

Fuktbelastning i takkonstruktioner med perforerad ångspärr

**– En undersökning och jämförelse av två
snedtakskonstruktioner från Isover.**



**LUNDS
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Bygg- och miljöteknologi /Byggnadsfysik**

Examensarbete:
Tina Georgsdottir
Emely Sawirs

© Copyright Tina Georgsdottir, Emely Sawirs

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2012

Sammanfattning

Fukt i takkonstruktioner är ett stort bekymmer inom byggindustrin, speciellt i Sverige där klimatet ofta är blött och uttorkningssäsongen kort. För att undvika fuktproblem i byggnader i framtiden måste stor vikt läggas på tätning och fuktförebyggande åtgärder. Då luften inomhus ofta är varmare och blötare än den utomhus så är det viktigt att luften inte kan ta sig in i konstruktionen inifrån, därför ställs stora krav på ångspärren innanför installationsskiktet. Denna ångspärr ska till exempel skydda konstruktionen mot konvektion vintertid orsakat av övertryck inomhus. Det är dock inte alltid man kan räkna med att denna ångspärr är helt tät.

Syftet med projektet är att kontrollera fuktbelastningen i två olika takkonstruktioner, ett icke-ventilerat kompakt tak och ett traditionellt ventilerat parallelltak om det skulle bli läckage inifrån i form av hål i ångspärren. Konstruktionerna är lokaliserade i Lund respektive Luleå. Två olika ångspärrar testas. Detta innebär en undersökning av fyra olika konstruktioner för respektive ort:

- Ventilerat snedtak med glasullskivor och Isover Vario KM Duplex UV (S.201)
- Ventilerat snedtak med glasullskivor och Isover Plastfolie (S.201)
- Icke-ventilerat snedtak med glasullskivor och Isover Vario KM Duplex UV (S.204)
- Icke-ventilerat snedtak med glasullskivor och Isover Vario KM Duplex UV (S.204)

Simuleringar har genomförts i programmet WUFI Pro 5.1. Resultat från WUFI har sedan analyserats i en mögeldosmodell framtagen vid Lunds Tekniska Högskola.

Resultaten från simuleringar i detta examensarbete visar att ett traditionellt ventilerat parallelltak fungerar bättre än det icke-ventilerade kompakta taket om det skulle bli hål i ångspärren. Generellt kan det minsta hålet som undersöks ($d = 5 \text{ mm per m}^2 \text{ takarea}$) accepteras i det ventilerade parallelltaket, men större hål innebär betydande mögelpåväxt. Det icke-ventilerade kompakta taket tål inte hål i ångspärren enligt beräkningar gjorda i detta examensarbete. Undersökningen visar också att Isover Vario KM Duplex UV fungerar något bättre än Isover Plastfolie samt att Luleå är ett bättre klimat jämfört med Lund ur fuktsynpunkt.

Nyckelord: WUFI, Ångspärr, Variabel ångbroms, Isover, Dosmodellen, Mögelpåväxt.

Abstract

Moisture in roof constructions is currently a major concern in the building industry, especially in Sweden where the climate is often wet and the dry season short. In order to avoid these problems in the future there needs to be a greater understanding and focus on building techniques that prevent mold problems. Crucial to mold prevention is the vapor retarder, which is relied heavily upon in roof construction in order to prevent the airflow between indoor spaces and the construction itself. In most theoretical models this retarder is viewed as flawless, however this is often not the reality.

The purpose of this study is to investigate the moisture and related mold problems associated with different degrees of perforation in the vapor retarder in two different types of roof constructions, a non-ventilated pitched roof and a traditional ventilated pitched roof. The constructions are located in Lund and Luleå and two different vapor retarders are tested, so there are four different constructions for each location:

- Ventilated inclined roof with glass wool slabs and Isover Vario KM Duplex UV (S.201)
- Ventilated inclined roof with glass wool slabs and Isover Vapor retarder (S.201)
- Non-ventilated inclined roof with glass wool slabs and Isover Vario KM Duplex UV (S.204)
- Non-ventilated inclined roof with glass wool slabs and Isover Vapor retarder (S.204)

Simulations have been made in the program WUFI Pro 5.1. Results from WUFI have been analyzed in a mold dosage model developed at Lunds Technical University.

The results of simulations performed in this study show that the traditional ventilated pitched roof performs better than the non-ventilated pitched roof when a perforation exists in the vapor retarder. Generally the smallest of the studied perforations ($d = 5 \text{ mm per } m^2 \text{ roof area}$) is acceptable in the ventilated pitched roof but larger holes lead to extensive mold growth. In the non-ventilated compact roof a hole in the vapor retarder cannot be accepted according to calculations in this study. The study also shows that the variable vapor barrier works slightly better than the normal vapor retarder and that Luleå is a better climate than Lund from a mold growth perspective.

Keywords: WUFI, Vapor retarder, Vapor barrier, Isover, Dosage model, Mold growth.

Förord

Examensarbetet omfattar 22,5 högskolepoäng och avslutar studierna på högskoleingenjörsprogrammet i byggteknik med arkitektur på Lunds Tekniska Högskola, Campus Helsingborg. Arbetet genomfördes under våren 2012 vid avdelningen för byggnadsfysik baserat på en idé från Isover, Saint Gobain.

Arbetet har fördelats lika mellan författarna, såväl litteraturstudie som beräkningar och simuleringar har utförts tillsammans.

Författarna vill rikta ett särskilt tack till Petter Wallentén, universitetslektor vid avdelningen för byggnadsfysik på Lunds Universitet. Din handledning, rådgivning och våra många och långa diskussioner har varit ovärderliga i vårt arbete. Ett stort tack riktas också till Hanne Dybro, utvecklingsingenjör på Isover Saint Gobain i Billesholm, för att du delat med dig av kunskap i ämnet och svarat på mängder av frågor. Vi vill också tacka Olof Hägerstedt, doktorand vid avdelningen för byggnadsfysik, för hjälp med programmet WUFI samt Birgitta Nordquist, forskare och universitetslektor vid installationstekniska avdelningen vid Lunds Universitet, för hjälp med de installationstekniska bitarna.

Lund, juni 2012

Tina Georgsdottir och Emely Sawirs

Beteckningar

$A = \text{area (m}^2\text{)}$

$d = \text{diameter (m)}$

$r = \text{luftflödestäthet (m}^3\text{/(m}^2 \cdot \text{s))}$

$P = \text{tryck (Pa)}$

$L = \text{hålets längd d. v. s plastfoliens tjocklek (m)}$

$\eta = \text{viskositet för luft vid 20 °C: } 18,1 \cdot 10^{-6} \text{ (Ns/m}^2\text{)}$

$R = \text{luftflöde (m}^3\text{/s)}$

$\xi = \text{förlustfaktor (-)}$

$\mu = \text{formfaktor (-)}$

$u = \text{vindhastighet (m/s)}$

$T = \text{temperatur (°C)}$

$\varphi = \text{relativ fuktighet (-)}$

$\rho = \text{densitet (kg/m}^3\text{)}$

$g_g = \text{gravitationen: } 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$

$h = \text{höjd (m)}$

$G = \text{fuktflöde (kg/s)}$

$v = \text{ånghalt (kg/m}^3\text{)}$

$M_v = \text{molvikt för vatten: } 18,02 \text{ (kg/kmol)}$

$R_k = \text{allmänna gaskonstanten: } 8314,3 \text{ (J/(kmol} \cdot \text{K))}$

$g = \text{fuktflödestäthet (kg/(m}^2 \cdot \text{s))}$

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och frågeställning	2
1.3 Metod	3
1.4 Avgränsningar	4
2 Nulägesanalys	6
3 Teori	7
3.1 Allmänt om fukt	7
3.1.1 Vad är fukt?	7
3.1.2 Luftens fuktinnehåll	8
3.1.3 Materials fuktinnehåll	9
3.1.4 Fukttransport	10
3.2 Fuktkrav i BBR	11
3.3 Mögel	12
3.3.1 Missfärgande svampar	14
3.3.2 Nedbrytande svampar	14
3.3.3 Hälsoproblem	14
3.4 Trä	15
3.4.1 Träets uppbyggnad	15
3.5 Fuktskydd	16
3.5.1 Ångspärr/Fuktspärr	16
3.5.2 Ångbroms	16
3.5.3 Ångpermeabilitet	16
3.5.4 Ånggenomgångsmotstånd	17
3.5.5 Problematik	17
3.5.6 Isovers ångspärrar	18
3.5.6.1 Isover Plastfolie	18
3.5.6.2 Isover Vario KM Duplex UV	18
3.6 Tak	19
3.6.1 Fuktproblem i tak	20
3.6.1.1 Fukt inifrån	20
3.6.1.2 Fukt utifrån	20
3.6.1.3 Byggfukt	20
3.6.1.4 Sommarkondens	20
3.6.2 Varma och kalla tak	20
3.6.3 Ventilerat parallelltak och icke-ventilerat kompakt tak	21
3.6.4 Solstrålning på tak och valet av färg	21
3.6.4.1 Kortvågig strålning	21
3.6.4.2 Långvågig nattutstrålning	22
3.6.5 Isovers taklösningar	23

3.6.5.1 Isovers takkonstruktion S.201	23
3.6.5.2 Isovers takkonstruktion S.204	23
3.7 Programmet WUFI.....	24
3.7.1 Begränsningar i WUFI	25
3.8 Dosmodellen	25
3.8.1 Begränsningar i Dosmodellen.....	27
4 Genomförande.....	28
4.1 Randvillkor	29
4.1.1 Klimatdata	29
4.1.2 Fuktklasser	29
4.2 Handberäkningar	30
4.2.1 Hålstorlekar	30
4.2.2 Tryckfallsberäkningar	31
4.2.2.1 ΔP_{vind}	32
4.2.2.2 $\Delta P_{termisk}$	33
4.2.2.3 ΔP_{vent}	34
4.2.3 Luftflödesberäkningar	34
4.2.4 Fuktflödesberäkningar	35
4.3 Simulering	36
4.3.1 WUFI.....	36
4.3.1.1 Konstruktioner.....	36
4.3.1.2 Inställningar i programmet.....	40
5 Resultat.....	42
6 Analys och diskussion.....	46
6.1 Ingående parametrar för båda konstruktionerna.....	46
6.1.1 Inomhusklimatet	46
6.1.2 Utomhusklimatet.....	46
6.1.3 Handberäkningarna.....	47
6.1.4 Hålen och hålstorlekarna.....	47
6.1.5 WUFI.....	48
6.1.6 Sammanfattning av antaganden.....	49
6.2 Resultat av simuleringarna	50
6.3 Resultat av simuleringar utan hål i ångspärren.....	51
6.4 Ventilerat parallelltak.....	51
6.5 Icke-ventilerat kompakt tak	52
6.6 Resultat av simuleringar med hål i ångspärren.....	54
6.7 Jämförelse mellan ångspärrarna.....	55
6.8 Befintliga rapporter.....	55
7 Slutsats	56
8 Förslag på fortsatta studier	57
Referenser	58

Skriftliga källor	58
Webbrelaterade källor	59
Figurer	60
Övriga källor	62
Bilagor	63
Bilaga 1.....	63
Bilaga 2.....	64
Bilaga 3.....	65
Bilaga 4.....	68
Bilaga 5.....	76
Bilaga 6.....	78
Bilaga 7.....	79

1 Inledning

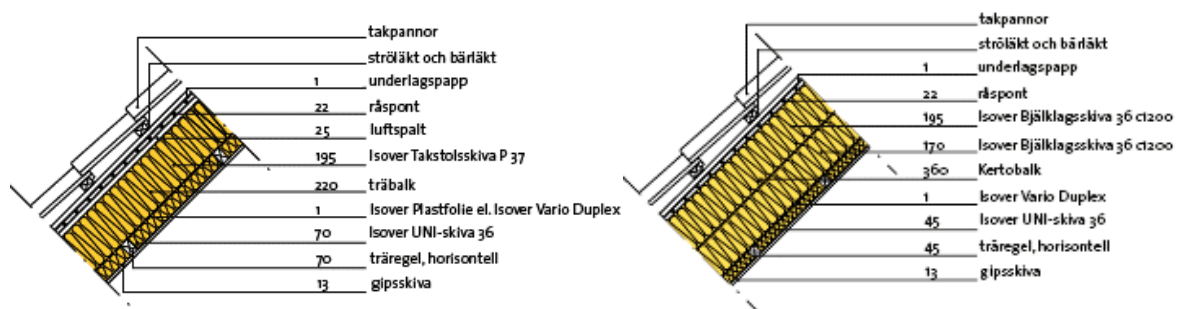
1.1 Bakgrund

Majoriteten av alla byggnadsskador kan på något sätt kopplas till fuktproblem och i Sverige kostar fuktskador i byggnader flera miljarder per år att åtgärda. Konsekvenser av fukt kan vara både synliga och dolda i en konstruktion i form av vittringar, fläckar, mögel och röta. I många fall kan de dolda konsekvenserna vara de mest svåråtgärdade. Andra konsekvenser kan vara att fukten ändrar egenskaperna hos materialet, vilket kan resultera i att materialet till exempel inte har samma hållfasthet eller isolerförmåga längre.

Fuktproblem i byggnader kan också orsaka hälsoproblem. Då människan spenderar i genomsnitt 90 % av sin tid inomhus är det viktigt att uppfylla de fukttekniska kraven (Sandin, 2010).

Taket är ofta en problematisk del av byggnaden som får utstå fuktpåverkan både utifrån i form av klimat och inifrån i form av fuktillskott. Dessutom måste taket tillåta byggfukt eller fukt som trängt in i konstruktionen att torka ut (Elmarsson och Nevander, 2006).

Som exempel kan ges det traditionella ventilerade parallelltaket och det icke-ventilerade kompakta taket, båda konstruktionerna fungerar i princip som ett parallelltak, som i sin tur fungerar som en blandning av varmt och kallt tak. Skillnaden är att det traditionella ventilerade parallelltaket har en ventilerad luftspalt som har i uppgift att ventilerar bort ansamlingar av fukt medan det kompakta taket saknar luftspalt (Sandin, 2010).



Figur 1. Ventilerat parallelltak och icke-ventilerat kompakt tak.

Det mest kända och undersökta problemet med fukt i tak är den fukt som kommer utifrån i form av nederbörd. Samtidigt är det välkänt att stor vikt måste läggas vid att även skydda konstruktionen inifrån. Den varma och fuktiga inomhusluften måste hindras från att leta sig in i takkonstruktionen genom små hål eller otätheter. Det är viktigt att detta inte bara fungerar bra i teorin utan också i praktiken, där slarv och okunskap bara är två exempel på varför det i verkligheten kan finnas små perforeringar i ångspärren. Då det inte

har gjorts många undersökningar på vad som egentligen händer när man får dessa små otätheter är det något av en gråzon inom byggbranschen. Med fuktberäkningsprogram som WUFI 5.1 Pro finns det möjligheter att i teorin undersöka vad som händer då otätheter uppstår.

