83,792	84,7158	85,8646	86,7194	87,1438	87,3258	87,427	87,4983	87,3726	86,9374	86,0629	84,163	79,5716	73,5573	
77,2173	80,3199	83,4854	83,921	84,7411	85,8092	86,6527	87,0913	87,2839	87,3946	87,4647	87,3621	86,9263	86,0279	84,0258	79,4356	73,8968	
76,4871	80,1377	83,5635	84,0164	84,7678	85,7654	86,5924	87,0403	87,2419	87,3613	87,4703	87,3516	86,9149	85,9919	83,8971	79,3295	74,1779	
76,9957	80,3299	83,6667	84,0978	84,7943	85,7308	86,5383	86,9916	87,2004	87,3278	87,4355	87,3413	86,9032	85,9556	83,7779	79,2487	74,4436	
77,3304	80,5339	83,7598	84,1693	84,8203	85,703	86,4892	86,9447	87,1589	87,2932	87,4402	87,3311	86,8915	85,919	83,6665	79,1874	74,688	
79,6512	81,5067	83,9455	84,2533	84,8492	85,6811	86,445	86,9001	87,1184	87,2587	87,4245	87,3209	86,8796	85,8825	83,5635	79,146	74,9782	
80,9287	82,2813	84,1163	84,3481	84,8823	85,6644	86,4048	86,8574	87,0781	87,2286	87,4084	87,3107	86,8676	85,8459	83,4672	79,1225	75,2903	
80,3094	82,2575	84,1896	84,4249	84,9163	85,652	86,3679	86,8161	87,0379	87,1879	87,3915	87,3005	86,8553	85,8087	83,3761	79,1145	75,5942	
79,139	81,8245	84,1989	84,4778	84,9468	85,6427	86,3344	86,7768	86,9992	87,153	87,3741	87,2899	86,8425	85,7714	83,2912	79,1182	75,8619	
78,5962	81,5282	84,2069	84,5154	84,9725	85,6355	86,3041	86,7398	86,9623	87,1193	87,3565	87,2791	86,8295	85,7346	83,2133	79,1302	76,0931	
80,7111	82,2729	84,3239	84,567	84,9961	85,6301	86,2763	86,7045	86,9261	87,0856	87,3387	87,2684	86,8164	85,6979	83,1407	79,1505	76,3259	
82,2677	83,0946	84,4697	84,6341	85,0265	85,6266	86,2509	86,671	86,8918	87,0537	87,3205	87,2574	86,803	85,6612	83,073	79,1781	76,5618	
79,2695	82,1639	84,4156	84,6671	85,0514	85,6244	86,2271	86,6387	86,8573	87,0209	87,3019	87,2461	86,7892	85,6242	83,0091	79,2108	76,7488	
35,9292	58,5018	79,2997	83,3036	84,7324	85,5557	86,1812	86,578	86,7599	86,9182	87,2705	87,2381	86,7756	85,5509	82,8834	78,9441	73,5195	
21,0956	46,1524	71,1007	80,2103	83,5213	85,1711	86,0256	86,4476	86,5955	86,7545	87,1895	87,2097	86,7379	85,4134	82,4767	77,4407	67,4796	
15,1047	37,6052	60,1629	71,3524	80,8573	84,0881	85,5697	86,1656	86,3459	86,5355	87,0297	87,1163	86,6204	85,0454	81,2853	73,7849	59,2017	
13,4687	33,4597	53,5259	64,8445	75,3767	82,3017	84,732	85,6821	85,995	86,2572	86,7974	86,9321	86,3688	84,3325	79,0696	68,167	49,2756	

Tabell bilaga 6.3. Timme från temperaturavveckling genom hela konstruktionen för vridstålfästa genom pussen

Observationspunkt:																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
8,099682	8,40563	8,759326	8,925888	9,004191	9,039889	9,029453	8,998323	8,966436	8,89589	8,80686	8,69505	8,56474	8,42843	8,18585	7,37606	5,48926
9,118944	9,399344	9,570428	9,737711	9,810924	9,856763	9,862276	9,84413	9,821821	9,78614	9,68923	9,59773	9,49025	9,36538	9,07495	8,20998	7,01543
8,174349	6,312244	4,63047	4,170651	4,153827	4,244539	4,336377	4,404949	4,453503	4,51653	4,59009	4,67266	4,77405	4,84806	4,74737	4,37218	5,24974
3,130782	2,388112	1,569446	1,397464	1,35919	1,406966	1,475873	1,529957	1,568528	1,61804	1,68625	1,77191	1,87151	1,95211	1,89463	1,73568	2,67621
1,206622	0,436485	-0,32607	-0,46305	-0,51429	-0,49865	-0,4538	-0,41965	-0,39527	-0,37045	-0,32301	-0,27257	-0,21532	-0,17757	-0,24895	-0,36426	-0,09464
-0,56573	-1,02766	-1,52126	-1,60213	-1,65042	-1,65108	-1,62311	-1,59631	-1,57823	-1,5639	-1,52317	-1,48457	-1,44043	-1,41283	-1,47539	-1,54135	-1,16635
-1,67416	-1,96714	-2,28693	-2,33298	-2,3728	-2,39046	-2,36073	-2,33861	-2,32392	-2,31329	-2,27415	-2,23962	-2,19773	-2,17179	-2,22351	-2,2473	-1,81525
-2,71113	-2,74691	-2,82008	-2,83023	-2,85836	-2,86932	-2,85638	-2,83903	-2,82627	-2,82092	-2,78485	-2,7543	-2,71994	-2,7002	-2,74807	-2,74605	-2,36571
-2,98919	-3,03036	-3,06392	-3,06696	-3,08745	-3,10005	-3,09277	-3,07946	-3,06942	-3,06835	-3,03556	-3,00934	-2,98054	-2,96607	-3,01054	-2,9861	-2,63803
-3,71454	-3,55764	-3,4807	-3,46899	-3,47832	-3,4865	-3,47913	-3,46618	-3,45552	-3,45376	-3,41897	-3,3901	-3,3594	-3,34371	-3,38053	-3,34271	-3,05444
-3,86142	-3,94401	-3,96348	-3,96177	-3,96607	-3,97027	-3,96237	-3,94919	-3,93839	-3,93661	-3,89897	-3,86744	-3,83464	-3,81676	-3,84522	-3,7965	-3,53538
-4,18954	-4,21262	-4,23924	-4,23901	-4,24279	-4,24728	-4,24214	-4,23184	-4,22265	-4,22263	-4,18857	-4,15988	-4,13052	-4,11562	-4,14004	-4,08294	-3,85172
-4,03962	-4,40925	-4,62315	-4,64386	-4,64986	-4,65243	-4,64655	-4,6362	-4,62884	-4,62827	-4,59149	-4,56147	-4,53136	-4,51583	-4,53456	-4,46987	-4,22116
-4,48913	-4,62536	-4,78967	-4,80626	-4,81564	-4,82089	-4,81827	-4,81087	-4,80573	-4,80635	-4,77555	-4,74988	-4,72248	-4,71364	-4,73056	-4,65979	-4,40937
-4,98157	-4,81404	-4,78495	-4,78082	-4,78807	-4,79529	-4,79585	-4,79135	-4,78653	-4,79211	-4,76562	-4,74409	-4,72432	-4,71795	-4,73395	-4,65791	-4,42532
-5,35985	-5,14868	-5,02249	-5,00545	-5,00465	-5,0074	-5,00535	-4,99924	-4,99293	-4,99646	-4,96776	-4,94281	-4,91975	-4,91045	-4,9206	-4,84017	-4,64107
-5,57824	-5,50537	-5,41648	-5,40182	-5,39602	-5,39451	-5,38979	-5,38202	-5,37443	-5,37541	-5,34432	-5,31538	-5,28845	-5,2751	-5,27833	-5,19568	-5,02728
-4,87663	-5,25438	-5,4259	-5,43984	-5,44096	-5,44221	-5,44044	-5,43535	-5,42977	-5,4335	-5,40629	-5,38122	-5,35789	-5,34683	-5,34717	-5,26215	-5,09777
-5,20522	-5,40489	-5,5882	-5,60365	-5,60495	-5,60264	-5,5967	-5,58824	-5,57963	-5,57819	-5,54499	-5,51061	-5,47594	-5,45732	-5,43829	-5,34297	-5,17463
-5,26266	-5,67646	-5,43101	-5,40385	-5,40185	-5,40556	-5,40313	-5,39941	-5,39487	-5,39393	-5,3743	-5,34975	-5,32639	-5,31368	-5,30535	-5,21515	-5,08902
-5,0754	0,312364	5,387367	6,32116	6,462309	6,363677	6,20186	6,059439	5,945314	5,73791	5,53639	5,28517	4,94261	4,60985	4,34795	4,10615	1,938
13,97526	14,57661	15,6423	16,93675	17,28958	17,32757	17,19738	17,04228	16,90933	16,64861	16,3933	16,07162	15,65851	15,18865	14,70781	13,73672	10,42577
24,28866	23,47798	22,73452	23,19877	24,7393	25,02267	25,01875	24,91637	24,80877	24,5566	24,27944	23,97232	23,54435	22,9566	22,05242	20,09844	16,71147
28,27716	27,52057	26,76939	26,72045	26,83281	27,77138	27,89591	27,87409	27,81573	27,56129	27,33879	27,06226	26,64018	25,92067	24,53581	21,91387	18,73573

Bilaga 7 - Temperaturer, RF, och fiktiva temperaturer för värsta fallet genom skivan

Tabell bilaga 7.1. Dimens temperaturavveckling genom hela konduktören för värsta fallet genom skivan

Omsättningspunkt																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
10,4149	10,414	10,4132	10,4118	10,4097	10,4072	10,4043	10,4015	10,3992	10,3953	10,3888	10,3807	10,3707	10,3597	10,3494	10,3403	10,3322
11,9461	11,9346	11,9235	11,9075	11,8853	11,8597	11,8334	11,8112	11,7941	11,7673	11,7256	11,6766	11,6203	11,5646	11,5199	11,4869	11,4621
10,6017	10,6067	10,6115	10,6184	10,6277	10,6378	10,6474	10,6546	10,6595	10,6664	10,6761	10,6856	10,694	10,6985	10,698	10,6942	10,6891
9,12103	9,13053	9,13987	9,15328	9,17194	9,1933	9,2149	9,23281	9,24631	9,26709	9,29902	9,33568	9,3766	9,41521	9,44333	9,4612	9,47238
8,03794	8,04589	8,05373	8,06487	8,08045	8,09839	8,11667	8,13197	8,1436	8,16163	8,18952	8,22175	8,25801	8,29244	8,3176	8,33354	8,3437
7,38335	7,38131	7,38099	7,37494	7,3861	7,39903	7,41231	7,42354	7,43215	7,44563	7,46667	7,49125	7,51937	7,54675	7,57338	7,59037	7,59848
7,16795	7,17105	7,17411	7,1782	7,18401	7,19037	7,19813	7,20447	7,20947	7,21752	7,23043	7,24601	7,26468	7,28412	7,29991	7,31103	7,31865
6,83012	6,83336	6,83659	6,84107	6,84722	6,85438	6,86181	6,868817	6,875312	6,880097	6,91342	6,92823	6,94564	6,9633	6,97721	6,98666	6,99281
6,54309	6,54639	6,54968	6,55406	6,56027	6,56731	6,57503	6,58148	6,58651	6,59451	6,60723	6,6234	6,64029	6,65835	6,67306	6,68303	6,68964
5,90052	5,90529	5,91003	5,91657	5,92575	5,93631	5,94705	5,95905	5,9629	5,97338	5,99019	6,00947	6,03132	6,05234	6,06789	6,07779	6,08376
5,3486	5,35202	5,35543	5,36001	5,36649	5,37405	5,38189	5,38858	5,39377	5,40199	5,41498	5,43039	5,44814	5,46586	5,47947	5,48848	5,49415
4,89	4,89402	4,89801	4,90344	4,91109	4,91995	4,92908	4,93831	4,94277	4,95216	4,96694	4,98433	5,00443	5,02435	5,03971	5,04997	5,05655
4,62292	4,62588	4,62884	4,64281	4,64845	4,65507	4,66197	4,6679	4,67284	4,67993	4,69172	4,70578	4,72234	4,73917	4,7525	4,7616	4,76754
4,33862	4,34161	4,34459	4,34863	4,35433	4,36104	4,36798	4,37393	4,37853	4,38589	4,39756	4,41143	4,42767	4,44408	4,45897	4,46569	4,47132
3,95427	3,95764	3,96103	3,96583	3,97265	3,98061	3,98885	3,99587	4,0013	4,00991	4,02351	4,03961	4,05834	4,0771	4,09176	4,10169	4,1082
3,53252	3,53615	3,53977	3,54499	3,55242	3,5611	3,57008	3,57773	3,58366	3,59302	3,60782	3,6253	3,64539	3,66586	3,68166	3,69237	3,6995
3,42365	3,42586	3,42806	3,43124	3,43588	3,44145	3,44742	3,4527	3,45691	3,46377	3,4749	3,48848	3,50494	3,52239	3,53893	3,54746	3,55305
3,36352	3,36524	3,367	3,36967	3,37361	3,37839	3,38358	3,38821	3,39194	3,39808	3,40814	3,42032	3,43575	3,45219	3,46617	3,47651	3,48419
3,39958	3,40107	3,40261	3,40509	3,40863	3,41348	3,41867	3,42342	3,42735	3,43391	3,44482	3,45832	3,47361	3,489511	3,5122	3,52539	3,53665
3,83078	3,8295	3,82828	3,82682	3,82504	3,82335	3,82206	3,82138	3,82113	3,82118	3,82197	3,82382	3,82749	3,83329	3,83966	3,84516	3,84994
20,9616	20,8525	20,7456	20,5927	20,3834	20,1488	19,9139	19,7198	19,5735	19,3483	19,0034	18,568	18,1686	17,7556	17,4499	17,2478	17,1181
31,8576	31,7579	31,6597	31,5175	31,3173	31,0934	30,8739	30,6877	30,5442	30,3189	29,9667	29,5522	29,074	28,5991	28,2241	27,965	27,7987
40,1395	40,0437	39,949	39,8091	39,6104	39,3868	39,1629	38,9782	38,8361	38,6116	38,2577	37,8335	37,3385	36,8309	36,4228	36,1463	35,9781
43,5245	43,4517	43,3795	43,2712	43,1152	42,9369	42,7353	42,6012	42,4621	42,2949	41,9961	41,6401	41,2104	40,7618	40,4009	40,1647	40,021
41,1065	41,0691	41,0316	40,9751	40,8908	40,7905	40,6833	40,5881	40,5112	40,3859	40,1839	39,9843	39,8237	39,7852	39,0044	38,8111	38,6822

Tabell bilaga 7.2: Timus R²-användning genom hela konstruktionen för värsta faller genom skivan