I examensarbetet undersöks två konstruktioner för fuktbelastning på grund av oavsiktliga hål i ångspärren. Studien omfattar ett ventilerat parallelltak och ett icke-ventilerat kompakt tak, båda från Isover.

Isover är en del av den franska koncernen Saint-Gobain som tillverkar byggmaterial. Saint-Gobain är ett globalt företag med tillverkning i mer än 50 länder. Isover är det gemensamma internationella varumärket för isolerdivisionen och arbetar mycket med att ta fram nya konstruktionslösningar och bedriver forskning inom byggt teknik och byggfysik (Isover 1, 2012).

1.2 Syfte och frågeställning

Syftet med projektet är att:

- Undersöka vad som händer i Isovers traditionella ventilerade parallelltak respektive Isovers icke-ventilerade kompakta snedtak om det skulle bli läckage inifrån i form av hål i ångspärren.
- Jämföra två typer av ångspärrar; Isover Vario KM Duplex UV och Isover Plastfolie då det blir läckage inifrån i form av hål i ångspärren.

Frågeställningarna lyder:

- Vad händer om det blir hål i ångspärren i någon av takkonstruktionerna? Finns det risk för mögelpåväxt?
- Hur skiljer sig den kompakta takkonstruktionen och det traditionella ventilerade parallelltaket åt med hänsyn på fuktbildning på grund av läckage orsakade av hål i ångspärren?
- Vilken av konstruktionerna fungerar bäst om det skulle bli hål i ångspärren?
- Vilken av ångspärrarna fungerar bäst om hål skulle uppstå?

1.3 Metod

Den inledande delen består av att studera relevant litteratur om tak, fuktskydd, fukt och mögel för att få en djupare kunskap. Därefter genomförs en parameterstudie där ett fuktflöde på grund av läckage beräknas för att sedan kunna användas som en fuktkälla i WUFI Pro 5.1. Dessa beräkningar är gjorda i Excel och består av:

- Total tryckdifferens över huset beroende på vind, termisk drivkraft och ventilation.
- Luftflödesberäkning som beror av den totala tryckskillnaden över huset samt varierar beroende av hålstorlekarna. Totalt blir det tre olika luftflöden.
- Fuktflödesberäkning som beror av ånghalten i mineralullen, ånghalten inne och luftflödet. För att få fram dessa parametrar har simuleringar i WUFI Pro 5.1 utförts och därefter har den relativa fuktigheten inne, den relativa fuktigheten i mineralullen samt temperaturen i mineralullen erhållits för att därefter användas för beräkning av ånghalterna. Dessa fuktflöden används sedan som fuktkällor i WUFI Pro 5.1. Totalt fås 48 fuktkällor, 24 för Lund och 24 för Luleå.

I WUFI Pro 5.1 görs simuleringar av fuktvandring i de fyra konstruktionerna som examensarbetet behandlar. Utifrån simuleringarna fås temperatur och relativ fuktighet i mineralullen timme för timme under nio års tid. Därefter analyseras dessa värden med hjälp av dosmodellen (se avsnitt 3.8). Denna analys görs i Excel och resultat om risken för mögelpåväxt avläses i ett diagram.

Klimatdata för att få fram partialtrycket samt till beräkningar i WUFI fås från Petter Wallentén. Data är från åren 1990-1998.

För att få en bättre förståelse för programmet WUFI och dess begränsningar samt att göra inlärningsperioden snabbare och mer effektiv gick författarna en nybörjarkurs i programmet som hölls av representanter från Fraunhoferinstitutet. Kursen innehöll bland annat:

- Föreläsningar om fuktkontroll, grunderna i värme- och fukttransport, hygrotermiska materialegenskaper, yttre och inre klimatförhållanden.
- WUFI-Pro hands-on, en guidad tur genom programmet från indata till utdata.

- Gruppövning: olika exempel räknas igenom och resultaten tolkas.
- Presentation av internationella standarder och riktlinjer för fuktberäkningar.

Övriga fakta kommer att hämtas från litteratur, pålitliga internetkällor samt pålitliga muntliga källor.

1.4 Avgränsningar

Takkonstruktionerna undersöks endast teoretiskt, då praktiska laborationer skulle ta för lång tid.

Beräkningarna avser nio år och lokalisering av takkonstruktionerna begränsas till Lund och Luleå, valet av orterna har gjorts för att kunna jämföra konstruktionerna i olika klimat.



Figur 2. Sverigekarta som visar Lund och Luleå.

Simuleringarna tar inte hänsyn till om det faller skuggor på taket från träd eller liknande, om taket skulle skuggas kan resultaten bli sämre då uttorkningen försämras under de soligare perioderna då det är mycket viktigt för konstruktionen att torka ut. Resultaten kan också bli bättre om fuktproblemen orsakas av sommarkondens.

I examensarbetet beaktas inte diffusion då de små molekyler som råkar träffa hålet (på grund av att partialtrycket för vattenånga kan variera) är relativt sett få.

Energiförluster, försämring av u-värde eller ekonomiska synpunkter till följd av fuktbelastningarna är mycket intressanta frågor, men kommer inte att behandlas.

Endast två olika typer av konstruktioner kommer att undersökas:

- Ventilerat snedtak med glasullskivor (Isover S.201)
- Icke-ventilerat snedtak med glasullskivor (Isover S.204)

Endast två olika typer av ångspärrar kommer att undersökas:

- Isover Plastfolie
- Isover Vario KM Duplex UV

Fyra olika typer av hål i ångspärren betraktas:

- $d_A = 80 \text{ mm}$ beräknas som 0,236 hål per m^2 takarea
- $d_B = 12 \text{ mm}$ beräknas som ett hål per m^2 takarea
- $d_C = 5 \text{ mm}$ beräknas som ett hål per m^2 takarea

Vissa förenklingar har gjorts vid uppbyggnaden av konstruktionerna för simuleringar i programmet WUFI. Konstruktionsritningarna översätts till modeller i programmet och är inte helt identiska med verkligheten.

Simuleringsprogrammet WUFI Pro 5.1 beräknar endimensionell och är därför en grov förenkling av verkligheten.

Mögelpåväxt för trä i takkonstruktionerna beräknas med en modell utvecklad på Lunds Tekniska Högskola. I modellen beaktas bara den relativa fuktigheten och temperaturen i materialet, sedan erhålls en mögeldos per dygn.

2 Nulägesanalys

Examensarbetet ”Problematiken isolering vindsbjälklag i uteluftsventilerade kallvindar” är utfört vid KTH STH av Daniel Hansson och Niclas Lundgren. Examensarbetet behandlar klimatet i kallvindar med hjälp av fuktberäkningsprogrammet WUFI Pro 4.2. Hansson och Lundgren har undersökt fuktkonvektion genom plastfolien och använt sig av fuktkällor i mineralullen i programmet WUFI. Inspiration för hantering av parametrar för inomhusmiljön har tagits från detta examensarbete. Dock har deras resultat analyserats i WUFI Bio 2.0, vilket ger en överskattad bedömning av mögelpåväxten (Hansson och Lundgren, 2009).

Två aktuella rapporter har gjorts baserade på WUFI-simuleringar av Isovers takkonstruktioner. Den ena är utarbetad av Hanne Dybro vid Isover Saint Gobain. I rapporten studerades det aktuella icke-ventilerade kompakta taket, utan hål i plastfolien och med klimatdata tagna från WUFI Pro 5.1. I sin rapport har Dybro (2011) undersökt 12 olika orter varibland man finner Lund och Luleå. Resultaten av simuleringarna analyserades genom att ta ut relativ fuktighet i råsponten under sommarmånaderna, värdena får då inte överstiga 80 % RF om mögelrisk ska undvikas. I undersökningen kommer Dybro (2011) fram till att den kompakta konstruktionen fungerar mycket bra för svarta och röda tak med fuktklass 1 och 2, med några undantag (se bilaga 1).

Den andra rapporten, ”Bygg fuktsäkra takkonstruktioner”, är skriven av Camilla Persson Lidgren (2010) för Skanska Teknik och Projekteringsledning. Rapporten tar upp problematiken kring ventilerade och oventilerade takkonstruktioner och simulerar bland annat de två aktuella konstruktionerna i WUFI 4.2 där resultaten blir mycket dåliga (se bilaga 2). Här har också klimaten från WUFI använts, konstruktionerna är hålfria och en m-modell har använts för att analysera resultaten från simuleringarna. M-modellen är framtagen av Togerö och Svensson Tengberg (2011) och beräkningsprogrammet tittar på tiden som konstruktionen överskrider kritiska nivåer i träet som kan orsaka mögel (Skanska Teknik, 2010).

Dock skall observeras att det i de klimatdata som går att välja i WUFI inte finns någon nattutstrålning, vilket gör att realistiska beräkningar på takets fuktinnehåll och temperatur inte kan göras med det klimatet.

3 Teori

3.1 Allmänt om fukt

3.1.1 Vad är fukt?

Med fukt menas vatten i sina olika faser. Fukt förekommer överallt i form av vattenånga, vätska eller is. Vatten är också bundet i material, således är fukt i sig inte skadligt, men under fel förhållanden kan skador uppkomma på grund av fukt.

Fukttillstånd är nivån på fuktförhållandet i ett material. Fukttillståndet för material kan beskrivas som *fukthalt*, *fuktkvot* eller *relativ fuktighet*.

Kritiskt fukttillstånd är då ett materials avsedda egenskaper och funktioner inte kan uppfyllas längre på grund av att materialet innehåller för mycket fukt. Ur mikrobiell synpunkt är fukttillståndet kritiskt då tillväxt av mögel sker. Faktorer med betydelse för den biologiska tillväxten är t.ex. då hög relativ fuktighet och hög temperatur samverkar under en längre tid. Med utgångspunkt i detta kan ett kritiskt fukttillstånd beräknas (Elmarsson och Nevander, 2006). Enlig Boverkets byggregler (BBR) ska material som inte anses väl undersökta och dokumenterade ha 75 % relativ fuktighet som kritiskt fukttillstånd (BBR 18, 2012).

Att fuktskador uppstår kan bero på:

- Brist på kunskap
- Att man inte använt sig av den kunskap som finns
- Av ekonomiska orsaker, pressen att bygga billigt och snabbt
- Slarv
- Bristfällig kvalitetskontroll

Det finns olika typer av fuktkällor som kan orsaka fuktproblem. De vanligaste fuktkällorna är:

- Fuktig utomhusluft
- Fuktproduktion inomhus (matlagning, tvätt o.s.v.)
- Byggfukt
- Nederbörd
- Markfukt

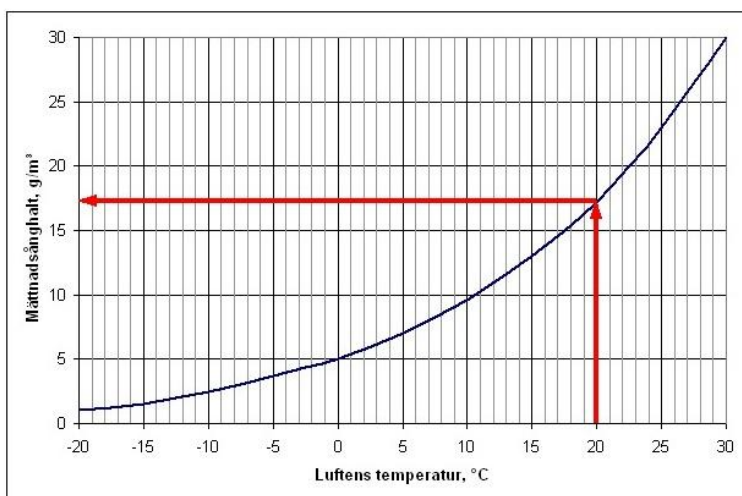
Olika byggnadsdelar utsätts för olika typer av fuktkällor och dessa fuktkällor kan även verka samtidigt. Tak, ytterväggar och fönster kan få fuktproblem orsakat av nederbörd, byggfukt, fuktkonvektion eller fuktdiffusion.

Grundkonstruktioner kan få fuktskador orsakat av markfukt, fuktdiffusion eller byggfukt (Elmarsson och Nevander, 2006).

3.1.2 Luftens fuktinnehåll

I luften finns det alltid en viss mängd vattenånga, detta kallas för luftens ånghalt. Det finns två olika typer av ånghalt, mättnadsånghalt och verklig ånghalt.

Mättnadsånghalten varierar med temperaturen. Vid en given temperatur kan luften bara innehålla en viss mängd vattenånga per kubikmeter och mättnadsånghalten är ett mått på den maximala mängden fukt luften kan innehålla vid en viss temperatur. En ökad temperatur medför att luften kan innehålla mer vatten, alltså att mättnadsånghalten ökar. Den verkliga ånghalten är ett mått på hur mycket vattenånga det verkligen finns i luften vid en given temperatur och relativ fuktighet. Vid en viss temperatur blir mättnadsånghalten och den verkliga ånghalten lika stor. Denna punkt kallas *daggpunkten*. Om temperaturen sänks efter det att denna punkt uppnåtts kommer vattnet att kondensera och på så vis bilda fritt vatten (Sandin, 2010).



Figur 3. Figuren visar sambandet mellan luftens temperatur och mättnadsånghalten.

Relativ fuktighet (φ) är kvoten mellan luftens verkliga ånghalt och mättnadsånghalten vid en aktuell temperatur.

$$\varphi = \frac{v}{v_s}$$

φ = *relativ fuktighet (%)*

v = *ånghalt (kg/m^3)*

v_s = *mättnadsånghalt (kg/m^3)*

(Sandin, 2010)

3.1.3 Materials fuktinnehåll

Från en byggnadsteknisk synpunkt kan vatten i material förekomma antingen kemiskt eller fysikaliskt bundet i materialet. Begreppet fukt innefattar normalt endast fysikaliskt bundet vatten, då kemiskt bundet vatten är mycket fast fixerat. Med fysikaliskt bundet vatten menas det vatten som förångas vid en bestämd temperatur, vanligen 105 °C.

Ett material strävar alltid efter att vara i jämvikt med omgivande klimat och därför har klimatet som materialet finns i stor betydelse för dess fuktighet. Det finns ett samband mellan materialets fuktinnehåll och luftens relativa fuktighet. Om den relativa fuktigheten ökar vill materialet fuktas upp för att på så sätt uppnå jämvikt och det motsatta sker vid en sänkning av den relativa fuktigheten (Sandin, 2010).

Fuktkvot u är ett förhållande mellan fuktinnehåll och mängden torrt material. Fukthalt w är ett mått på hur mycket vatten som finns per volym av materialet.