	Gosvetsningspunkt																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
86,1821	84,9213	83,8031	83,5665	83,2043	82,6792	82,207	81,9408	81,8175	81,7219	81,6046	81,3855	80,8395	79,9673	79,6341	80,3846	81,9579	
78,3927	80,9684	82,8157	83,2161	83,0941	82,6867	82,2632	81,9845	81,8461	81,7325	81,5969	81,3625	80,838	80,012	79,7657	80,5396	81,8172	
84,1389	83,4296	83,1984	83,139	83,0221	82,6809	82,2835	82,0224	81,8943	81,7591	81,5888	81,3387	80,8114	80,0516	79,861	80,6645	81,9735	
86,178	84,6818	83,4566	83,1986	82,9949	82,6764	82,3102	82,0563	81,9222	81,7893	81,5847	81,3188	80,7996	80,0887	79,9651	80,8157	82,3042	
88,603	86,0232	83,7565	83,3005	83,007	82,6799	82,3318	82,0866	81,9544	81,8152	81,5838	81,303	80,7916	80,1247	80,0824	80,9704	82,6022	
90,1983	86,9851	84,0074	83,4261	83,0475	82,6935	82,3528	82,1141	81,9822	81,8373	81,5852	81,2907	80,7865	80,1609	80,1368	81,1263	82,8615	
92,1236	88,0779	84,3017	83,5833	83,1188	82,7187	82,3753	82,14	82,0069	81,8566	81,5884	81,2813	80,7841	80,1986	80,2722	81,2869	83,1171	
93,1088	89,1978	84,6161	83,7685	83,2034	82,7558	82,4009	82,165	82,0304	81,8752	81,5922	81,2736	80,7834	80,2367	80,3678	81,4539	83,4073	
92,6264	88,6935	84,6326	83,8839	83,2901	82,8005	82,4293	82,19	82,0534	81,8935	81,5967	81,2677	80,7844	80,2756	80,4641	81,6244	83,6836	
91,0481	87,9013	84,543	83,9318	83,3382	82,8463	82,4894	82,2151	82,0765	81,9122	81,6015	81,2628	80,7864	80,3136	80,5583	81,7904	83,9296	
93,0278	88,8769	84,731	84,0131	83,4238	82,8925	82,4905	82,2404	82,0991	81,9304	81,6067	81,259	80,7893	80,3514	80,6513	81,9548	84,1972	
92,947	88,8704	84,7929	84,0951	83,49	82,9399	82,5234	82,2663	82,1215	81,9485	81,6129	81,2571	80,794	80,3696	80,744	82,1227	84,4793	
92,1253	88,5055	84,7786	84,1458	83,5488	82,987	82,5572	82,2928	82,1489	81,9662	81,6186	81,2566	80,8	80,4286	80,8378	82,2922	84,7465	
91,4335	88,1436	84,7453	84,1736	83,5974	83,0319	82,5914	82,3197	82,1666	81,9842	81,6272	81,257	80,8071	80,4681	80,9319	82,4598	84,9872	
86,5218	85,7987	84,3508	84,0862	83,6118	83,0692	82,6245	82,3467	82,1899	82,0029	81,6349	81,2583	80,8149	80,5076	81,0251	82,6151	85,1282	
84,3185	84,401	84,0879	83,938	83,9857	83,0958	82,6831	82,3732	82,2133	82,0221	81,6482	81,2603	80,8236	80,5471	81,1158	82,7512	85,1814	
84,488	84,2294	83,9157	83,8547	83,5659	83,1128	82,6828	82,3992	82,2363	82,0408	81,6523	81,2635	80,8335	80,5876	81,2051	82,87	85,1873	
80,5373	82,3299	83,5084	83,6869	83,5114	83,1186	82,7066	82,4241	82,2589	82,0596	81,6662	81,2677	80,8444	80,6289	81,292	82,9649	85,0935	
77,0632	80,3956	83,0276	83,4633	83,4273	83,1109	82,7255	82,4474	82,2813	82,0788	81,6724	81,2728	80,8565	80,6712	81,3763	83,0435	85,0261	
76,2079	79,5631	82,6886	83,2404	83,3228	83,0897	82,7388	82,4685	82,3015	82,0958	81,6838	81,2794	80,8703	80,7154	81,4585	83,0989	84,8548	
29,5482	50,4596	70,9062	79,0746	82,0017	82,7302	82,6753	82,4502	82,2991	81,9817	81,7347	81,3572	80,9684	80,858	81,4882	81,9217	78,31	
17,6247	36,7533	55,922	66,9431	75,9812	80,9635	82,0356	82,1662	81,9725	81,7916	81,7245	81,4471	81,0927	80,8846	80,4997	77,4545	67,4638	
12,2807	28,5315	44,8838	56,2818	65,7346	74,2154	79,6718	81,0144	81,2268	81,3075	81,5145	81,413	81,0183	80,0939	77,0422	68,8588	53,5	
10,4308	24,3455	38,3393	48,7823	57,5131	66,1365	72,8935	76,9553	79,8049	79,8015	80,6552	80,2898	80,3057	77,9398	71,3357	58,5496	41,2016	
10,9502	23,3296	35,7522	44,914	52,6797	60,8876	67,9079	72,5782	75,3981	77,524	79,2032	79,8669	79,0442	75,1529	65,5802	50,9293	33,5505	

Tabellbilaga 7.3. Temperaturutveckling genom hela konvektionen/för vdruga fallet genom skivan

	Observationspunkt																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
9,782378	10,89657	11,64922	11,81017	11,85469	11,86178	11,84623	11,82394	11,80204	11,77472	11,72021	11,6605	11,61085	11,59589	11,61202	11,5884	11,56361	
12,19787	11,29037	10,71781	10,60254	10,6077	10,63619	10,65637	10,66518	10,67011	10,68802	10,67048	10,66894	10,68878	10,72622	10,77871	10,78868	10,79851	
9,687447	9,478363	9,211592	9,16428	9,16484	9,19205	9,221761	9,242227	9,256838	9,26823	9,29615	9,32175	9,36848	9,44118	9,5162	9,56704	9,71087	
8,711551	8,418501	8,137036	8,093176	8,083811	8,099362	8,12267	8,140387	8,152544	8,17976	8,18889	8,21069	8,25227	8,31764	8,38571	8,44183	8,54497	
7,738899	7,628504	7,436684	7,409629	7,39735	7,402808	7,418143	7,431179	7,439872	7,4611	7,46765	7,48264	7,5158	7,57209	7,63346	7,69	7,77099	
7,702756	7,474406	7,25386	7,221867	7,203427	7,19787	7,204436	7,211664	7,216381	7,23103	7,23267	7,23943	7,263	7,31051	7,36669	7,42345	7,49757	
7,123787	7,164443	6,944023	6,912514	6,892109	6,884686	6,888866	6,895114	6,899648	6,91399	6,91608	6,92284	6,94515	6,98997	7,04413	7,10366	7,18595	
6,408812	6,406307	6,554263	6,5386116	6,534353	6,57927	6,582919	6,586424	6,592899	6,60732	6,61038	6,61827	6,64099	6,68578	6,74047	6,80238	6,88305	
5,452381	5,685234	5,885141	5,929876	5,944667	5,949032	5,955411	5,963022	5,969317	5,98667	5,99335	6,00604	6,03272	6,07894	6,13383	6,19399	6,25596	
5,838517	5,62302	5,407652	5,382539	5,384712	5,386883	5,390529	5,393608	5,400048	5,41473	5,41862	5,42767	5,45017	5,49232	5,54457	5,60356	5,68147	
4,867556	4,892214	4,915204	4,926218	4,928479	4,933117	4,938219	4,944004	4,948992	4,96483	4,97128	4,983	5,00772	5,05109	5,1046	5,1675	5,25402	
4,40467	4,534519	4,634868	4,656893	4,664783	4,668153	4,671359	4,675261	4,678762	4,68282	4,68655	4,70543	4,72654	4,76647	4,81816	4,88025	4,95458	
4,146453	4,241082	4,33534	4,356352	4,36785	4,373512	4,37748	4,381402	4,384856	4,38949	4,40274	4,41171	4,43264	4,47173	4,52284	4,58301	4,63981	
2,589909	3,306379	3,851447	3,941552	3,97665	3,990971	3,998044	4,00387	4,00772	4,023	4,0289	4,04052	4,0638	4,10475	4,157	4,2104	4,269	
2,920492	3,1479	3,452853	3,509379	3,547948	3,568489	3,57838	3,585091	3,59016	3,60646	3,61963	3,6267	3,65168	3,69351	3,74515	3,78784	3,73674	
3,470733	3,378193	3,394116	3,402546	3,427602	3,446172	3,455114	3,463922	3,463299	3,47686	3,48127	3,49072	3,51187	3,55074	3,59944	3,63062	3,55918	
2,266103	2,837901	3,253861	3,323039	3,358471	3,380001	3,390191	3,395127	3,398218	3,41124	3,41493	3,42346	3,44838	3,4811	3,527	3,54294	3,41853	
2,434552	2,863764	3,269054	3,342979	3,385469	3,411341	3,42392	3,429892	3,433572	3,44735	3,4521	3,46309	3,48428	3,52472	3,57121	3,58041	3,48847	
3,539197	3,59825	3,734113	3,764903	3,796012	3,817461	3,825754	3,827241	3,826741	3,83308	3,82995	3,82844	3,83715	3,86423	3,8972	3,88394	3,73003	
8,000572	12,76825	17,47327	19,43553	20,01643	20,04894	19,89626	19,71472	19,54783	19,26843	19,03903	18,66246	18,23517	17,85542	17,47069	16,42376	12,53674	
28,54552	27,95054	27,49687	28,14764	29,64494	30,60465	30,70176	30,60881	30,47948	30,18583	29,95956	29,61513	29,16811	28,61772	27,53215	24,83796	20,20636	
38,65906	37,75987	36,88283	36,84763	36,76412	37,51233	38,50073	38,65826	38,72773	38,1107	37,81163	37,28642	36,27741	34,00255	30,12931	26,20344		
43,01064	42,28892	41,56158	41,18301	40,83145	40,69271	40,87244	41,47367	41,80935	41,2407	41,39659	41,27586	40,71018	39,25393	36,40635	32,94826	31,41212	
41,23078	40,78696	40,31296	39,90057	39,54819	39,33253	39,29841	39,37224	39,56487	39,79165	39,1675	39,21827	38,74205	37,38437	34,97535	33,47689	33,32643	

Bilaga 8 - Temperaturer, RF, och fiktiva temperaturer för värsta fallet genom hela konstruktionen

Tabell Bilaga 8.1. Timvis temperaturutveckling genom hela konstruktionen för värsta fallet genom hela konstruktionen

	Observationspunkter																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
9,14518	9,151	9,1568	9,16479	9,17662	9,1904	9,20461	9,21662	9,22866	9,2397	9,251	9,26596	9,2761	9,2896	9,304257	9,31861	9,334257	9,350257
9,51286	9,51374	9,51466	9,5154	9,51704	9,51919	9,52172	9,52412	9,52615	9,52958	9,53328	9,53724	9,54142	9,54583	9,55049	9,55541	9,56059	9,5778
18,9804	18,9289	18,8745	18,7964	18,6877	18,565	18,4419	18,3402	18,2637	18,1524	17,9851	17,7926	17,5778	17,3745	17,2228	17,1206	17,0517	
29,2928	29,2195	29,1474	29,039	28,8869	28,7154	28,5425	28,3977	28,287	28,123	27,8723	27,5778	27,2391	26,9041	26,6407	26,4564	26,3385	
35,7444	35,6795	35,6134	35,5128	35,37	35,2076	35,042	34,901	34,7911	34,6249	34,3662	34,0546	33,6832	33,2974	32,9795	32,753	32,6026	
39,6961	39,6385	39,5755	39,483	39,3495	39,1962	39,0383	38,9024	38,7954	38,6318	38,3747	38,0611	37,681	37,2789	36,9437	36,7026	36,5332	
46,7268	46,6454	46,5648	46,4389	46,2573	46,05	45,8386	45,6594	45,5203	45,3108	44,9853	44,5946	44,1311	43,655	43,2704	42,9971	42,802	
50,4472	50,3819	50,3171	50,2145	50,0647	49,8925	49,7155	49,5643	49,4465	49,2689	48,993	48,6617	48,2694	47,8672	47,5409	47,3043	47,1408	
48,4005	48,3668	48,333	48,2786	48,1962	48,0978	47,992	47,8975	47,8209	47,7021	47,5135	47,2801	46,9928	46,6821	46,4124	46,2036	46,0511	
43,0066	43	42,9928	42,9806	42,9588	42,9282	42,8902	42,8515	42,817	42,7597	42,6639	42,5383	42,3727	42,1774	41,9919	41,8433	41,7247	
34,8531	34,876	34,8961	34,9271	34,968	35,0094	35,0446	35,0876	35,0806	35,0931	35,1043	35,1051	35,0861	35,0376	34,9693	34,9031	34,8396	
22,8511	22,9082	22,9641	23,0513	23,174	23,3098	23,442	23,5473	23,6238	23,7298	23,884	24,0549	24,2345	24,387	24,4822	24,5334	24,555	
16,4736	16,5136	16,553	16,6143	16,7012	16,799	16,8967	16,977	17,0372	17,1229	17,251	17,3984	17,5623	17,7157	17,8271	17,8999	17,9454	
13,4083	13,4305	13,4525	13,486	13,5335	13,5869	13,6403	13,6846	13,7181	13,7662	13,8385	13,9227	14,0177	14,1083	14,1758	14,2206	14,2474	
11,9013	11,9143	11,9272	11,9465	11,9737	12,0042	12,0348	12,0603	12,0798	12,1082	12,1514	12,2026	12,262	12,3211	12,3676	12,4	12,4191	
10,9838	10,993	11,0021	11,0154	11,0341	11,0549	11,0756	11,093	11,1064	11,126	11,1561	11,1923	11,2352	11,2792	11,315	11,3404	11,3547	
10,1859	10,194	10,202	10,2137	10,2301	10,2484	10,2666	10,2819	10,2936	10,3108	10,3373	10,3692	10,4072	10,4467	10,4792	10,502	10,5143	
9,4299	9,43772	9,44548	9,45655	9,47245	9,49018	9,50785	9,52264	9,53403	9,55071	9,57638	9,60735	9,64434	9,68283	9,71459	9,73962	9,74765	
8,87371	8,88059	8,88742	8,89719	8,9111	8,92682	8,94259	8,95587	8,96618	8,98138	9,00492	9,03355	9,06817	9,1048	9,13554	9,15692	9,1682	
8,56395	8,56964	8,57532	8,58327	8,59461	8,60747	8,62046	8,6315	8,64016	8,65308	8,67327	8,69816	8,72882	8,76206	8,79064	8,81076	8,82257	
8,24057	8,24615	8,25171	8,25944	8,27049	8,28304	8,2957	8,30644	8,31484	8,32734	8,34685	8,37084	8,40034	8,43225	8,4596	8,47869	8,49027	
8,01701	8,02209	8,02717	8,03417	8,04422	8,05571	8,06737	8,0773	8,08512	8,09681	8,11514	8,13779	8,16587	8,19655	8,22313	8,24185	8,25414	
7,66655	7,67216	7,67777	7,68539	7,69688	7,70985	7,72303	7,73423	7,74296	7,75596	7,77619	7,80094	7,83123	7,86384	7,89168	7,91127	7,92481	
7,35401	7,35944	7,36488	7,37244	7,3835	7,39626	7,40931	7,42042	7,42912	7,44208	7,46228	7,487	7,51725	7,54984	7,5777	7,59741	7,61173	
7,01395	7,01955	7,02516	7,03293	7,04431	7,05746	7,07096	7,08247	7,09146	7,10486	7,12571	7,15115	7,18218	7,21545	7,24382	7,26596	7,27906	

Tabelleiloga 8.2. Tinnis RF-urvefing genom heka konvulkanen og vörsla fíllar genom heka konvulkanen