Sambandet mellan fuktkvot och fukthalt:

$$w = u \cdot \rho$$

w = *fukthalt (kg/m^3)*

u = *fuktkvot (%)*

ρ = *skrymdensitet (kg/m^3)*

(Sandin, 2010)

3.1.4 Fukttransport

Inom byggnadsfysiken talar man om tre olika typer av fukttransport:

- Diffusion
- Konvektion
- Kapillärsugning

Med diffusion menas ångtransport beroende på en skillnad i ånghalt, det vill säga att fukten rör sig från högre ånghalt till lägre ånghalt. Hur snabbt detta sker beror på materialets egenskaper, främst på ångtätheten, och är ofta en långsam process. Med en ångspärr hindras diffusion genom väggar, tak och grund. Utan ångspärr kommer en fuktvandring att ske genom konstruktionen (Sandin, 2010).

I ett poröst material ges fukttransporten av:

$$g = -\delta \cdot \frac{dv}{dx}$$

$$g = \text{fuktflöde (kg/m}^2\text{s)}$$

$$\delta = \text{ånggenomgångskoefficient (m}^2\text{/s)}$$

$$\frac{dv}{dx} = \text{ånghaltsgradient (kg/m}^3\text{)}$$

Vid stationära förhållanden kan transporten beräknas genom:

$$g = \delta \cdot \frac{v_i - v_u}{d}$$

$$g = \text{fuktflöde (kg/m}^2\text{s)}$$

$$\delta = \text{ånggenomgångskoefficient (m}^2\text{/s)}$$

$$v_i = \text{ånghalten inomhus (kg/m}^3\text{)}$$

$$v_u = \text{ånghalten utomhus (kg/m}^3\text{)}$$

$$d = \text{konstruktionens tjocklek (m)}$$

(Sandin, 2010)

Över en byggnads ytterkonstruktion uppstår lufttrycksskillnader på grund av vind, temperaturskillnader (termisk drivkraft) och ventilation. Med konvektion menas att luft strömmar genom konstruktionen på grund av dessa tryckskillnader och tar med sig fukt i form av vattenånga. Om det råder övertryck i byggnaden pressas varm och fuktig inomhusluft genom konstruktionen via otätheter, under kalla förhållanden kyls luften ner vilket medför att den relativa fuktigheten (RF) ökar och fukt fälls ut inuti konstruktionen och kan orsaka skada. För att fuktkonvektion ska ge skadlig kondens krävs att följande tre förutsättningar uppfylls:

- Invändigt övertryck
- Otät konstruktion
- Ånghalt i ineluften (v_i) är högre än mätnadsånghalten i uteluften (v_u)

$$G = v \cdot R$$

$$G = \text{fuktflöde (kg/s)}$$

$$v = \text{ånghalt i luften (kg/m}^3\text{)}$$

$$R = \text{luftflöde (m}^3\text{/s)}$$

Till skillnad från fuktdiffusion kan fuktmängderna vara stora och processen gå snabbt (Sandin, 2010).

Kapillärsugning är en transport i vätskefas och innebär vattenupptagning från fritt vatten. Denna vattenupptagning sker när ett material har direktkontakt med vatten, till exempel slagregn mot fasad (Elmarsson och Nevander, 2006). Ett material med fint porsystem har hög kapillär stighöjd, stor sugkraft och långsam sughastighet. Ett material med grova porsystem har låg kapillärstighöjd, liten sugkraft men snabb sughastighet. Detta gör att det fria vattnet inte når särskilt långt in i materialet. Ett sådant material kallas för kapillärbrytande material (Petersson, 2009).

3.2 Fuktkrav i BBR

I Boverkets byggregler 18 avsnitt 6:5 kan man läsa om krav gällande fukt:

”Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, elak lukt eller hygieniska olägenheter och mikrobiell tillväxt som kan påverka människors hälsa.”

”Byggnader ska utformas så att varken konstruktionen eller utrymmen i byggnaden kan skadas av fukt. Fukttillståndet i en byggnadsdel ska inte överskrida det högsta tillåtna fukttillståndet om det inte är orimligt med hänsyn till byggnadsdelens avsedda användning. Fukttillståndet ska beräknas utifrån de mest ogynnsamma förutsättningarna.”

Högsta tillåtna fukttillstånd i Boverkets byggregler:

”Vid bestämning av högsta tillåtna fukttillstånd ska kritiska fukttillstånd användas varvid hänsyn tas till osäkerhet i beräkningsmodell, ingångsparametrar (t.ex. materialdata) eller mätmetoder. För material och materialytor, där mögel och bakterier kan växa, ska väl undersökta och dokumenterade kritiska fukttillstånd användas. Vid bestämning av ett materials kritiska fukttillstånd ska hänsyn tas till eventuell nedsmutsning av materialet. Om det kritiska fukttillståndet för ett material inte är väl undersökt och dokumenterat ska en relativ fuktighet (RF) på 75 % användas som kritiskt fukttillstånd.”

”Vid bestämning av kritiska fukttillstånd för ett material kan hänsyn behöva tas till:

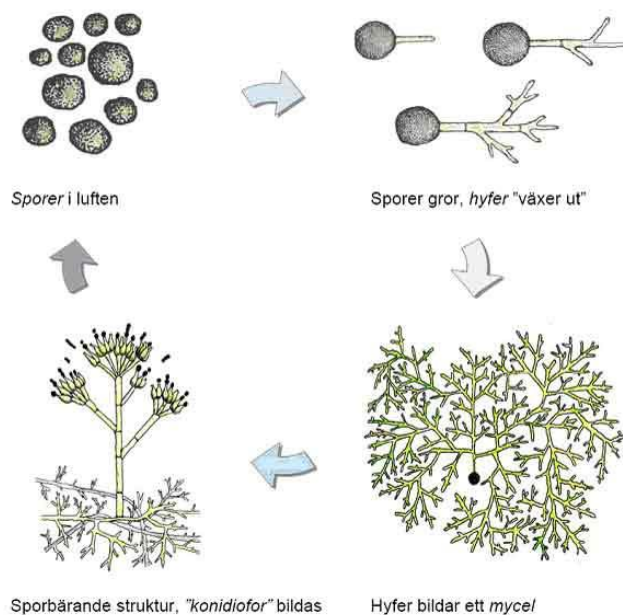
- när tillväxt av mögel och bakterier börjar,
- när oacceptabla kemiska och elektrokemiska reaktioner sker,
- när oacceptabla fuktrörelser sker,
- när transportprocesser för fukt, joner och andra vattenlösliga ämnen påverkas i oacceptabel omfattning,
- förändringar av mekaniska egenskaper,
- förändringar av termiska egenskaper,
- angrepp av rötsvamp, och
- angrepp av virkesförstörande insekter.

De kritiska fukttillstånden för olika material är inte i detalj kända. Uppgifter om kritiska fukttillstånd kan normalt fås av materialtillverkare eller importör.” (BBR 18, 2012).

3.3 Mögel

Mögel är en typ av svamp som växer i byggnader och på andra organiska föremål och material. Svamparna brukar delas in i två huvudgrupper, missfärgande- och nedbrytande svampar. Svamparna har fruktkroppar som bildar miljontals sporer som har förmåga att färdas långt. När dessa sporer landar i en gynnsam miljö, det vill säga rätt temperatur och relativ luftfuktighet, börjar de gro och bildar rörformade tunna trådar som kallas hyfer. Efter en tids växande börjar hyferna att förgrena sig och bildar då ett

mycel. Mycelet är svampens rot och det är den som tar upp näringen vilket bidrar till tillväxt (Ewing och Wannberg, 2003).



Figur 4. Livscykel för mycel.

För att mögel ska kunna växa och frodas kräver svampen:

- Värme
- Fuktighet
- Näring
- Tid

De allra flesta mögelarter kräver en temperatur mellan 0-40 °C, då mögeltillväxten sker mycket långsamt vid de lägre temperaturerna och möglet dör vid temperaturer högre än 40 °C. Den mest gynnsamma temperaturen ligger mellan 20-25 °C.

Ett gynnsamt klimat för svampen att växa i kräver också en relativ fuktighet (RF) över 75 % (se tabell).

Risk för mögel vid varierande relativ fuktighet.

RF (%)	Risk för mögel
<75	Ingen risk
75-85	Liten risk
85-95	Medelstor risk
>95	Stor risk

Mögelpåväxten styrs dessutom av mängden näring, om materialet som mögelpåväxten sker på är ett biologiskt material eller om det på något sätt är nedsmutsat är detta mer gynnsamt för möglet.

När gynnsamt klimat för mögel (d.v.s. rätt temperatur, rätt fuktighet och tillgång till näring finns) infinner sig krävs tid för möglet att växa. Tiden som krävs är mindre ju mer gynnsamt klimatet är (LFS, 2012).

3.3.1 Missfärgande svampar

Missfärgande svampar får näring från vedcellerna vilket inte påverkar träets hållfasthet. Mögelsvampar tillhör gruppen missfärgande svampar. De kan inte bryta ner vedfibrerna och växer därför bara på ytan av träet. De sprider sina sporer genom luften och den största skada de kan orsaka är att de kan vara illaluktande och allergiframkallande. Blånadssvampar kan inte heller bryta ner fibrerna men kan växa in i veden. De orsakar missfärgning av träet på grund av att dess sporer bildar mycel som är brunt, svart eller grönt till färgen. När det uppkommer på träet ser mycelet ofta blåaktigt ut (Burström, 2007).

3.3.2 Nedbrytande svampar

Den äkta hussvampen är den farligaste röttsvampen på grund av att dess mycel kan sprida sig över långa avstånd. För att tillväxt ska ske kräver hussvampen, liksom andra svampar, hög fukthalt. Om materialet skulle torka ut kan svampen trots det fortsätta att växa på grund av att det bildas vatten då svampen bryter ner veden och detta bidrar då med tillräckligt med fukt för att tillväxten ska fortgå. Den mest gynnsamma fukthalten ligger på 30 % men kan sjunka så lågt som till 17 % innan tillväxten helt upphör. Vedmussling är en svamp vars mycel växer inne i veden och syns därför inte förrän den bildar fruktkroppar som då växer ut genom sprickor. Den är vanlig i träfönster och vid angrepp påverkas träets hållfasthet (Burström, 2007).

3.3.3 Hälsoproblem

Om människor vistas en längre tid i en mögeldrabbad byggnad kan det medföra hälsorisker. Det finns tre typer av sjukdomar som har ett direkt samband med mögel:

- atopisk allergi
- allergisk alveolit
- infektion

Atopisk allergi påverkar människor på olika sätt. Den mest allvarliga är astma och leder till att personen som har vistats i byggnaden får svårigheter att andas på grund av att luftrören drar ihop sig. Andra effekter är hösnuva och eksem.

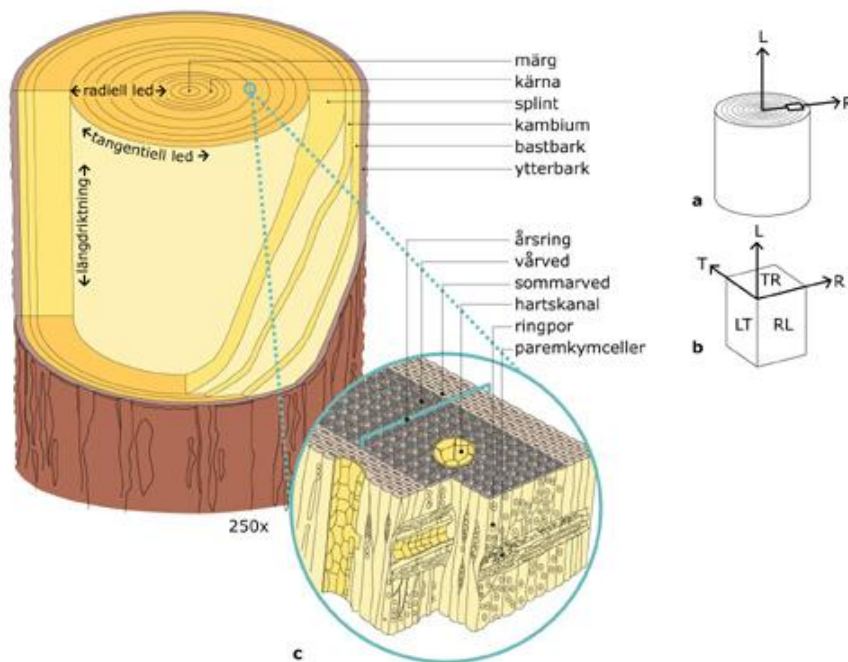
Allergisk alveolit drabbar främst människor som arbetar med rivningsarbete av ett mögelpåverkat hus eller annan aktivitet som bidrar till intensiv exponering av mögelsporer. Detta kan leda till inflammation i lungblåsorna som normalt försvinner efter ett tag men vid upprepade inflammationer kan det bli bestående skador på lungorna. Personer med nedsatt immunförsvar kan få svampinfektion i lungsäckarna (Ewing och Wannberg 2003).

3.4 Trä

Inom den svenska byggindustrin är trä det vanligaste materialet. Trä har många olika användningsområden som till exempel golvbeläggning, inner- och ytterbeklädnad, stomkonstruktion och inredning. Trä är ett organiskt material som produceras av naturen och måste därför genomgå ett antal processer innan det blir en färdig råvara som kan användas till det den är avsedd för. Det finns olika klassningar av virke beroende på vad det ska användas till, den ena är snickerivirke som sorteras utifrån hur det ser ut och den andra är konstruktionsvirke då hänsyn tas till hållfastheten.

3.4.1 Träets uppbyggnad

Trä är uppbyggt av långa celler som är en typ av fiber. Fibrerna ser ut som långa ihåliga rör som ligger tätt intill varandra. På grund av denna uppbyggnad skiljer sig träets egenskaper beroende på aktuell riktning. Det finns tre huvudriktningar; fiberriktning som är längs fibrerna, radiell riktning som är vinkelrät mot fiberriktningen och årsringarna samt tangentiell riktning som är vinkelrät mot fiberriktningen men parallell med årsringarna (Burström, 2007).



Figur 5. Träets uppbyggnad.

3.5 Fuktskydd

Med fuktskydd menas ett material eller ett skikt som tar hand om inkommande fuktbelastningar så att konstruktionen inte får skador eller att konstruktionens funktion nedsätts (Petersson, 2009).

3.5.1 Ångspärr/Fuktspärr

Ångspärrens funktion är att minimera fukttransport i ångfas, både genom diffusion och genom konvektion. Den vanligaste ångspärren är plastfolie av transparent LD-polyeten). Ångspärren skall monteras på den varma sidan av isoleringen, helst så långt in som möjligt. Men då det är viktigt att det inte blir skador eller hål i ångspärren monteras den normalt en bit in (indragen ångspärr) på så sätt fås ett ”installationsskikt” där installationer kan läggas utan offra plastfolien. Fuktspärrens funktion är densamma som ångspärren men skall utöver ångspärrens funktion också hindra fukttransport i vätskefas, oftast i form av kapillärsugning. En vanlig typ av fuktspärr är HD-polyeten (Elmarsson och Nevander, 2006).

3.5.2 Ångbroms

Ibland kan en ångspärr ha så högt ånggenomgångsmotstånd att byggfukt kan stängas in i konstruktionen och inte ha möjlighet att torka ut. I det fallet kan det vara bättre med en ångspärr med lägre ånggenomgångsmotstånd, en sådan kallas ångbroms (Burström, 2007).