	Öskanarkenspunkt																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
85,097	75,9442	66,7826	63,0089	58,79	54,3647	50,4991	48,019	46,576	45,4406	44,4006	43,7946	44,0391	45,9511	49,7387	54,3982	60,1403	
83,9337	75,5095	66,9309	63,3862	59,2473	54,8433	50,9638	48,403	46,9104	45,7315	44,6516	44,0272	44,305	46,3033	50,1084	54,8457	60,607	
48,856	53,0417	56,6169	58,4547	57,5304	54,7344	51,4248	48,9208	47,347	46,1453	45,1092	44,4819	44,7918	46,8519	50,5065	55,0626	59,2682	
28,1844	36,4429	44,5228	49,9726	52,3656	52,4868	50,9753	49,1319	47,7532	46,6947	45,8289	45,2827	45,6172	47,5518	50,5346	52,9586	51,7564	
19,0413	27,7573	36,4489	42,7171	46,5223	48,7164	49,0805	48,4459	47,6439	46,9775	46,437	46,0597	46,2556	47,2752	47,7846	48,4678	38,1334	
15,0358	23,0625	31,1033	37,0916	41,3927	44,7619	46,5089	46,9254	46,7908	46,6062	46,4463	46,2105	45,9695	45,3019	42,6032	36,9337	28,6842	
10,3065	17,7229	25,1714	31,2926	35,8834	39,9685	42,7934	44,1669	44,6837	45,0006	45,2522	45,123	44,2808	41,8732	37,0622	30,4717	23,1367	
8,12337	14,6438	21,1927	26,7792	31,2247	35,475	38,7738	40,7119	41,6777	42,3168	42,7888	42,6926	41,451	38,1783	32,9606	27,1378	20,1343	
8,43178	14,0169	19,6183	24,3856	28,3549	32,381	35,6859	37,7659	38,8976	39,6409	40,1489	40,0225	38,605	35,0832	29,9437	24,5157	18,0316	
10,729	15,278	19,8392	23,7011	27,0623	30,6773	33,7633	35,7962	36,9053	37,6436	38,113	37,955	36,5392	33,2201	28,7726	23,3483	17,8021	
16,0262	18,9858	21,9786	24,4947	27,0306	30,0549	32,8128	34,665	35,7469	36,4378	36,8365	36,6357	35,2421	32,1185	28,0749	23,2504	19,2439	
32,264	30,3293	28,6567	27,3371	28,1236	30,2025	32,5383	34,22	35,2429	35,8889	36,2127	35,9643	34,5733	31,56	27,7933	23,6545	21,4905	
49,8516	42,5923	35,7752	30,8003	29,6583	30,6397	32,4954	33,986	34,9196	35,5256	35,8222	35,5509	34,1678	31,2391	27,6561	23,9634	22,3379	
61,8977	50,9714	40,4155	34,18	31,498	31,292	32,5839	33,8493	34,6762	35,2361	35,5203	35,2394	33,8708	31,02	27,6016	24,4562	24,5844	
67,0947	55,2321	43,5769	36,8473	33,3451	32,1202	32,7849	33,786	34,4945	34,9974	35,2617	34,9738	33,6237	30,8523	27,6045	25,0631	26,696	
71,7404	58,954	46,3504	39,2113	35,0776	33,0503	33,0879	33,7921	34,3694	34,8027	35,0337	34,7359	33,4064	30,7198	27,6557	25,7484	28,6673	
73,9574	61,0757	48,2993	41,1728	36,6513	34,0026	33,4714	33,865	34,2993	34,6508	34,8345	34,5212	33,213	30,6169	27,7501	26,4936	30,6067	
77,6807	63,9885	50,436	43,0147	38,1286	34,9479	33,9063	33,996	34,2796	34,5393	34,6637	34,3284	33,0414	30,542	27,8891	27,3665	33,268	
79,0378	65,4454	51,909	44,5845	39,4865	35,8754	34,378	34,1746	34,3039	34,4642	34,5192	34,1535	32,8891	30,4924	28,0609	28,1661	34,2761	
82,1187	67,8755	53,7101	46,1377	40,7925	36,7955	34,8815	34,3951	34,3677	34,422	34,3988	34,0002	32,7536	30,4644	28,2489	28,7733	33,8806	
84,3108	69,7843	55,2775	47,5991	42,0443	37,7035	35,4077	34,6504	34,4672	34,4114	34,3022	33,8625	32,6342	30,4545	28,4451	29,2871	34,0198	
85,4503	71,003	56,5175	48,9091	43,2265	38,5958	35,9522	34,9364	34,5991	34,43	34,2287	33,7421	32,53	30,4596	28,6403	29,6622	33,4914	
85,2346	71,3044	57,2857	49,9826	44,2945	39,451	36,5021	35,2451	34,7587	34,476	34,1778	33,6395	32,4408	30,476	28,8257	29,915	32,8632	
84,7412	71,3445	57,85	50,9912	45,2649	40,2645	37,0514	35,5712	34,9416	34,5462	34,1485	33,5543	32,3657	30,5017	29,0047	30,1857	32,3351	
86,5405	72,729	58,8729	52,0318	46,1876	41,0419	37,5952	35,9097	35,144	34,6379	34,1392	33,486	32,304	30,5345	29,1744	30,3945	31,9346	

Tabell bilaga 8.3. Timus från temperaturutveckling genom hela konstruktionen för värsta fallet genom hela konstruktionen

	Observationspunkt																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
9,20361	9,39299	9,555854	9,620761	9,644068	9,652134	9,650803	9,630787	9,619039	9,73321	9,71098	9,70524	9,73751	9,80763	9,82789	9,8879	9,90449	
9,222706	12,68584	16,0095	17,42654	18,21078	18,53475	18,56996	18,48403	18,38498	18,44206	18,30542	18,11089	17,91856	17,75852	17,50147	17,27243	16,11454	
23,55069	24,60872	25,78793	26,68286	27,45223	28,09107	28,40375	28,45634	28,39983	28,50758	28,37609	28,18836	27,81688	27,39403	26,66037	24,9836	21,07524	
33,20665	33,26683	33,37065	33,49738	33,74686	34,16027	34,52956	34,71044	34,76074	34,82286	34,79187	34,5985	34,13008	33,10378	31,0545	27,50944	23,0665	
38,58346	38,33139	38,09061	37,92036	37,92461	38,09773	38,32397	38,48004	38,55843	38,37189	38,38121	38,16666	37,48073	35,89759	33,31672	30,72873	29,91876	
45,41311	45,16218	44,91705	44,82807	44,72694	44,7185	44,80652	44,89315	44,93499	44,18688	44,14943	43,83335	42,94901	41,25491	39,3917	38,4737	38,91875	
49,84078	49,52659	49,21191	48,98078	48,77062	48,64481	48,59894	48,60458	48,6115	47,39024	47,26862	46,98042	46,28854	45,28077	44,68978	44,97057	45,08912	
48,48617	48,19266	47,89567	47,61371	47,39903	47,23836	47,13425	47,07917	47,04865	45,82897	45,66557	45,41103	45,0006	44,51553	44,30057	44,36813	44,57921	
43,64472	43,35031	43,05416	42,79046	42,59974	42,45495	42,35614	42,29603	42,26358	41,36159	41,23877	41,09105	40,92664	40,87323	41,17213	41,02612	41,56405	
36,32654	35,90394	35,49038	35,14754	34,95919	34,83651	34,78057	34,76171	34,75882	34,24904	34,21075	34,18159	34,17813	34,26298	34,48091	34,83457	35,84886	
27,3616	26,08917	24,81913	23,84086	23,47761	23,3508	23,36575	23,42389	23,4838	23,34557	23,44734	23,58492	23,76634	23,99955	24,28508	24,81627	26,12762	
21,35904	19,91999	18,53036	17,5763	17,12751	16,92044	16,88478	16,912	16,94739	16,86859	16,97765	17,10902	17,27845	17,49107	17,73106	18,11613	18,53858	
16,75444	15,75803	14,74147	14,42481	14,04453	13,76809	13,66488	13,64663	13,65049	13,56355	13,62717	13,70465	13,8093	13,95493	14,13765	14,56556	15,81995	
13,34491	13,09783	12,80537	12,68742	12,48678	12,23426	12,09063	12,04272	12,02933	11,94111	11,97038	12,01668	12,08903	12,20371	12,36963	12,82483	13,89722	
12,27427	12,02886	11,77252	11,67207	11,51535	11,31326	11,15977	11,09469	11,07165	10,98971	10,9965	11,02577	11,08309	11,18645	11,35084	11,82011	12,73461	
10,80173	10,78336	10,74336	10,75856	10,66724	10,51293	10,37313	10,30215	10,27413	10,20447	10,19786	10,21891	10,27182	10,37467	10,54528	11,02384	11,87188	
10,46415	10,24683	10,03901	9,968289	9,882811	9,752763	9,628656	9,559029	9,528558	9,47266	9,45682	9,47239	9,52422	9,6304	9,81189	10,34765	11,61056	
9,250682	9,285284	9,296587	9,333246	9,288294	9,184459	9,073618	9,005481	8,97293	8,92881	8,90377	8,91252	8,96156	9,07008	9,2558	9,71664	9,87387	
9,419756	9,244668	9,075626	9,014714	8,957388	8,863053	8,760321	8,69275	8,657882	8,62354	8,58899	8,58945	8,6397	8,74246	8,92224	9,2358	8,54572	
8,849467	8,776372	8,687099	8,66384	8,618212	8,535262	8,441867	8,377357	8,342479	8,31992	8,27923	8,27445	8,31676	8,42532	8,59694	8,83835	8,58771	
8,333338	8,360618	8,371614	8,398059	8,372609	8,303571	8,21862	8,156744	8,121759	8,10983	8,06369	8,05351	8,09293	8,20012	8,35977	8,50442	7,88426	
7,606633	7,755882	7,891159	7,963784	7,993547	7,947406	7,87578	7,81998	7,787293	7,78816	7,74056	7,72912	7,76879	7,87532	8,02146	8,08823	7,48507	
7,216964	7,370579	7,52163	7,652607	7,653056	7,622332	7,561893	7,511003	7,479926	7,49122	7,44177	7,42736	7,46468	7,56783	7,703	7,7869	7,24206	
7,513756	7,404133	7,309299	7,321986	7,300616	7,273404	7,222016	7,176498	7,147682	7,16905	7,1192	7,10334	7,13899	7,23841	7,36261	7,41012	6,99871	

Bilaga 9 - Temperaturer, RF, och flödiva temperaturer för värsta fallet för en specifik punkt

Tabell Bilaga 9.1. Minsta temperaturavveckling genom hela konstruktionen för värsta fallet för en specifik punkt

	Observationspunkt															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
55,4779	55,4235	55,3894	55,2825	55,1528	55,0002	54,8395	54,6994	54,5883	54,4212	54,1602	53,8421	53,4572	53,0486	52,7	52,4481	52,2651
53,3379	53,3051	53,2722	53,2188	53,1366	53,0365	52,927	52,8279	52,7471	52,6323	52,4266	52,1817	51,8769	51,5402	51,2515	51,0324	50,8656
42,6643	42,6892	42,7131	42,7498	42,7979	42,8453	42,8835	42,9062	42,9169	42,9235	42,9288	42,9267	42,8581	42,7711	42,6686	42,571	42,4785
40,7617	40,7558	40,7496	40,7394	40,7219	40,698	40,669	40,6402	40,6152	40,5749	40,5099	40,4261	40,3167	40,1903	40,0739	39,9763	39,8904
35,4432	35,4571	35,4706	35,4912	35,518	35,5444	35,5656	35,5783	35,5846	35,5889	35,5905	35,5843	35,5636	35,5241	35,4741	35,4218	35,3674
30,4656	30,4868	30,5076	30,5399	30,5836	30,6299	30,6727	30,705	30,7272	30,756	30,796	30,8375	30,8764	30,9018	30,9081	30,8987	30,8755
26,9189	26,9382	26,957	26,9863	27,0265	27,0702	27,1119	27,1447	27,1683	27,2006	27,2475	27,2999	27,3558	27,4046	27,435	27,4465	27,4418
24,561	24,5762	24,5913	24,6142	24,6465	24,6822	24,7167	24,7444	24,7649	24,7934	24,8357	24,8844	24,9391	24,991	25,0278	25,047	25,0521
22,842	22,855	22,8677	22,8869	22,9136	22,9437	22,9728	22,9964	23,014	23,0388	23,0758	23,1192	23,169	23,2179	23,2542	23,2751	23,2855
21,5188	21,5302	21,5406	21,5557	21,5769	21,6002	21,6227	21,6408	21,6541	21,6728	21,7006	21,7329	21,77	21,806	21,8317	21,8443	21,8438
20,4956	20,5049	20,514	20,5273	20,5455	20,5654	20,5848	20,6002	20,6117	20,6278	20,6518	20,6799	20,7126	20,745	20,7684	20,7791	20,776
19,3689	19,3766	19,3861	19,4018	19,4206	19,4417	19,4619	19,4782	19,4902	19,5071	19,5321	19,5611	19,5945	19,6272	19,6486	19,6575	19,6542
18,907	18,9142	18,9213	18,9312	18,9449	18,9599	18,9743	18,986	18,9946	18,997	18,9252	18,9467	18,9722	18,998	19,0157	19,0189	19,0151
17,983	17,9911	17,9991	18,0104	18,0284	18,0441	18,0615	18,0756	18,0861	18,101	18,1229	18,1484	18,1762	18,2076	18,2274	18,2319	18,2308
17,6491	17,6551	17,661	17,6691	17,6804	17,693	17,7052	17,7152	17,7228	17,7337	17,7497	17,7686	17,7912	17,8142	17,8286	17,8314	17,8303
17,3328	17,3386	17,3444	17,3521	17,3631	17,3752	17,387	17,3966	17,4039	17,4145	17,4299	17,4481	17,4696	17,4916	17,5041	17,5081	17,5091
17,7941	17,7956	17,7972	17,7986	17,8007	17,8029	17,8046	17,806	17,8071	17,8089	17,8112	17,8142	17,819	17,8246	17,8241	17,8204	17,8151
18,8948	18,8918	18,8889	18,8835	18,8761	18,8671	18,8576	18,8482	18,8429	18,834	18,82	18,8034	18,7855	18,768	18,7481	18,7303	18,7135
21,7804	21,7663	21,7525	21,7396	21,7201	21,6647	21,6282	21,5973	21,5737	21,5399	21,4887	21,4284	21,3603	21,2932	21,233	21,1666	21,149
26,0997	26,0735	26,0479	26,0085	25,9535	25,8907	25,8264	25,7718	25,7298	25,6691	25,5772	25,4676	25,341	25,2115	25,1014	25,018	24,9549
35,4107	35,3487	35,2877	35,1948	35,0651	34,9192	34,7723	34,649	34,5545	34,4176	34,2101	33,9642	33,6773	33,3829	33,1444	32,9748	32,8592
43,2581	43,1908	43,1234	43,0202	42,8741	42,71	42,5447	42,4055	42,298	42,14	41,8974	41,6667	41,2576	40,8832	40,5979	40,3941	40,2621
49,8794	49,7997	49,7297	49,6194	49,4612	49,2823	49,1012	48,9482	48,8295	48,6543	48,3835	48,0567	47,6646	47,2557	46,923	46,6888	46,5942
46,9216	46,8949	46,868	46,8245	46,7582	46,6781	46,5907	46,5109	46,4448	46,3413	46,1744	45,9614	45,6884	45,3782	45,0983	44,8864	44,7332
52,5777	52,5073	52,4376	52,3263	52,1625	51,9726	51,7763	51,6081	51,4764	51,2814	50,9795	50,6142	50,1752	49,7126	49,3292	49,0535	48,8666

Tabellbilaga 9.2. Timmus RF-utveckling genom hela konvoktionen för värsta följel för enspecifick punkt

	Öbarnskolepunkt																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
9,7952	13,7528	17,7253	21,1359	23,9837	26,9353	29,4137	30,9768	31,8203	32,3947	32,8402	32,8763	32,0788	29,9306	26,7101	21,932	16,5305	
10,6195	13,9457	17,0829	19,8518	22,243	24,8545	27,1378	28,6859	29,581	30,1965	30,6785	30,8042	30,2135	28,5741	25,0326	20,5266	15,9998	
16,2877	17,9255	19,5879	20,9685	22,4973	24,4297	26,3712	27,8234	28,778	29,4806	29,8591	29,9479	29,5409	27,783	24,385	20,7027	17,918	
18,5604	19,6797	20,8134	21,7857	22,8869	24,3857	26,0156	27,3343	28,2617	29,0094	29,4943	29,6237	29,1101	27,2618	24,1848	21,3635	19,8235	
24,4299	24,0592	23,7387	23,4819	23,8288	24,7452	26,0067	27,1523	28,0164	28,7243	29,2143	29,3509	28,7899	26,9546	24,2498	22,24	21,8846	
38,1678	34,1335	30,248	27,0691	25,8112	25,6516	26,3206	27,1954	27,9376	28,5623	29,0173	29,1424	28,5628	26,8002	24,5425	23,6086	25,4066	
46,2081	40,4163	34,7451	30,2953	27,9242	26,7824	26,8202	27,3754	27,9556	28,4724	28,8752	28,98	28,3973	26,7409	24,947	24,9799	28,1374	
48,9431	42,8649	36,8465	32,5838	29,7724	27,9358	27,4102	27,6386	28,0372	28,4304	28,7897	28,8486	28,2717	26,7381	25,3648	26,0153	29,2711	
55,9769	48,0571	40,2635	35,1628	31,7177	29,1794	28,0823	27,9688	28,1704	28,4264	28,6921	28,7399	28,1739	26,7665	25,7267	26,5334	28,9441	
61,4736	52,3662	43,3734	37,5906	33,6589	30,5204	28,8393	28,3622	28,3495	28,453	28,6378	28,65	28,0984	26,8266	26,1764	27,9456	33,7573	
69,4047	58,2849	47,3239	40,4091	35,7318	31,9462	29,6895	28,8228	28,5772	28,516	28,6049	28,5762	28,0419	26,9207	26,7275	29,5705	37,4568	
74,3179	62,2787	50,3525	42,9547	37,7086	33,4053	30,627	29,3485	28,8517	28,608	28,5923	28,5181	28,0045	27,0623	27,5247	32,5501	41,1506	
79,4333	66,3666	53,4023	45,4703	39,7227	34,8837	31,6101	29,9391	29,1753	28,7322	28,6	28,4744	27,9865	27,259	28,4923	35,3649	44,2939	
78,7911	66,6529	54,5137	47,1645	41,403	36,2441	32,5864	30,5716	29,5403	28,8867	28,6272	28,4452	27,9874	27,4964	29,4515	37,155	45,6077	
83,0327	69,9245	56,8711	49,0711	43,0533	37,5339	33,5683	31,2498	29,9496	29,0736	28,6752	28,4309	28,01	27,8061	30,8266	38,5589	46,5845	
86,6085	72,8712	59,1412	51,1336	44,7367	38,8829	34,5456	31,9344	30,3918	29,2917	28,7443	28,4325	28,0574	28,2011	32,5012	39,4822	46,2977	
85,506	72,8051	60,0246	52,6901	46,2621	40,1993	35,5391	32,6506	30,8803	29,5498	28,8402	28,4529	28,1344	28,6623	33,9014	40,9904	48,6438	
83,835	72,2102	60,5059	53,8082	47,577	41,4684	36,5471	33,4091	31,4288	29,8614	28,9718	28,4984	28,2494	29,2078	35,3724	43,1778	52,1452	
76,8072	68,0228	59,1136	53,8177	48,4024	42,6205	37,6225	34,2769	32,1295	30,4592	29,2072	28,5942	28,4326	29,9129	37,0798	45,6747	55,2201	
60,161	56,8683	53,3633	51,0708	47,7433	43,1582	38,5664	35,2004	32,9677	31,2203	29,6022	28,8063	28,6525	31,8862	39,0582	47,4219	55,6019	
32,9718	36,8572	40,56	43,1967	43,4025	41,6161	38,6157	35,8424	33,7742	32,0943	30,4603	29,3756	29,6845	33,624	39,4029	44,3502	46,7196	
18,9803	24,661	30,2996	34,579	36,8796	37,6612	36,8352	35,36	33,9953	32,8296	31,7102	30,7302	31,1351	33,4714	35,4555	34,9282	31,2453	
12,0266	17,4048	22,7865	27,3707	30,4835	32,7245	33,6246	33,5322	33,0973	32,6592	32,2235	31,7752	31,6198	31,6914	30,6543	27,9444	22,9345	
12,3037	16,5446	20,7928	24,4031	27,1741	29,6338	31,193	31,7994	31,9142	31,8912	31,7947	31,5406	31,1024	30,2393	28,5018	24,8256	19,1931	
10,1266	13,9763	17,8418	21,1754	23,853	26,4537	28,4347	29,524	30,0168	30,3324	30,5828	30,5831	30,1669	29,1046	26,4708	22,1187	16,7077	