3.5.3 Ångpermeabilitet

Ett materials ångpermeabilitet/ånggenomsläpplighet varierar med den relativa fuktigheten. Ångpermeabiliteten är en transportkoefficient och betecknas δ_v .

Diffusion genom ett material sker i materialets porer, om den relativa fuktigheten är hög bildas fritt vatten i porerna som hindrar diffusionen. Den kappillära fukttransporten ökar däremot vid hög relativ fuktighet och med den ökar också ångpermeabiliteten (Burström, 2007).

$$\delta_v = \frac{D}{\mu} (m^2 / s)$$

D = transportkoefficienten i luft

μ = diffusionsmotståndsfaktor

Ungefärliga värden på ångpermeabiliteten för trä.

Material	Ångpermeabiliteten δ_v ($\cdot 10^{-6} m^2/s$)			
	Fuktområde RF (%)			
	35-70	70-80	80-90	90-95
Furu, gran $\perp$ fiberriktningen	0,2– 0,9	0,5 - 2,0	1,0 - 3,5	-
Gran tangentiellt fiberriktningen	0,25 – 0,45	0,6 – 1,1	1,1 – 2,3	1,5 – 2,7

(Burström, 2007)

3.5.4 Ånggenomgångsmotstånd

Hur mycket ånga som går igenom materialskiktet beror på dess ånggenomgångsmotstånd Z .

$$Z = \frac{d}{\delta} \text{ (s/m)}$$

d = materialskiktets tjocklek (m)

δ = materialskiktets ånggenomsläpplighet (m^2/s)

(Elmarsson och Nevander, 2006)

3.5.5 Problematik

Under en bostads livscykel, vare sig ett hus eller en lägenhet, byts ägare ut många gånger. Varje gång en ny ägare eller hyresgäst flyttar in betyder det att nya tavlor hängs upp, nya hyllor spikas upp, lampor och spotlights installeras i taken. Detta kan innebära att det går hål i fuktspärren, som i sin tur leder till att varm och fuktig luft får möjlighet att leta sig in i konstruktionen (Sjuka hus, 2012).

När varm luft inifrån kyls ner ute i konstruktionens yttre kalla delar kan luften inte innehålla lika mycket vatten längre utan en del av den fuktiga luften omvandlas till fritt vatten (kondens) som kan orsaka fuktskador inne i konstruktionen. Med en ångspärr som hindrar inomhusluften att ta sig in i konstruktionen kan kondens i byggnadsdelar förhindras (Jonsson et al, 2010).

3.5.6 Isovers ångspärrar

I de två för detta examensarbetet aktuella konstruktionerna ; Isover S.201 och Isover S.204 används två olika typer av ångspärrar, en traditionell ångspärr och en så kallad variabel ångbroms.

3.5.6.1 Isover Plastfolie

I ett vanligt ventilerat parallelltak (Isover S.201) används Isover Plastfolie:

			
Isover Plastfolie			
Material	Åldersbeständig polyeten	Ånggenomgångsmotstånd	$Z_v = 2,0 \times 10^{-6} \text{ s/m}$ $S_d = 50 \text{ m}$
Dimension	25000 x 2700 mm	CE-märkt	EN 13984
Tjocklek	0,2 mm		

Figur 6. Isover Plastfolie, materialegenskaper.

Isover Plastfolie är en ”åldersbeständig polyetenfolie för lufttätning och fuktsäkring i väggar, golv och tak” enligt Isovers produktbeskrivning. Ångspärren har som funktion att stoppa fuktvandring i form av både diffusion och konvektion (Isover 2, 2012).

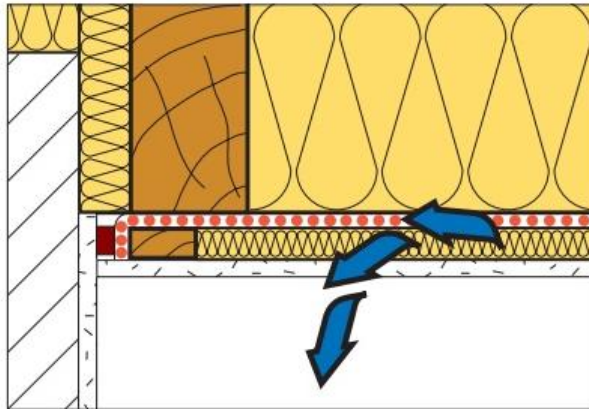
3.5.6.2 Isover Vario KM Duplex UV

I Isovers kompakta icke-ventilerade takkonstruktionslösning (S.204) används Isover Vario KM Duplex UV:

			
Isover Vario KM Duplex UV			
Material	Non-wovenförstärkt polyamidfolie	CE-märkt	EN 13984
Dimension	40000 x 1500 mm	UV-resistens	Exponeringstid upp till 18 mån.
Tjocklek	0,22 mm	Draghållfasthet, längs	$\geq 128 \text{ N/50 mm}$
Ånggenomgångsmotstånd	Vid låg relativ luftfuktighet: $Z_v = 200 \times 10^{-3} \text{ s/m}$ $S_d = 5 \text{ m}$ Vid hög relativ luftfuktighet: $Z_v = 12 \times 10^{-3} \text{ s/m}$ $S_d = 0,3 \text{ m}$	Draghållfasthet, tvärs	$\geq 116 \text{ N/50 mm}$
		Rivhållfasthet	$\geq 50 \text{ N}$
		Lagring	Vid temperaturer från -15 °C upp till +40 °C i öppnad förpackning

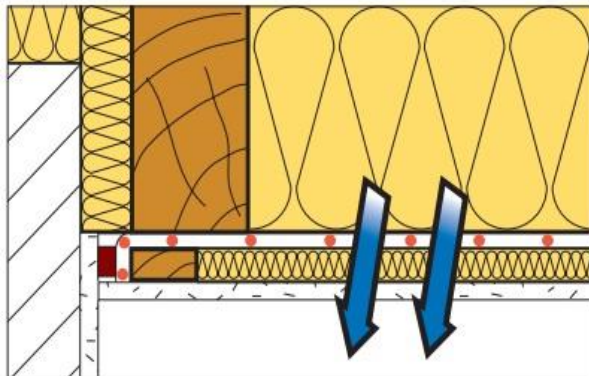
Figur 7. Isover Vario KM Duplex UV, materialegenskaper.

Isover Vario KM Duplex UV är en så kallad ”variabel” ångbroms med förmågan att variera ånggenomgångsmotståndet Z (s/m) utifrån luftens relativa luftfuktighet.



Vinter – ångbroms

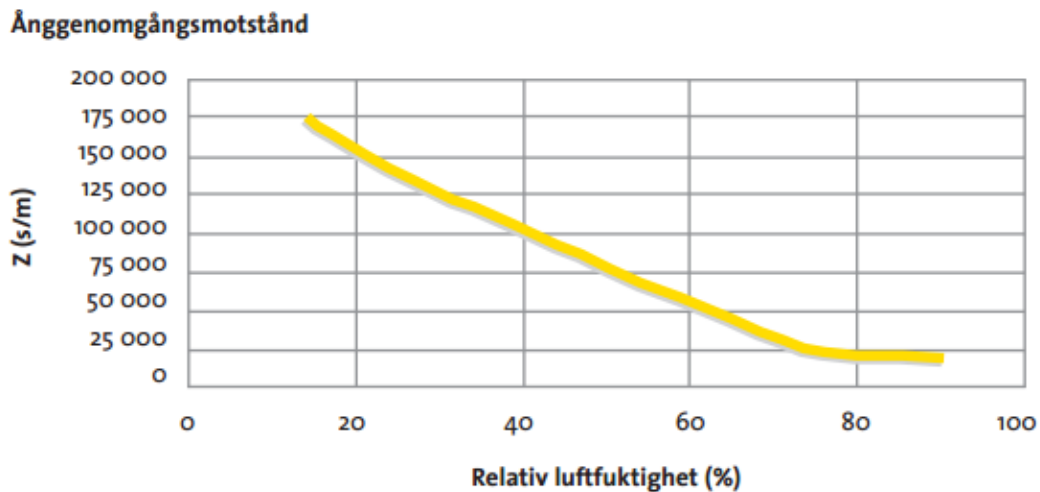
På vintern när relativa luftfuktigheten är låg inomhus har folien högt ånggenomgångsmotstånd som minskar risken att fuktig luft tränger in i konstruktionen.



Sommar – uttorkning

På sommaren när relativa luftfuktigheten är hög inomhus öppnar sig istället folien och tillåter fukt att torka ut inåt.

Figur 8 och 9. Vario KM Duplex UV variation.



Figur 10. Ånggenomgångsmotståndets variation beroende på den relativa fuktigheten, Isover Vario KM Duplex UV.

(Isover 2, 2012)

3.6 Tak

Ett tak har bland annat som uppgift att skydda mot olika former av nederbörd, att i så stor utsträckning som möjligt motverka isbildning och att förhindra kondensation. För att ett tak skall fungera på rätt sätt måste det utföras på ett

fukttekniskt korrekt sätt samt underhållas regelbundet efter byggnation (Elmarsson och Nevander, 2006).

3.6.1 Fuktproblem i tak

3.6.1.1 Fukt inifrån.

Fuktproduktionen inomhus kommer t.ex. från torkning av tvätt och kondensation från matlagning. Fukt som tränger upp i takkonstruktionen sker antingen genom diffusion eller genom konvektion. Diffusion kan ske om ånghalten är högre i det varma taket än utomhus. Konvektion kan ske om det finns ett övertryck i det varma taket, vilket vanligtvis är fallet under vinterhalvåret på grund av den termiska drivkraften, och är en vanlig orsak till skador i tak (Sandin, 2010).

3.6.1.2 Fukt utifrån

Den vanligaste fuktkällan för tak är nederbörd. Oftast klarar ett tak av stora mängder nederbörd genom att takpannor och dylikt låter nederbörden rinna av taket, speciellt vid stor taklutning. Men om det samtidigt blåser (slagregn) kan vatten tränga in under takpannorna vilket kan orsaka problem om underlagstaket inte är helt vattentätt. Vare sig det handlar om regn eller snö så är alla anslutningar på taket känsliga för läckage (Sandin, 2010).

3.6.1.3 Byggfukt

I vissa typer av tak kan byggfukthalten vara hög, det gäller främst autoklaverad lättbetong, men även andra material kan innehålla stora mängder fukt vid byggnation på grund av olämplig hantering eller lagring av materialet. Om det finns stora mängder byggfukt i byggnaden i övrigt kan denna fukt transporteras upp i taket (Sandin, 2010).

3.6.1.4 Sommarkondens

Då det regnar på takpannor i tegel är det inte ovanligt att skalet på taket innehåller 100 % RF en längre period. När solen sedan skiner på takets blöta skal diffunderar fukten inåt och kondenserar vid tätskiktet. Detta fenomen kallas sommarkondens (Elmarsson och Nevander, 2006).

3.6.2 Varma och kalla tak

Inom byggnadsfysiken skiljer man på *varma* och *kalla* tak. Med varmt tak menas ett tak utan vindsutrymme, själva taket är klimatskalet och skiljer det uppvärmda huset från uteklimatet. Ett kallt tak har ett väl ventilerat vindsutrymme mellan klimatskalet och det uppvärmda huset, i princip kan klimatet i vindsutrymmet och uteklimatet vara samma. Värmen som kommer

inifrån ventileras bort i vindsutrymmet så att uppvärmning av yttertaket minimeras.

Ett vanligt problem med varma tak är att eventuell snöbildning på taket kan smälta underifrån vilket medför att taket utsätts för i princip stående vatten som kan ta sig in i konstruktionen genom små sprickor eller otätheter och orsaka fuktproblem. Det kalla taket har fördelen att värmen kan ventileras bort och yttertaket smälter då ingen snö. All värme ventileras dock inte bort, det skulle vara en omöjlighet. Dock måste det ställas mycket höga krav på lufttätheten i vindsbjälklaget i kalla tak så att fuktproblem inte uppstår i vindsutrymmet när varm fuktig luft letar sig upp i det kalla utrymmet (Sandin, 2010).

3.6.3 Ventilerat parallelltak och icke-ventilerat kompakt tak

Det förekommer många olika takformer, t.ex. sadeltak, pulpettak, motfallstak. Man talar också om *kompakt tak* och *parallelltak*. Det ventilerade parallelltaket fungerar lite som en blandning av det varma och det kalla taket. Det fungerar mer som ett kallt tak om det finns en väl tilltagen ventilerad luftspalt som då fungerar som det kalla takets vindsutrymme. Om ventilationen däremot är liten eller obefintlig fungerar parallelltaket som ett varmt tak.

Vanligtvis byggs parallelltak med en luftspalt som har som uppgift att ventileras bort (begränsad mängd) fukt. Mellan värmeisoleringen och luftspalten bör en fuktbeständig skiva monteras. Det är också mycket viktigt att lufttätning under isoleringen fungerar som den ska då det annars finns risk för att varm fuktig luft letar sig upp i takkonstruktionen.

Ibland kan man bygga parallelltak utan luftspalt, detta kallas då för kompakt tak. Parallelltak utan ventilation ställer mycket stora krav på lufttätning och man måste då ha ett diffusionsöppet underlagstak för att fukten ska kunna torka ut inåt om nödvändigt (Sandin, 2010).

3.6.4 Solstrålning på tak och valet av färg

3.6.4.1 Kortvågig strålning

En ytas förmåga att absorbera solljus (kortvågig strålning) beror på färg och material. Ett materials absorptans för kortvågig strålning betecknas α_{ks} .

Som exempel kan ges yttertakets material/färg:

vita/ljusa $\alpha_{ks} \approx 0,3$

röda $\alpha_{ks} \approx 0,7$

svart/mörka $\alpha_{ks} \approx 0,9$

(Dybro, 2011 och WUFI Pro 5.0 Online Help, 2009)

Alltså är den absorberade strålningen mindre och temperaturen är lägre på ett ljust tak, medan den absorberade strålningen är stor och temperaturen hög på ett mörkt tak.

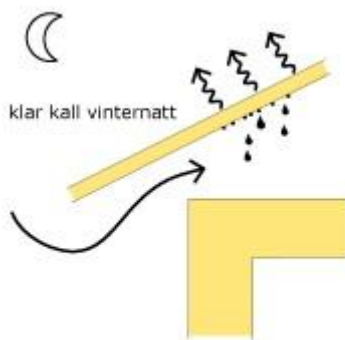
En ytas förmåga att absorbera värmeeffekt beror på ytans absorptans och på vinkeln som ljuset strålar mot ytan enligt:

$$q = \alpha_{ks} \cdot l_0 \cdot \cos\varphi \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Om solen strålar direkt på ett tak i Sverige blir strålningen maximalt omkring 800-900 W/m², molniga eller dimmiga dagar blir strålningen avsevärt mindre (Sandin, 2010).

3.6.4.2 Långvågig nattutstrålning

Temperaturen på en takyta kan på grund av nattutstrålning bli lägre än uteluftstemperaturen. Under kalla och klara nätter kyls ytor som vetter mot himlen ner av långvågigt strålningsutbyte med himlen eftersom himlens motstrålande temperatur kan vara mycket lägre än uteluftens temperatur. Detta resulterar i att takets ytteryta och inneryta blir väsentligt kallare än utetemperaturen. Fenomenet innebär att ett yttertak kan frostbeläggas trots att temperaturen inte varit under 0 °C. En kall inneryta på taket medför risk för kondens. Nattutstrålning är värst för horisontella ytor som vetter mot norr (Petersson, 2009).

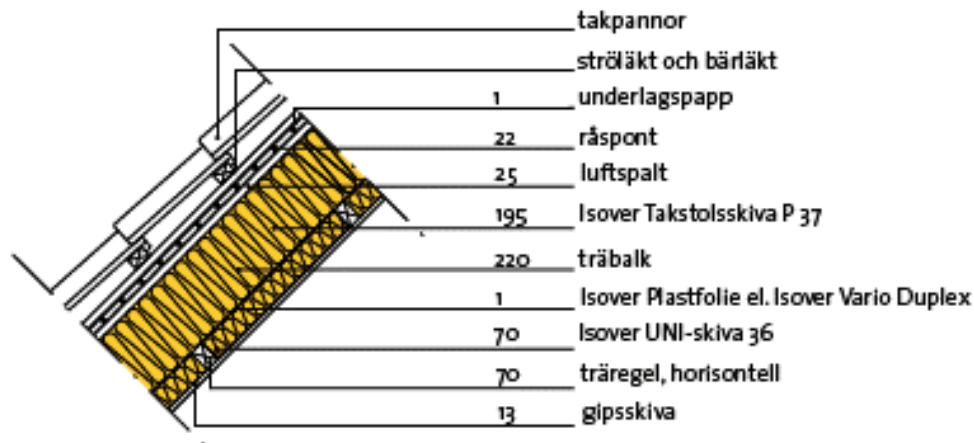


Figur 11. Kondens eller frost på grund av nattutstrålning.

3.6.5 Isovers taklösningar

3.6.5.1 Isovers takkonstruktion S.201

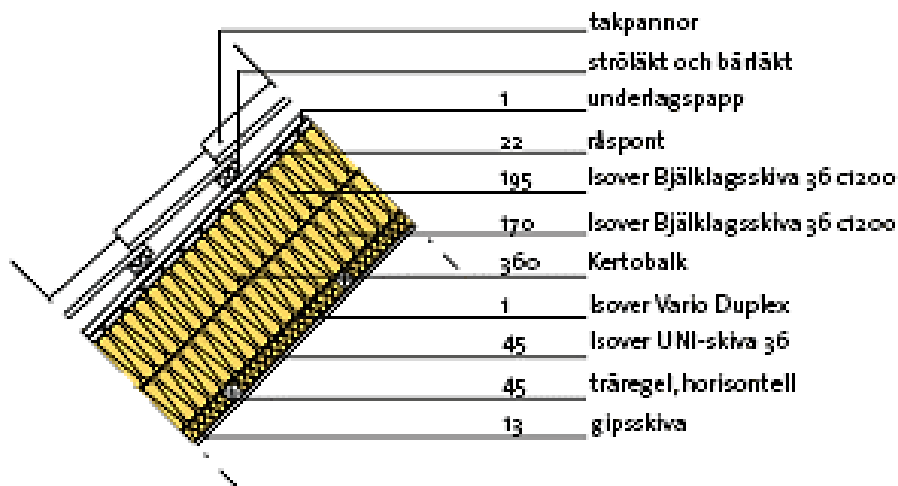
Denna takkonstruktion är ett traditionellt ventilerat parallelltak med stomme i trä.



Figur 12. Isover takkonstruktion S.201.

3.6.5.2 Isovers takkonstruktion S.204

Denna takkonstruktion är ett icke-ventilerat kompakt tak med stomme i trä och med en variabel ångbroms som tillåter sig att ändra ånggenomgångskoefficient beroende av RF.



Figur 13. Isovers takkonstruktion S.204.

3.7 Programmet WUFI

WUFI är ett program för beräkning av fuktförhållanden i konstruktioner. Programmet är utvecklat vid Fraunhofer Institut für Bauphysik i Tyskland och WUFI står för Wärme und Feuchte instationär. Den svenska versionen är utvecklad i samarbete med Lunds Tekniska Högskola. Programmet finns i en endimensionell och en tvådimensionell version, det som skiljer dessa två versioner åt är bland annat att det i den tvådimensionella versionen är möjligt att beräkna geometriska köldbryggor (WUFI, 2012).

I programmet går det att beräkna icke-stationära värme- och fuktförhållanden i konstruktioner som består av flera skikt och med varierande yttre förutsättningar som vind, regn, solinstrålning, temperatur och relativ fuktighet. Konstruktionen byggs upp med de ingående materialen som finns att hämta i materialdatabasen i programmet. Därefter kan diverse inställningar för konstruktionen ställas in som orientering, lutning, ytövergångskoefficienter, begynnelsefuktighet och begynnelsestemperatur för den specifika byggnadsdelen.

När all indata för konstruktionen är inlagd väljs vad som ska beräknas. De alternativ som finns är att antingen utföra en fukttransportberäkning eller en värmetransportberäkning. De kan utföras samtidigt eller separat. Därefter väljs vilket klimat byggnadsdelen befinner sig i. I WUFI finns färdiga klimatdatafiler men också möjligheten att skapa egna. När beräkningen sedan utförs räknar programmet alltid med minst tre år. Inomhusklimatet går att simulera på fyra olika sätt, antingen med hjälp av en sinuskurva eller genom standarder. För sinuskurvan finns det fyra olika alternativ att välja mellan; låg fuktbelastning, normal fuktbelastning, hög fuktbelastning eller användardefinierade parametrar.

De tre olika standarderna är DIN EN ISO 13788, prEN 15026 och ASHRAE Standard 160P. I EN 13788 sätts en konstant inomhustemperatur och sedan väljs en av fyra fuktklasser. Fuktklassen bestämmer den fuktlast som finns uttryckt i (g/m^3) och beror av utomhustemperaturen, WUFI framställer inneklimatet med hjälp av algoritmen i standarden SS-EN 13788. I EN 15026 går det att välja mellan normal fuktbelastning eller hög fuktbelastning. ASHRAE 160 bygger på en amerikansk standard och i denna finns det möjlighet att göra många inställningar för inneklimatet då det förutsätts att det finns en klimatanläggning.

När hela uppbyggnaden är klar finns det möjlighet att lägga in en fuktkälla eller en källa för luftomsättning, dessa kan placeras mellan materialskikt eller i materialskikt. Efter beräkningar går det att avläsa hur källan har påverkat

materialet genom att titta på resultat angivet i fukthalt och relativ fuktighet i materialet (WUFI Pro 5.0 Online Help, 2009).

3.7.1 Begränsningar i WUFI

Beräkningarna i WUFI Pro 5.1 har genomförts endimensionellt trots att konstruktionen i verkligheten är tredimensionell och därför är resultaten approximativa.

Det är inte möjligt att lägga in ett hål i ångspärren i programmet och därför måste en fuktkälla läggas in som skapar ett liknande klimat som ett hål skulle åstadkomma. Detta är en approximation och kommer därför inte helt motsvara verkligheten.

När för stora hål (för stor fuktkälla) läggs in i det ventilerade parallelltaket klarar programmet inte av att genomföra beräkningen. Materialsiktet som ska likna luftspalten i verkligheten består av *"Air layer 25 mm; without additional moisture capacity"* det vill säga ingen extra kapacitet att ta upp fukt. Detta gör att programmet får det numeriskt svårt att genomföra beräkningarna. För att lyckas simulera måste en annan typ av luftmaterial läggas in i luftspalten, så kallad *"Air layer 25 mm"*. Det speciella med luftmaterialet är att det kan hantera mer fukt, till och med bli helt vattenfylld, då porositeten är 0,999 istället för 0,001. Men för att i så stor utsträckning som möjligt efterlikna verkligheten har mängden av detta luftmaterial begränsats till det minsta som tillåter programmet att simulera klart. Specialluft har lagts i två tunna skikt före och efter den *"vanliga"* luften för att beräkningarna ska gå följsammare, men den sammanlagda bredden av luftspalten blir fortfarande 25 mm (enligt Petter Wallentén).

I materialdatabasen finns inte alltid de material som behövs. Ofta finns det liknande material men det är viktigt att kontrollera att det valda materialets egenskaper inte skiljer sig för mycket jämfört med det material som finns i konstruktionen i verkligheten för att få så verklighetstroga resultat som möjligt.

3.8 Dosmodellen

Dosmodellen är en mögelpåväxtmodell framtagen och utvecklad vid avdelningen för konstruktionsteknik vid LTH av Hannu Viitanen. Modellen är kontrollerad mot testdata från experiment som undersökt hur mögel uppstår på trämaterial. Modellen baseras på en mögelindexskala som anger graden av hur mycket synligt mögel det finns på materialet enligt:

Index Mögelpåväxt

0	Ingen påväxt
1	Spår av påväxt upptäcks i mikroskop
2	Måttlig påväxt upptäcks i mikroskop (täcker 10-25%)
3	Spår av påväxt upptäcks med blotta ögat (täcker under 10%)
4	Påväxt kan ses med blotta ögat (täcker 10-50%)
5	Påväxt kan ses med blotta ögat (täcker över 50%)
6	Mycket stor påväxt (täcker 100%)

Ett tydligt gränstillstånd kan ses vid mögelindex 1, där gränsen går för tillåten mögelpåväxt. Materialets förmåga att motstå angrepp i form av mögel är då mindre än det rådande klimatets påverkan.

De parametrar som behövs för att beräkna mögelindex med hjälp av dosmodellen är temperatur och relativ fuktighet hos materialet i fråga. Dessa parametrar erhålls som ”utdata” ifrån simuleringarna i WUFI Pro 5.1 i form av temperatur och relativ fuktighet i mineralullen där det i praktiken ligger trä. Från modellen fås en ”dos” av mögel som uppstår vid rådande klimat, dosen från temperaturpåverkan och dosen från påverkan av relativ fuktighet multipliceras till en total dos enligt:

$$D = D_T \cdot D_\varphi$$

$$D_\varphi(\varphi) = \begin{cases} e^{(15,53 \cdot \ln(\frac{\varphi}{90}))}; 75 < \varphi \leq 100\% \\ (-2,7 + 1,1 \frac{\varphi}{30}); 60 < \varphi < 75\% \\ -0,5; \varphi < 60\% \end{cases}$$

$$D_T(T) = e^{(0,74 \cdot \ln(\frac{T}{20}))}; 0,1 < T \leq 30^\circ\text{C}$$

$$D(T, \varphi) = -0,5; T < 0,1^\circ\text{C}$$

Utifrån de angivna formlerna räknas ett dygnsmedelvärde på temperatur och relativ fuktighet ut och doser erhålls varje dygn under en nioårsperiod. Den totala dosen ackumuleras då varje dygn och divideras sedan med ett materialspecifikt värde. Detta värde är för det aktuella materialet gran, 38 (se avsnitt 4.3.1.1 för uppbyggnad av konstruktionerna i WUFI Pro 5.1).

Modellen är utformad så att negativa värden kan erhållas, detta betyder att modellen tillåter möglet att gå tillbaka om för möglet ogynnsamma förhållanden uppstår. Den totala ackumulerade dosen kan dock aldrig bli mindre än noll (Isaksson och Thelandersson, 2010).

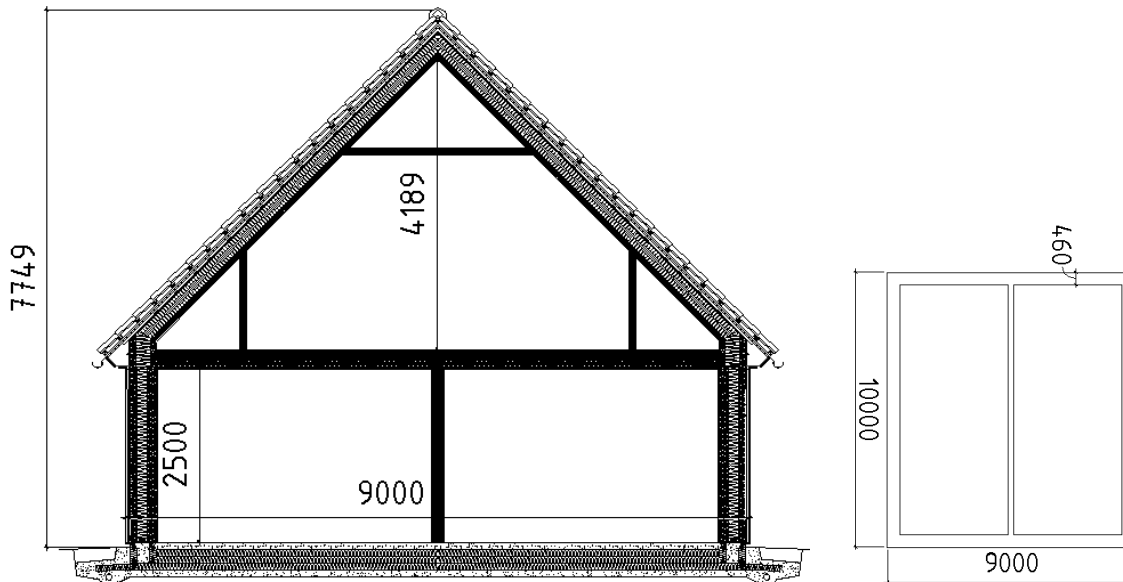
3.8.1 Begränsningar i Dosmodellen

Dosmodellen är byggd på ett dygnsmedelvärde som inte tar hänsyn till variationerna mellan dag och natt, ett 12-timmarsmedelvärde hade varit bättre för just taksimuleringar då stora variationer i temperatur och fukt kan ske under ett dygn. En sådan modell är under utveckling vid Lunds tekniska högskola.

Modellen ger resultat i form av ett siffervärde, en så kallad riskfaktor, på så sätt kan man se om konstruktionen i fråga är acceptabel eller inte utifrån fuktsynpunkt, men någon indikation på varför tillväxt sker eller inte kan inte ses i modellen utan detta måste utvärderas och testas genom att titta på klimatdata och simuleringar.