Tabell bilaga 9.3. Tinnus flötv temperaturutveckling genom hela kore-produktionen för vinstna fjället för en specifik punkt

	Observationspunkt																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
53,36687	53,39091	53,09376	52,86211	52,65307	52,45294	52,29481	52,19154	52,12507	51,08446	50,91941	50,79123	50,57119	50,59065	50,07725	50,04962	50,49411	
44,2888	43,82248	43,40893	43,06499	42,86854	42,73286	42,67056	42,66662	42,69979	42,42237	42,38022	42,30729	42,28728	42,21733	42,21528	42,69427	43,82124	
41,39301	41,24308	41,09002	40,9614	40,83012	40,68578	40,57022	40,50434	40,47184	40,24506	40,25454	40,19916	40,01514	39,82546	39,93376	40,43886	41,22425	
37,07251	36,67363	36,28318	35,96237	35,77964	35,64426	35,56313	35,52774	35,51686	35,38933	35,3945	35,39334	35,38946	35,38906	35,5196	36,03535	36,81017	
34,28279	33,28622	32,31574	31,53634	31,19427	30,88168	30,75989	30,71697	30,70531	30,6426	30,6681	30,69155	30,71749	30,79972	31,11299	31,85672	33,3409	
29,15232	28,68342	28,20619	27,86247	27,61344	27,38431	27,25068	27,1947	27,1733	27,13767	27,14803	27,18622	27,23995	27,36309	27,71815	28,40641	29,35396	
25,33072	25,25637	25,17502	25,24909	25,15989	25,00289	24,88059	24,81751	24,78757	24,764	24,76185	24,79242	24,85118	24,98904	25,32026	25,77178	25,84589	
24,79583	24,29728	23,81687	23,60329	23,45416	23,28914	23,15949	23,06812	23,051	23,036	23,02148	23,04311	23,10054	23,23778	23,50753	23,67277	23,0566	
23,04633	22,72717	22,40446	22,23009	22,11612	21,9727	21,83298	21,75008	21,70385	21,69282	21,66239	21,66997	21,71715	21,84807	22,14649	22,79784	25,21304	
22,69896	22,14898	21,61136	21,31022	21,12131	20,96146	20,82097	20,72814	20,67495	20,6705	20,62877	20,62824	20,67305	20,81087	21,15417	21,91653	23,36565	
20,73368	20,48799	20,22938	20,10891	19,96991	19,84701	19,72232	19,62423	19,56645	19,5715	19,52328	19,52043	19,56832	19,72832	20,20784	21,74322	22,23986	
20,22794	19,94873	19,66847	19,52938	19,40437	19,27057	19,14738	19,05006	18,98449	18,93934	18,93039	18,91611	18,95965	19,13569	19,69302	20,98926	21,21541	
17,80461	18,07063	18,30782	18,48101	18,49315	18,42199	18,33269	18,25129	18,18749	18,20915	18,14194	18,12796	18,17883	18,37378	18,69884	19,48497	19,15046	
18,82732	18,56388	18,31583	18,19871	18,13882	18,05739	17,97795	17,90359	17,83649	17,86453	17,7833	17,75859	17,80702	18,03099	18,79117	18,81413	18,51406	
18,32808	18,15713	17,97498	17,92502	17,83071	17,74381	17,65847	17,58677	17,52673	17,56717	17,47827	17,44922	17,50298	17,7881	18,67632	18,15441	17,30834	
17,48785	17,77724	18,04259	18,23096	18,22442	18,16857	18,08057	18,00494	17,94279	17,98957	17,87833	17,82848	17,8729	18,14744	18,80424	18,87614	19,45737	
18,43063	18,72855	19,02259	19,19408	19,24135	19,21963	19,1376	19,05989	18,99526	19,05212	18,91212	18,83525	18,866	19,14985	19,7778	20,26148	21,16448	
19,82823	20,60313	21,36575	21,73324	21,92938	21,98473	21,92692	21,83836	21,76834	21,93836	21,65348	21,49546	21,48854	21,78877	22,42818	22,93443	23,30143	
21,47576	22,97303	24,45059	25,24547	25,77042	26,04006	26,08859	26,02833	25,96263	26,20187	25,8537	25,61807	25,63493	26,99281	26,48628	26,24104	25,22216	
27,85814	29,79006	31,75123	33,00735	33,83932	34,49084	34,78399	34,82733	34,77853	35,0294	34,81077	34,36271	34,2597	34,59936	33,38569	30,82461	26,64159	
39,37157	39,80247	40,27329	40,62639	41,06218	41,61142	42,05012	42,2715	42,35942	42,65471	42,77233	42,55692	42,27302	40,78638	37,83472	33,7987	29,43009	
47,93882	47,78409	47,64273	47,61709	47,68451	47,91099	48,20937	48,44046	48,58016	48,53502	48,74291	48,7882	48,00389	46,0097	43,56216	41,80014	40,71664	
46,99857	46,65596	46,31419	46,00017	45,83892	45,82013	45,91526	46,02957	46,11616	45,8037	45,87434	45,79718	45,32622	44,36173	43,59155	42,70324	42,11422	
51,97293	51,79388	51,61788	51,42972	51,23997	51,08924	51,01011	50,97804	50,94934	50,19024	50,13103	49,94895	49,52035	48,91831	47,9075	47,15867	47,11682	