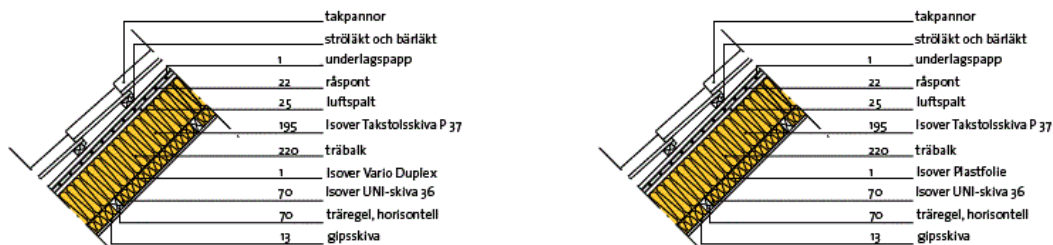
4 Genomförande

Det aktuella huset som undersöks är en 1,5-plansvilla med mått enligt nedanstående ritning:

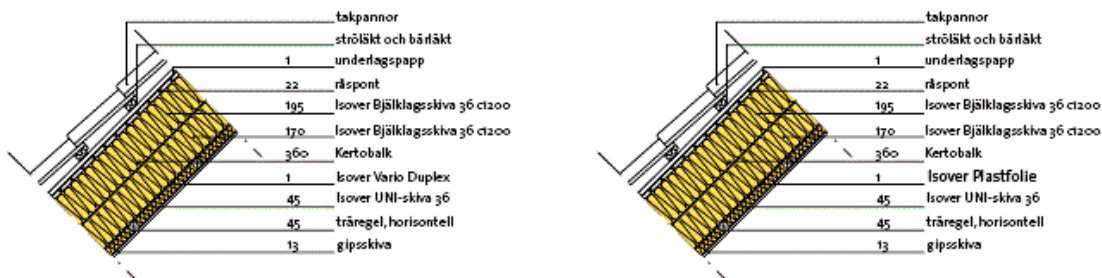


Figur 14. Sektionsritning och planritning (mm).

De två olika takkonstruktionerna och de två olika ångspärrarna innebär fyra olika konstruktioner som ska undersökas:



Figur 15. Ventilerat snedtak med glasullskivor och Isover Vario KM DuplexUV respektive Isover Plastfolie (S.201).



Figur 16. Icke-ventilerat snedtak med glasullskivor och Isover Vario KM Duplex UV, respektive Isover Plastfolie (S.204).

4.1 Randvillkor

4.1.1 Klimatdata

Klimatdata innehåller mätningar varje timme under nio år och består av:

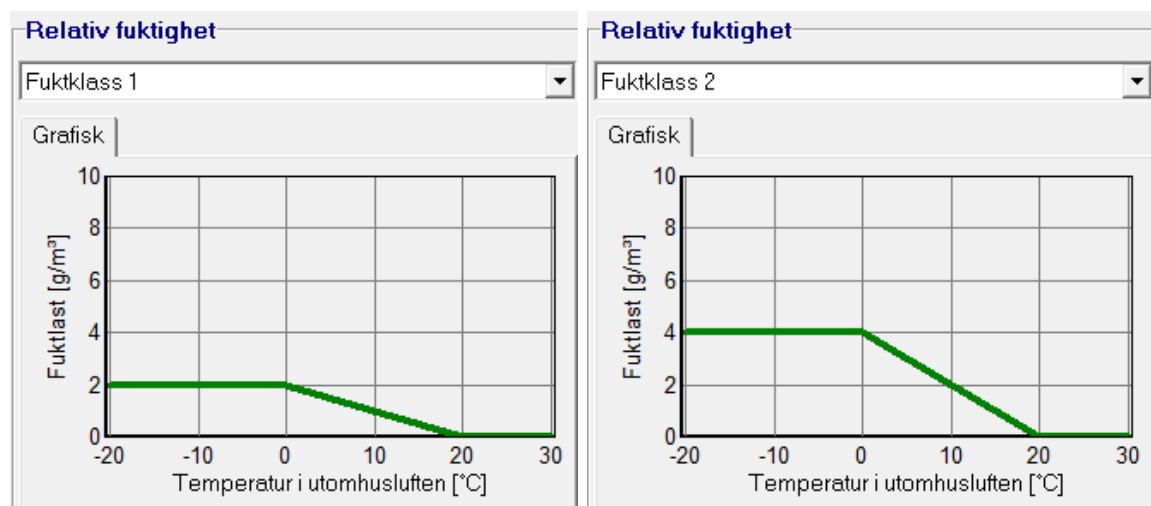
- TA – Temperatur utomhus ($^{\circ}\text{C}$)
- HREL – Relativ fuktighet (–)
- ISGH – Global kortvågig strålning (W/m^2)
- ISD – Diffus kortvågig strålning (W/m^2)
- ILAH – Atmosfärisk långvågig strålning (W/m^2)
- RN – Nederbörds mängd (mm/h)
- WD – Vindriktning ($^{\circ}$)
- WS – Vindhastighet (m/s)

Klimatet är från åren 1990-1998.

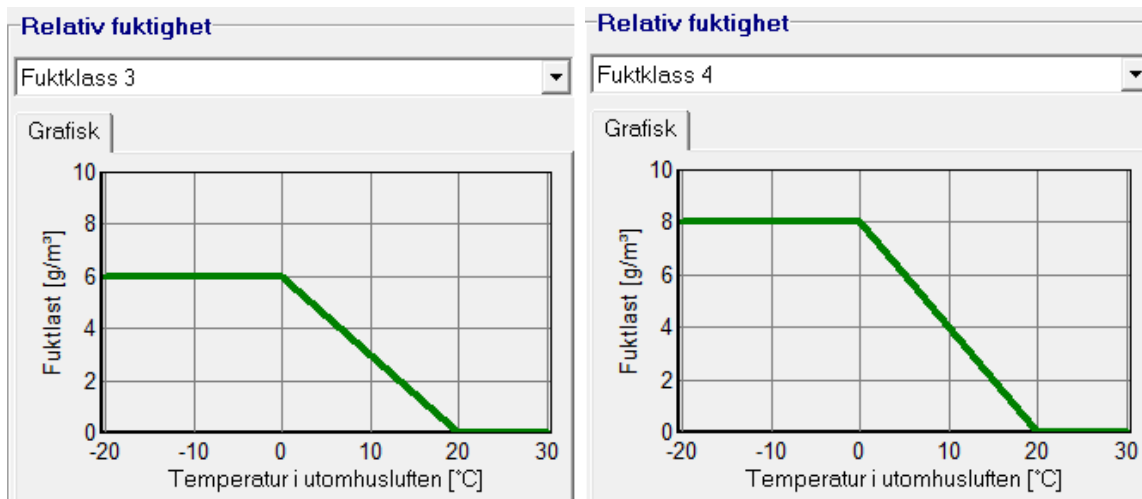
4.1.2 Fuktklasser

I programmet WUFI Pro 5.1 används standarden EN 13788 (se avsnitt 3.7). Fuktklassen som väljs i programmet beror av utomhusklimatet och det finns fyra olika klasser att välja mellan. I fuktklass 1 har den initiala fuktlasten: $2 \text{ g}/\text{m}^3$, fuktklass 2: $4 \text{ g}/\text{m}^3$, fuktklass 3: $6 \text{ g}/\text{m}^3$ och fuktklass 4: $8 \text{ g}/\text{m}^3$. Den initiala fuktlasten gäller vid temperaturer under 0°C , därefter sjunker fuktlasten i rät linje till temperaturen 20°C , då är fuktlasten $0 \text{ g}/\text{m}^3$.

En vanlig bostad har ett fukttillskott mellan $2 - 4 \text{ g}/\text{m}^3$ (Sandin, 2010) och därför har fuktklass 1 och fuktklass 2 valts.



Figur 17. Fuktklass 1 och 2.



Figur 18. Fuktklass 3 och 4.

4.2 Handberäkningar

Utifrån klimatdata för Lund och Luleå görs beräkningar för att ta fram ett fuktflöde genom de tre olika hålstorlekarna.

4.2.1 Hålstorlekar

För beräkningarna används tre olika hålstorlekar:

$d_A = 80 \text{ mm}$	beräknas som 0,236 hål per m^2 takarea
$d_B = 12 \text{ mm}$	beräknas som ett hål per m^2 takarea
$d_C = 5 \text{ mm}$	beräknas som ett hål per m^2 takarea

d_A är håltagningsdiametern på en standard takspotlight, i beräkningarna antogs det finnas 30 stycken spotlights i det aktuella taket på $127,3 \text{ m}^2$, alltså 0,236 hål per m^2 takarea. d_B är lufttäthetskravet från BBR 94 omräknat till en håldiameter (se beräkning nedan) och d_C är ett litet hål som kan uppkomma på grund av slarv eller liknande.

Hålet d_B ges av:

Lufttäthet enligt BBRs *gamla* krav på $0,8 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ vid 50 Pa övertryck eller undertryck ger att ett hål med diameter d per m^2 enligt nedan kan tolereras i huset:

$$0,8 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) = 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

EKV. 73.8b (Elmarsson och Nevander, 2006):

$$\Delta P = \frac{32 \cdot \eta \cdot L}{d^2} \left(\frac{R}{A} \right) + \xi \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{R}{A} \right)^2$$

$$\Delta P = \frac{32 \cdot \eta \cdot L}{d^2} \left(\frac{R \cdot 4}{\pi \cdot d^2} \right) + \xi \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{R \cdot 4}{\pi \cdot d^2} \right)^2$$

$$\eta = 18,1 \cdot 10^{-6} \text{ (Ns/m}^2\text{)}$$

$$L = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ (m)}$$

$$\Delta P = 50 \text{ (Pa)}$$

$$\xi = 1,8 \text{ (-)}$$

$$\rho = 1,2 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\Delta P = \frac{32 \cdot \eta \cdot L \cdot R \cdot 4}{\pi \cdot d^4} + \frac{\xi \cdot \rho \cdot R^2 \cdot 8}{d^4 \cdot \pi^2}$$

$$\Delta P = \frac{\pi \cdot 32 \cdot \eta \cdot L \cdot R \cdot 4 + \xi \cdot \rho \cdot R^2 \cdot 8}{\pi^2 \cdot d^4}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{\pi \cdot 32 \cdot \eta \cdot L \cdot R \cdot 4 + \xi \cdot \rho \cdot R^2 \cdot 8}{\pi^2 \cdot \Delta P}}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{\pi \cdot 32 \cdot 18,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,001 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot 4 + 1,8 \cdot 1,2 \cdot (8 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8}{\pi^2 \cdot 50}}$$

$$d = 0,012236 \text{ m} \approx 12 \text{ mm}$$

4.2.2 Tryckfallsberäkningar

Luftflöden orsakas av tryckskillnader. Tryckskillnader över ett hus beror i sin tur på vind, temperaturskillnader (termisk drivkraft) eller ventilationssystemet (mekanisk drivkraft) enligt Sandin, 1988:

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_{vind} + \Delta P_{termisk} + \Delta P_{vent}$$

4.2.2.1 ΔP_{vind}

Vindhastigheten kan variera kraftigt med tiden, stora variationer är normalt. Normalt anges vindhastigheten u (m/s) som ett medelvärde under ett 10-minutersintervall. När vinden blåser mot en byggnad skapas ett övertryck och/eller ett undertryck (sug) på byggnaden. Det uppstår oftast ett övertryck på lovartfasaden och ett undertryck på läsidan i luftströmmens riktning, detta gäller även på branta tak. Om en byggnad har jämt fördelade otätheter blir det normalt sätt undertryck inomhus, övertryck inomhus kan bero på större otätheter på lovartsidan (Sandin, 1988). Tryckskillnaden över en byggnadsdel på grund av vind beskrivs enligt:

EKV L2:4 (Sandin, 1988):

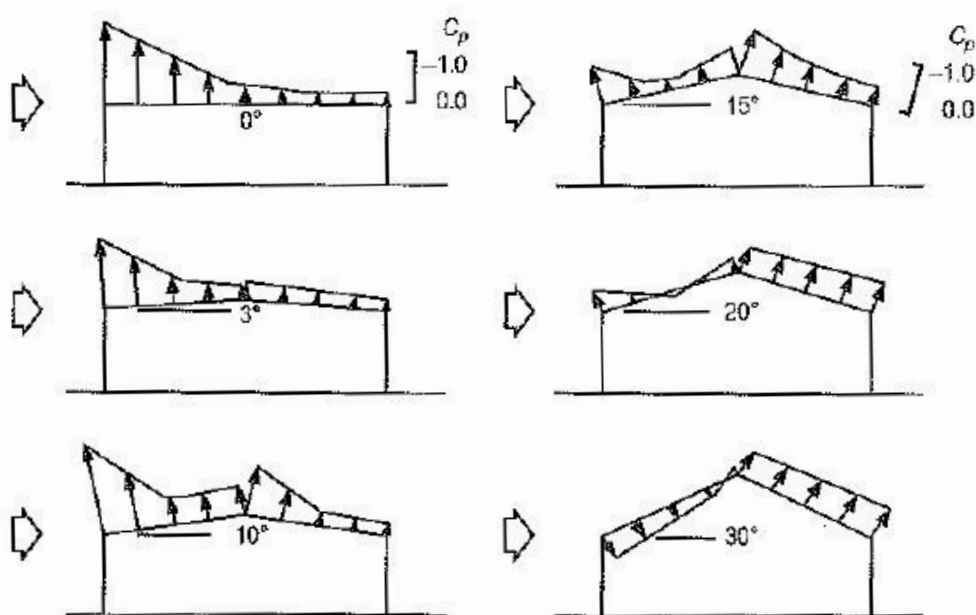
$$\Delta P_{vind} = (\mu_{yttre} - \mu_{inre}) \cdot \frac{\rho \cdot u_0^2}{2}$$

μ = formfaktor (-)

ρ = luftens densitet (kg/m³)

u_0 = vindhastighet (m/s)

Formfaktorn μ_{yttre} varierar beroende på byggnadens utformning och vindriktningen, det blir också olika värden beroende på var på byggnaden man tittar. Formfaktorn μ_{inre} sätts till det mest ogynnsamma värdet av 0,2 eller -0,3 (Isaksson och Mårtensson, 2010).



Figur 19. Formfaktorer på tak med olika lutningar, ASHRAE.

Enligt figur 19 är formfaktorn $\approx -0,5$ för tak med 30° lutning. I examensarbetet antas att formfaktorn $\approx -0,7$ för tak med 45° lutning. Detta är en approximation då 45° lutning inte finns med i underlaget.

$$\mu_{yttre} = -0,7$$

(ASHRAE, 2005)

$\mu_{inre} = 0,2$ Detta är det mest ogynnsamma värdet med hänsyn till luft som transporteras inifrån och ut i konstruktionen (Isaksson och Mårtensson, 2010).

Först beräknas tryckdifferensen över huset på grund av ventilation, termisk drivkraft och vind. Med hjälp av klimatdata kan den totala tryckdifferensen över huset erhållas och användas för att beräkna luftflödet per timme genom de olika hålstorlekarna.

4.2.2.2 $\Delta P_{termisk}$

EKV L2:5 (Sandin, 1988):

$$\Delta P_{termisk} = g_g \cdot (\rho(T_{ute}) - \rho(T_{inne})) \cdot h$$

$$g_g = 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$h = 7,749 \text{ (m) enligt ritning}$$

Samband mellan densitet och temperatur:

EKV 41.10 (Elmandersson och Nevander, 2006):

$$T_{ute} \cdot \rho_{ute} = T_{inne} \cdot \rho_{inne}$$

$$T_{inne} = 20^\circ\text{C}$$

$$\rho(20^\circ\text{C}) = 1,2 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\rho_{ute} = \frac{1,2 \cdot 293,15}{T_{ute}}$$

4.2.2.3 ΔP_{vent}

Eftersom huset anses vara välisolerat så blir tryckskillnaden på grund av ventilation noll.

$$\Delta P_{vent} = 0$$

4.2.3 Luftflödesberäkningar

Beräkningar för att komma fram till luftflödena är approximativa och tar inte hänsyn till luftflödesmotstånden i taken. Storleken på flödena kan skilja sig åt för de två olika takkonstruktionerna men har antagits till ett och samma flöde.

EKV. 73.8b (Elmarsson och Nevander, 2006):

$$\Delta P = \frac{32 \cdot \eta \cdot L}{d^2} \left(\frac{R}{A} \right) + \xi \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{R}{A} \right)^2$$
$$R^2 + \frac{32 \cdot \eta \cdot L \cdot A \cdot 2 \cdot R}{d^2 \cdot \xi \cdot \rho} - \frac{\Delta P \cdot 2 \cdot A^2}{\xi \cdot \rho} = 0$$

$$\eta = 18,1 \cdot 10^{-6} \text{ (Ns/m}^2\text{)}$$

$$L = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ (m)}$$

$$\Delta P = \Delta P_{vent} + \Delta P_{termisk} + \Delta P_{vind} \text{ (Pa)}$$

Här har antagits att hela tryckfallet sker över folien. I det icke-ventilerade kompakta taket sker förmodligen en del av tryckfallet över takpappen.

$$\xi = 1,8 \text{ (-)}$$

$$\rho = 1,2 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

R löses ut med hjälp av pq-formeln:

$$R = -\frac{32 \cdot \eta \cdot L \cdot A}{d^2 \cdot \xi \cdot \rho} \pm \sqrt{\left(\frac{32 \cdot \eta \cdot L \cdot A}{d^2 \cdot \xi \cdot \rho} \right)^2 + \frac{\Delta P \cdot 2 \cdot A^2}{\xi \cdot \rho}}$$

Ur formeln fås en positiv och en negativ rot, de negativa flödena bortses ifrån eftersom WUFI inte kan analysera negativa värden. Totalt erhålls tre olika luftflöden, R , beroende av de tre olika hålen.

4.2.4 Fuktflödesberäkningar

För att beräkna den fuktkälla som ska sättas in i WUFI Pro 5.1 behövs fuktflödet G timme för timme enligt:

EKV. 73.10b (Elmarsson och Nevander, 2006):

$$G = R \cdot (v_i - v_m)$$

v_i = ånghalten inomhus

v_m = ånghalten i mineralullen

Ånghalten i mineralullen beräknas enligt:

$$v_m = v_s(T_m) \cdot \varphi_m$$

EKV. 41.14b (Elmarsson och Nevander, 2006):

$$v_s(T_m) = p_s(T_m) \cdot \frac{M_v}{R_k \cdot (273,15 + T_m)}$$

EKV. 41.14a (Elmarsson och Nevander, 2006):

$$p_s(T_m) = a \cdot \left(b + \frac{T_m}{100}\right)^n$$

$$0^\circ\text{C} \leq T_m \leq 30^\circ\text{C} \quad a = 288,68 \text{ Pa} \quad b = 1,098 \quad n = 8,02$$

$$-20^\circ\text{C} \leq T_m \leq 0^\circ\text{C} \quad a = 4,689 \text{ Pa} \quad b = 1,486 \quad n = 12,3$$

$$M_v = 18,02 \text{ (kg/kmol)}$$

$$R_k = 8314,3 \text{ (J/kmol} \cdot \text{K)}$$

Mättnadsånghalten i mineralullen $v_s(T_m)$ används sedan för att beräkna ånghalten i mineralullen v_m timme för timme enligt ovanstående formel.

Fuktflödet, G , varierar på grund av att ånghalten i mineralullen v_m är olika för varje konstruktionsuppbyggnad. Skillnaden i ånghalt beror på variationer i relativ fuktighet och temperatur hos mineralullen, vilket i sin tur kan härledas till konstruktionens uppbyggnad och rådande inomhusklimat. Totalt erhålls 48 olika fuktflöden, 24 för Lund och 24 för Luleå.

När vi beräknar fuktflödena genom de tre olika hålen fås vissa negativa flöden, vilket betyder att det är torrare luft som tar sig in i konstruktionen än den som redan finns i mineralullen, istället för att låta konstruktionen torka ut under dessa tillfällen sätts detta flöde till noll och vi får då en elakare bild av vad som händer för att vara på säkra sidan. Om mineralullen torkar ut genom hålet är inte intressant.

Fuktflödet, G , anges i (kg/s) och i WUFI skall fuktkällan anges i $(kg/m^2 \cdot s)$. Därför fås resultaten som per m^2 takarea. Timvis läggs fuktkällan in i WUFI som "transient fuktkälla från fil", fuktkällan placeras invid plastfolien där det antagna hålet finns och bredds ut över 70 % av mineralullskiktet eftersom den fuktiga luften som tar sig in i konstruktionen inte bara stannar precis vid hålet.

4.3 Simulering

4.3.1 WUFI

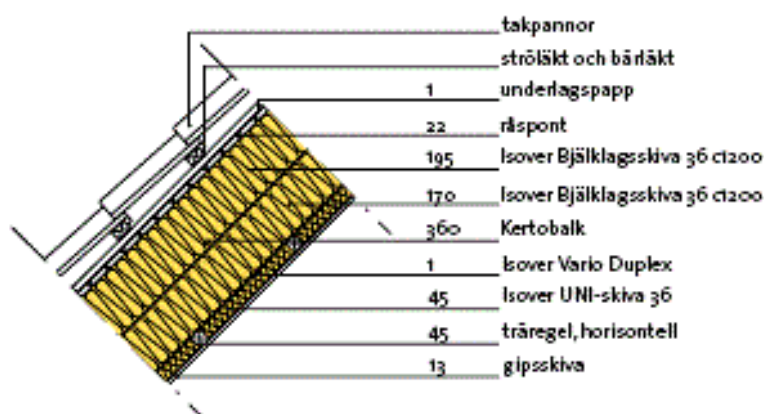
Modellering av takkonstruktionerna

Fyra olika konstruktioner simuleras i WUFI. Totalt blir det 144 simuleringar för Lund och 144 för Luleå.

Programmet består av tre kategorier; konstruktion, inställningar och klimat som i sin tur har diverse underkategorier. Följande inställningar har gjorts i programmet.

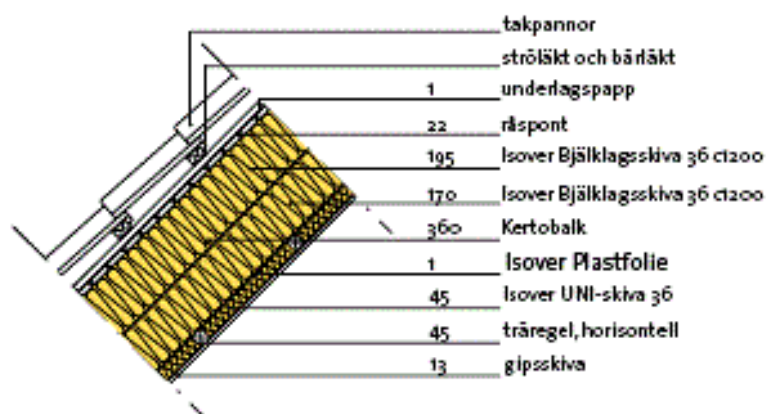
4.3.1.1 Konstruktioner

Icke-ventilerat snedtak med glasullskivor och Isover Vario KM Duplex UV (S.204)



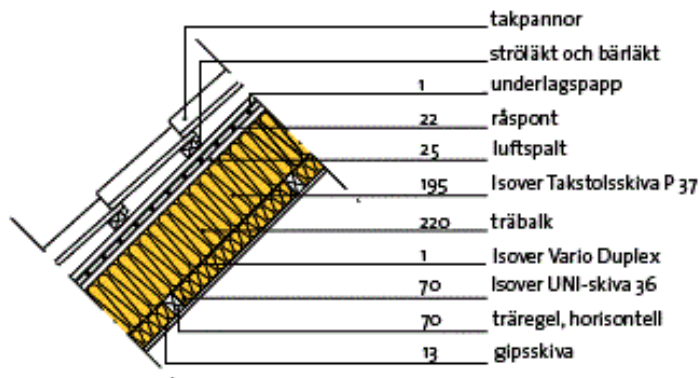
Material	Tjocklek [m]	Material i WUFI
Takpannor		-
Ströläkt och bärläkt		-
Underlagspapp	0,001	PVC Roof Membrane
Råspont	0,022	Gran, tangentiellt
Isover bjälklagsskiva 36	0,360	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)
Kertobalk	0,360	-
Isover Vario KM Duplex UV	0,001	Vario KM Duplex
Isover UNI-skiva 36	0,045	Mineral Wool (heat conductivity: 0,04 W/mK)
Träregel	0,045	-
Gipsskiva	0,013	Gipsskiva invändig

Icke-ventilerat snedtak med glasullskivor och Isover plastfolie (S.204)



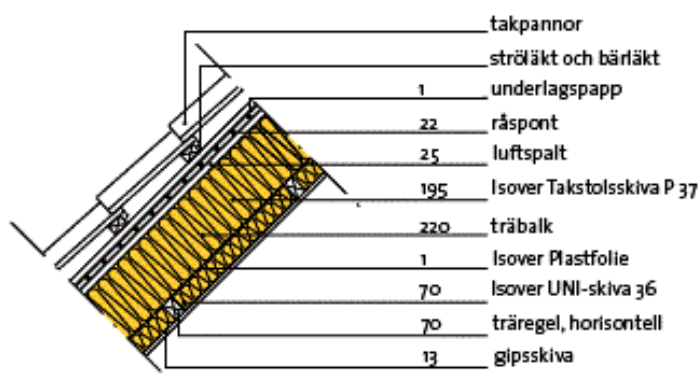
Material	Tjocklek [m]	Material i WUFI
Takpannor		-
Ströläkt och bärläkt		-
Underlagspapp	0,001	PVC Roof Membrane
Råspont	0,022	Gran, tangentiellt
Isover bjälklagsskiva 36	0,360	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)
Kertobalk	0,360	-
Isover plastfolie, sd=50 m	0,001	Vapour retarder (sd=50m)
Isover UNI-skiva 36	0,045	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)
Träregel	0,045	-
Gipsskiva	0,013	Gipsskiva invändig

Ventilerat snedtak med glasullskivor och Isover Vario KM Duplex UV (S.201)



Material	Tjocklek [m]	Material i WUFI
Takpannor	-	-
Ströläkt och bärläkt	-	-
Underlagspapp	0,001	PVC Roof Membrane
Råspont	0,022	Gran, tangentiellt
Luftspalt	0,002 0,021 0,002	Air Layer 25 mm Air Layer 25 mm; without additional moisture capacity Air Layer 25 mm
Isover takstolsskiva p 37	0,195	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)
Träbalk	0,220	-
Isover Vario KM Duplex UV	0,001	Vario KM Duplex
Isover UNI-skiva 36	0,070	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)
Träregel	0,070	-
Gipsskiva	0,013	Gipsskiva invändig

Ventilerat snedtak med glasullskivor och Isover plastfolie (S.201)

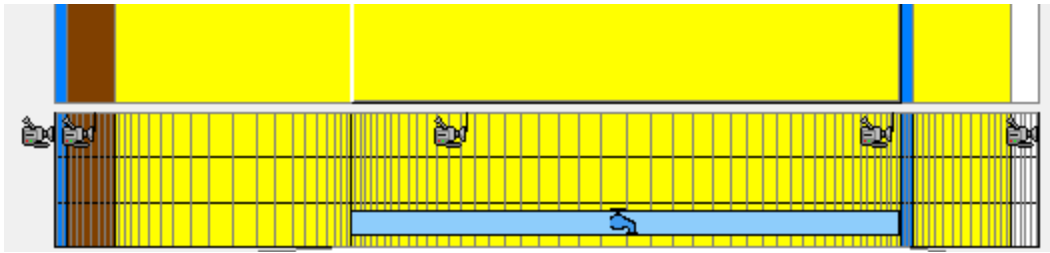


Material	Tjocklek [m]	Material i WUFI
Takpannor	-	-
Ströläkt och bärläkt	-	-
Underlagspapp	0,001	PVC Roof Membrane
Råspont	0,022	Gran, tangentiellt
Luftspalt	0,002 0,021 0,002	Air Layer 25 mm Air Layer 25 mm; without additional moisture capacity Air Layer 25 mm
Isover takstolsskiva p 37	0,195	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)
Träbalk	0,220	-
Isover plastfolie, sd=50 m	0,001	Vapour retarder (sd=50m)
Isover UNI-skiva 36	0,070	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)
Träregel	0,070	-
Gipsskiva	0,013	Gipsskiva invändig

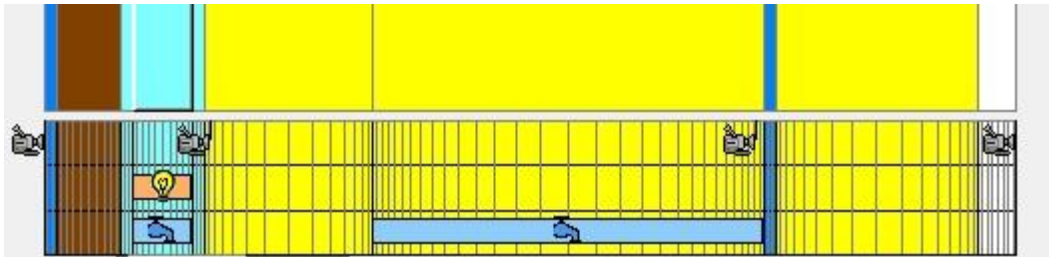
De tre olika hålen som undersöks läggs in som fuktkällor över 70 % av mineralullen. Storleken på fuktkällan bygger på handberäkningarna i kapitel 4.1.

I luftspalten läggs en källa för luftomsättning in, denna luftomsättning väljs till $30 h^{-1}$.

För att kunna analysera vad som händer i konstruktionen efter simuleringen placeras monitorer på olika ställen. Utifrån dessa kan man sedan få viktig utdata som t.ex. temperatur och relativ fuktighet. För att se om det har blivit skadliga fuktmängder i konstruktionen tas utdata från monitor två från höger, det vill säga precis efter ångspärren. I programmet ligger denna monitor i ett mineralullsskikt, där takbalken skulle befinna sig i en verklig konstruktion. Alla simuleringar görs i mineralullsskiktet och klimatet analyseras för att se om eventuellt trämaterial som befinner sig där kan ta skada.