Bilaga 10 – Resultat från experimentell studie

Provkropp	Armerad puts			Längdändring		$\Delta L(\text{mm})$	$(t=24)-(t=0)$		$\Delta m(\text{g})$	$\Delta m_{\text{medel}}(\text{g})$
	Tid	Massa					$\Delta L(\text{tot})$			
PA1	09:28	473,95		0,431			0,007		2,67	2,75
	10:02	474,20		0,450		0,019				
	10:28	474,26		0,433	(Inst.)	0,002				
	12:23	474,66		0,437		0,006				
	17:18	475,50		0,440		0,009				
	09:32	476,62		0,438		0,007				
PA2	09:31	454,52		0,420			0,006		2,67	
	10:05	454,75		0,423		0,003				
	10:30	454,80		0,424		0,004				
	12:25	455,20		0,428		0,008				
	17:20	456,04		0,428		0,008				
	09:36	457,19		0,426		0,006				
PA3	09:29	459,69		0,423			0,008		2,52	
	10:04	459,89		0,428		0,005				
	10:29	459,93		0,428		0,005				
	12:24	460,34		0,439		0,016				
	17:19	461,14		0,443		0,020				
	09:34	462,21		0,431		0,008				
PA4	09:29	460,77		0,230			0,006		2,60	
	10:03	460,98		0,233		0,003				
	10:28	461,05		0,242		0,012				
	12:24	461,44		0,238		0,008				
	17:18	462,24		0,241		0,011				
	09:33	463,37		0,236		0,006				
PA5	09:31	461,48		0,348			0,008		2,59	
	10:04	461,68		0,352		0,004				
	10:30	461,74		0,352		0,004				
	12:25	462,11		0,356		0,008				
	17:20	462,94		0,359		0,011				
	09:34	464,07		0,356		0,008				
PA6	09:33	458,54		0,442			0,010		2,93	
	10:06	458,77		0,447		0,005				
	10:31	458,84		0,447		0,005				
	12:36	459,31		0,450		0,008				
	17:21	460,24		0,452		0,010				
	09:37	461,47		0,452		0,010				
PA7	09:30	459,66		0,376			0,008		2,94	
	10:06	459,97		0,380		0,004				
	10:30	460,03		0,379		0,003				
	12:26	460,51		0,382		0,006				
	17:21	461,39		0,384		0,008				
	09:37	462,60		0,384		0,008				
PA8	09:35	456,68		0,338			0,007		3,06	
	10:07	456,91		0,340		0,002				
	10:31	456,98		0,342		0,004				
	12:27	457,48		0,347		0,009				
	17:21	458,46		0,350		0,012				
	09:38	459,74		0,345		0,007				

*inst.=instabil mätning

Provkropp	Tid	Puts	Massa	Längd		$\Delta L(\text{mm})$	$(t=24)-(t=0)$		$\Delta m(\text{g})$	$\Delta m_{\text{medel}}(\text{g})$
							$\Delta L(\text{tot})$			
P1	09:45		478,06	0,274			0,006		3,24	3,30
	10:13		478,29	0,283		0,009				
	10:40		478,38	0,278		0,004				
	12:32		478,95	0,279		0,005				
	17:28		478,97	0,281	inst.	0,007				
	09:46		481,30	0,280		0,006				
P2	09:44		457,74	0,349			0,008		3,44	
	10:12		458,03	0,351		0,002				
	10:40		458,14	0,352		0,003				
	12:32		458,66	0,354		0,005				
	17:27		459,70	0,355		0,006				
	09:45		461,18	0,357		0,008				
P3	09:43		463,36	0,370			0,010		3,23	
	10:12		463,59	0,381		0,011				
	10:40		463,72	0,374		0,004				
	12:31		464,22	0,379		0,009				
	17:27		465,19	0,384	inst.	0,014				
	09:44		466,59	0,380		0,010				
P4	09:41		475,80	0,407			0,010		3,20	
	10:11		476,00	0,412		0,005				
	10:39		476,14	0,412		0,005				
	12:31		476,63	0,414		0,007				
	17:26		477,60	0,416		0,009				
	09:44		479,00	0,417		0,010				
P5	09:40		466,06	0,383	inst.		0,009		3,26	
	10:10		466,30	0,384		0,001				
	10:38		466,40	0,387	inst.	0,004				
	12:30		466,89	0,391	inst.	0,008				
	17:25		467,86	0,395	inst.	0,012				
	09:43		469,32	0,392	inst.	0,009				
P6	09:39		469,99	0,379			0,006		3,41	
	10:10		470,30	0,381		0,002				
	10:37		470,38	0,383		0,004				
	12:30		470,90	0,384		0,005				
	17:24		471,95	0,391		0,012				
	09:41		473,40	0,385		0,006				
P7	09:39		479,28	0,418	inst.		0,017		3,34	
	10:09		479,45	0,426		0,008				
	10:36		479,56	0,423		0,005				
	12:29		480,04	0,434		0,016				
	17:24		481,18	0,426	inst.	0,008				
	09:40		482,62	0,435	inst.	0,017				
P8	09:36		468,27	0,420	inst.		-0,025		3,25	
	10:09		468,52	0,446		0,026				
	10:35		468,61	0,440	inst.	0,020				
	12:28		469,13	0,362	inst.	-0,058				
	17:23		470,16	-		-				
	09:40		471,52	0,395	inst.	-0,025				

*inst.=instabil mätning

Provkropp	Aquapanel				$\Delta L(\text{mm})$	$(t=24)-(t=0)$ $\Delta L(\text{tot})$	$\Delta m(\text{g})$	$\Delta m_{\text{medel}}(\text{g})$
	Tid	Massa	Längd					
A1								2,24
A2	09:47	290,90	0,480			0,037	3,12	
	10:14	291,08	0,487		0,007			
	10:47	291,25	0,488		0,008			
	12:34	291,80	0,491		0,011			
	17:30	292,65	0,494	inst.	0,014			
	09:49	294,02	0,517		0,037			
A3								
A4	09:48	286,25	0,466			0,008	3,19	
	10:15	286,48	0,475		0,009			
	10:48	286,64	0,469		0,003			
	12:35	287,17	0,477		0,011			
	17:31	288,12	0,474		0,008			
	09:49	289,44	0,474		0,008			
A5								
A6	09:47	296,88	0,504			0,094	3,26	
	10:14	297,18	0,492		-0,012			
	10:47	297,33	0,492		-0,012			
	12:34	297,88	0,501	inst.	-0,003			
	17:30	298,81	0,501	inst.	-0,003			
	09:48	300,14	0,598	inst.	0,094			
A12	09:50	276,31	0,475			0,026	3,0	
	10:16	276,45	0,486		0,011			
	10:49	276,63	0,482		0,007			
	12:36	277,14	0,482		0,007			
	17:33	278,01	0,484		0,009			
	09:51	279,31	0,501		0,026			
A8	09:49	278,06	0,466			0,015	3,1	
	10:16	278,25	0,471		0,005			
	10:48	278,4	0,469		0,003			
	12:36	278,92	0,468	inst.	0,002			
	17:32	279,83	0,469		0,003			
	09:50	281,16	0,481		0,015			

*inst.=instabil mätning

Provkropp	Aquapanel+Puts				Längd	ΔL(mm)	(t=24)-(t=0)		Δm(g)	Δm_medel(g)
	Tid	Massa	ΔL(mm)	ΔL(tot)						
AP1	09:53	1078,51	0,469			0,105	7,14	7,16		
	10:23	1078,96	0,575		0,106					
	10:51	1079,22	0,575		0,106					
	12:38	1080,39	0,576		0,107					
	17:35	1082,43	0,581		0,112					
	09:55	1085,65	0,574		0,105					
AP2	09:53	1072,88	0,552			0,000	7,11			
	10:24	1073,36	0,549		-0,003					
	10:52	1073,62	0,560		0,008					
	12:39	1074,80	0,557	inst.	0,005					
	17:35	1076,80	0,555		0,003					
	09:55	1079,99	0,552		0,000					
AP3	09:56	1062,53	0,491			0,002	7,04			
	10:26	1062,99	0,491		0					
	10:54	1063,20	0,492		0,001					
	12:40	1064,45	0,494		0,003					
	17:37	1066,50	0,493		0,002					
	09:57	1069,57	0,493		0,002					
AP4	09:57	1071,87	0,522			0,003	7,04			
	10:26	1072,32	0,523		0,001					
	10:54	1072,60	0,526		0,004					
	12:41	1073,85	0,526		0,004					
	17:37	1075,92	0,527		0,005					
	09:58	1078,91	0,525		0,003					
AP5	09:55	1095,23	0,478			0,006	7,08			
	10:24	1095,70	0,481		0,003					
	10:52	1095,97	0,482		0,004					
	12:39	1097,15	0,482		0,004					
	17:36	1099,19	0,483		0,005					
	09:56	1102,31	0,484		0,006					
AP6	09:55	1103,02	0,505			0,007	7,54			
	10:25	1103,55	0,506		0,001					
	10:53	1103,82	0,509		0,004					
	12:40	1105,12	0,510		0,005					
	17:36	1107,37	0,511		0,006					
	09:56	1110,56	0,512		0,007					
AP7	09:52	1099,34	0,416			0,004	7,18			
	10:23	1099,87	0,418		0,002					
	10:51	1100,09	0,421		0,005					
	12:38	1101,29	0,420		0,004					
	17:34	1103,37	0,422		0,006					
	09:54	1106,52	0,420		0,004					
AP8	-	-	-	-	-	-	-	-		

*inst.=instabil mätning