Figur 20. Kompakta takets uppbyggnad med en fuktkälla och monitorer.



Figur 21. Parallelltakets uppbyggnad med ventilation i luftspalten, fuktkälla och monitorer.

4.3.1.2 Inställningar i programmet

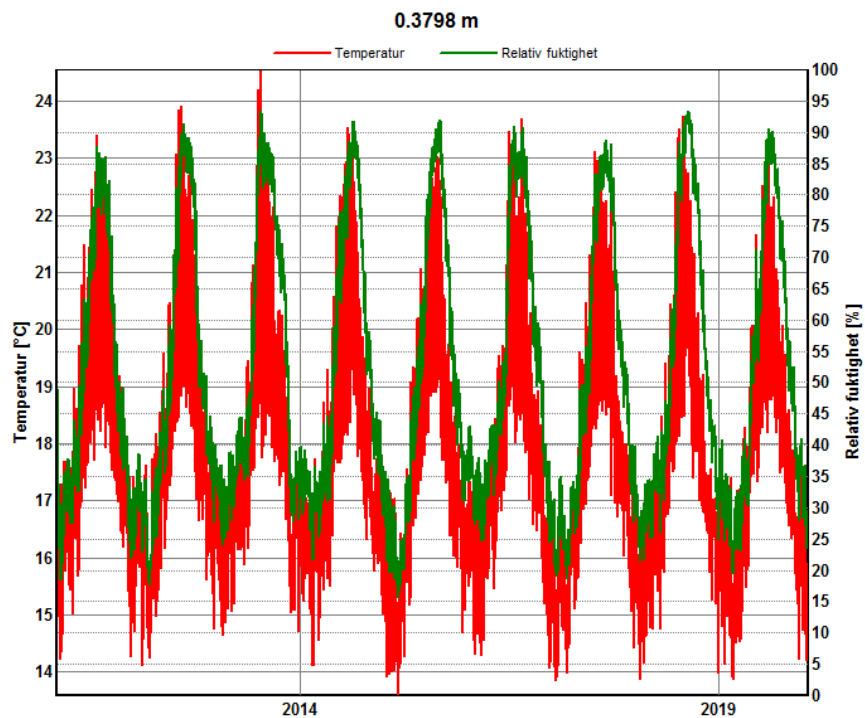
- Orientering/lutning/höjd
 - De tre orienteringarna som studeras är norr, söder och öster.
 - Takets lutning är 45°.
 - Regnbelastningen är enligt ASHRAE Standard 160P.
- Ytövergångskoefficient
 - Värmemotstånd beräknas för tak och taket är vindberoende.
 - Sd-värdet (m) sätts till 2 för takpannor enligt programmet.
 - Strålningen bestäms automatiskt utifrån programmet. Taken som modelleras har antingen svarta takpannor tillverkade av betong eller röda takpannor tillverkade av tegel. Strålningen för de två olika pannorna varierar.
 - Explicit strålningsbalans används och värden för den atmosfäriska motstrålningen hämtas från klimatfilerna.
 - Absorptionstalet för regnvatten sätts till 0,7 vilket betyder att takpannorna absorberar 70 % av regnvattnet och 30 % rinner av.
 - Inre ytan har ingen ytbehandling och har därför inget sd-värde.
- Begynnelsevillkor
 - Begynnelsefuktigheten och begynnelsetemperaturen i konstruktionen ställs in som medelvärde över byggnadsdelen och är 80 % RF respektive 20°C.

- Tid/profil
 - Start och sluttid för simulering anges. Alla simuleringar startar 2012-01-01 och slutar 2021-01-01.
- Numerik
 - Beräkningarna som utförs av programmet är fukttransportberäkning och värmetransportberäkning. Beräkningen för värmeledning är temperatur- och fuktberoende.
 - Ökad noggrannhet, konvergensförbättring och adaptiv stegsk kontroll används för att minimera felen som kan uppstå under simuleringarna i programmet.
 - Under kategorin geometri väljs kartesiska.
- Utomhus
 - Två orter studeras, Lund och Luleå. Dessa klimat hämtas från en extern fil (se avsnitt 4.1.1).
- Inomhus
 - Här väljs standarden EN 13788. Inomhustemperaturen sätts till 20°C och både fuktklass 1 och fuktklass 2 används (se avsnitt 4.1.2).

(WUFI Pro 5.0 Online Help, 2009)

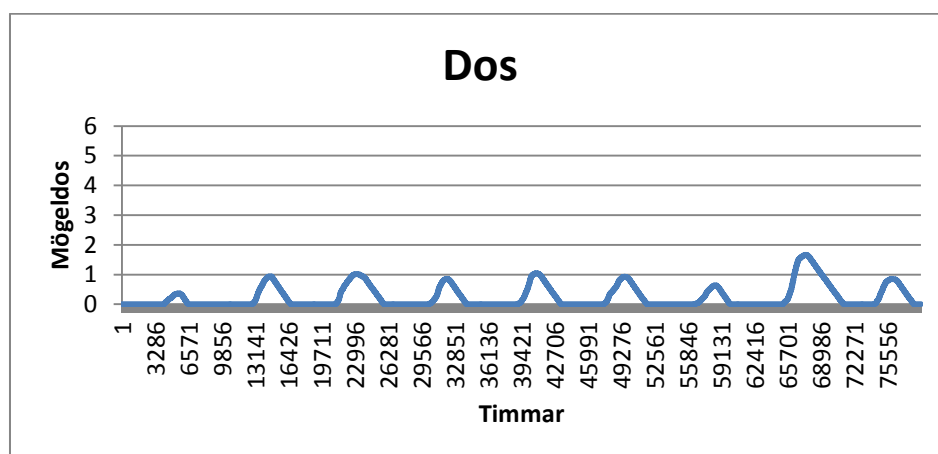
5 Resultat

Efter simulering i WUFI Pro 5.1 erhålls resultat i form av klimatdiagram i den aktuella monitorn. Diagrammet visar ett exempel på temperaturen och den relativa fuktigheten i mineralullsskiktet där takbalkarna befinner sig.



Figur 22. Exempel på temperatur och relativ fuktighet i mineralullen (takbalkarna) efter simulering i WUFI Pro 5.1.

Temperaturen och den relativa fuktigheten ligger sedan till grund för analys med hjälp av dosmodellen. Resultatet utifrån dosmodellen ger följande diagram och mögeldosen avläses vid det högsta värdet som konstruktionen får under nio års tid (För fler exempel se bilaga 3).



Figur 23. Mögeldosen för konstruktionen i detta exempel blir $\approx 1,5$.

För redovisning av resultaten från dosmodellen har tre olika indelningar gjorts, grön, gul och röd. Dessa olika nivåer är baserade på mögelindexskalan (se avsnitt 3.8) och indelningen som gjorts är följande:

0-1, Acceptabel	
1-3, Riskabel (fler undersökningar måste utföras)	
3-6, Oacceptabel	

Detta är en ungefärlig indelning för att få en bättre förståelse för hur konstruktionerna uppträder. Det är möjligt att göra andra typer av indelningar men i detta examensarbete har resultaten behandlats på detta sätt.

Simuleringar utan hål i ångspärren gav följande resultat för de fyra konstruktionerna.

LUND Kompakt tak med Isover Vario KM Duplex UV		LULEÅ Kompakt tak med Isover Vario KM Duplex UV	
Fuktklass		Fuktklass	
1	2	1	2

LUND Parallelltak med Isover Vario KM Duplex UV		LULEÅ Parallelltak med Isover Vario KM Duplex UV	
Fuktklass		Fuktklass	
1	2	1	2

LUND Kompakt tak med Isover Plastfolie		LULEÅ Kompakt tak med Isover Plastfolie	
Fuktklass		Fuktklass	
1	2	1	2

LUND Parallelltak med Isover Plastfolie		LULEÅ Parallelltak med Isover Plastfolie	
Fuktklass		Fuktklass	
1	2	1	2

Simuleringar med hål i ångspärren gav följande resultat för de fyra konstruktionerna:

	LULEÅ Kompakt tak med Isover Vario KM Duplex UV											
	Takfärg											
	Röda						Svarta/mörka					
	Fuktklass						Fuktklass					
	1			2			1			2		
	Hål			Hål			Hål			Hål		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Norr	> 6	> 6	0,6	> 6	> 6	> 6	> 6	> 6	1,7	> 6	> 6	> 6
Öst/väst	> 6	> 6	2,5	> 6	> 6	> 6	> 6	> 6	2,7	> 6	> 6	> 6
Söder	> 6	> 6	2,7	> 6	> 6	> 6	> 6	> 6	2,5	> 6	> 6	> 6

	LUND Kompakt tak med Isover Vario KM Duplex UV											
	Takfärg											
	Röda						Svarta/mörka					
	Fuktklass						Fuktklass					
	1			2			1			2		
	Hål			Hål			Hål			Hål		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Norr												
Öst/väst												
Söder												

	LUND Parallelltak med Isover Vario KM Duplex UV											
	Takfärg											
	Röda						Svarta/mörka					
	Fuktklass						Fuktklass					
	1			2			1			2		
	Hål			Hål			Hål			Hål		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Norr												
Öst/väst												
Söder												

	LULEÅ Parallelltak med Isover Vario KM Duplex UV											
	Takfärg											
	Röda						Svarta/mörka					
	Fuktklass						Fuktklass					
	1			2			1			2		
	Hål			Hål			Hål			Hål		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Norr												
Öst/väst												
Söder												

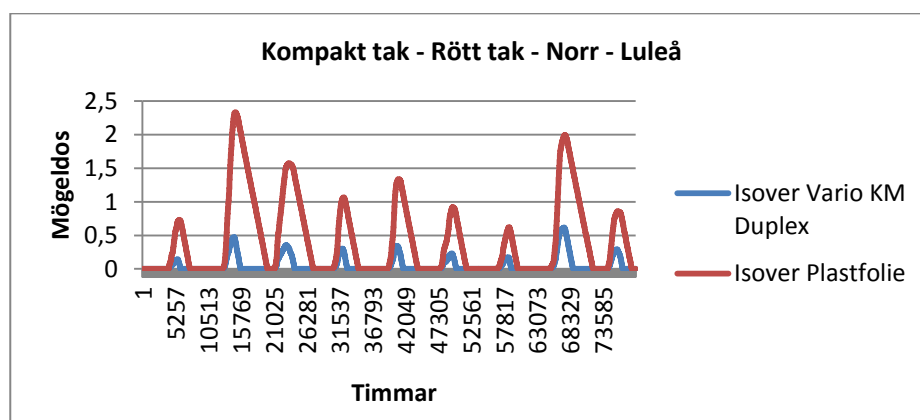
	LUND Kompakt tak med Isover Plastfolie											
	Takfärg											
	Röda						Svarta/mörka					
	Fuktklass						Fuktklass					
	1			2			1			2		
	Hål			Hål			Hål			Hål		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	Norr											
Öst/väst												
Söder												

	LULEÅ Kompakt tak med Isover Plastfolie											
	Takfärg											
	Röda						Svarta/mörka					
	Fuktklass						Fuktklass					
	1			2			1			2		
	Hål			Hål			Hål			Hål		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	Norr											
Öst/väst												
Söder												

	LUND Parallelltak med Isover Plastfolie											
	Takfärg											
	Röda						Svarta/mörka					
	Fuktklass						Fuktklass					
	1			2			1			2		
	Hål			Hål			Hål			Hål		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	Norr											
Öst/väst												
Söder												

	LULEÅ Parallelltak med Isover Plastfolie											
	Takfärg											
	Röda						Svarta/mörka					
	Fuktklass						Fuktklass					
	1			2			1			2		
	Hål			Hål			Hål			Hål		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	Norr											
Öst/väst												
Söder												

Simuleringarna visar att Isover Vario KM Duplex UV fungerar bättre vid hål i ångspärren än Isover Plastfolie. Nedan visas ett exempel på mögeldosen för det minsta hålet ($d_c = 5 \text{ mm per } m^2 \text{ takarea}$) i det icke-ventilerade kompakta taket.



Figur 24. Skillnad mellan ångspärrenna.

6 Analys och diskussion

Takkonstruktioner kan vara problematiska, speciellt i Sverige där klimatet ofta är blött och uttorkningssäsongen kort. För att undvika fuktproblem i byggnader i framtiden måste stor vikt läggas på tätning och fuktförebyggande åtgärder. Då fukten inomhus ofta är varmare och blötare än den utomhus så är det viktigt att luften inte kan ta sig in i konstruktionen inifrån, därför ställs stora krav på ångspärren innanför installationsskiktet. Denna ångspärr ska till exempel skydda konstruktionen mot konvektion vintertid orsakat av övertryck inomhus. Det är dock inte alltid man kan räkna med att denna ångspärr är helt tät.

6.1 Ingående parametrar för båda konstruktionerna

6.1.1 Inomhusklimatet

Inomhusklimatet är en viktig parameter i studien då det är det som vi är oroliga ska komma in i konstruktionen. Inomhusklimatet styrs av utomhusklimatet och väljs som fuktklass i programmet WUFI Pro 5.1.

Normalt sätt kan fuktklass 1 vara lite för gynnsamt och fuktklass 2 lite för ogynnsamt, men genom att välja fuktklass 2 har dimensioneringen gjorts efter värsta normalfallet. Det är omöjligt att undersöka huruvida brukaren har vanor som kan höja fukthalten i hemmet, t.ex. torkning av tvätt i sovrummet eller ovanligt mycket växter eller plantor.

6.1.2 Utomhusklimatet

I programmet WUFI Pro 5.1 finns färdig klimatdata som kan användas till simuleringarna, de svenska orter som går att välja i programmet har klimatdata framtagen vid Lunds Tekniska Högskola. Klimatet som väljs i WUFI innehåller värden för ett år som sedan upprepas i valt antal år. Detta år är en modifikation av olika år där topparna (de mest extrema värdena) har tagits bort, vilket bland annat betyder att den relativa fuktigheten aldrig når 100 %. Det skall också observeras att det i de klimatdata som går att välja i WUFI inte finns någon nattutstrålning. Dessa två faktorer gör att vi inte tycker att realistiska beräkningar på takets fuktinnehåll och temperatur kan göras med det klimatet. Data för klimat som använts i detta examensarbete är för nio olika år och inkluderar nattutstrålning.

För att komma fram till hur valet av klimatdata har påverkat våra resultat har vi simulerat de fyra olika konstruktionerna och undersökt om det har betydelse för om det blir mögelpåväxt eller inte. Resultaten av simuleringarna har sedan analyserats med hjälp av dosmodellen.

För Lund blir det mindre mögelpåväxt i konstruktionerna om man använder sig av klimatdata som redan finns i programmet. För Luleå blir resultaten nästintill identiska men det sker något mer mögelpåväxt om klimatdata i WUFI används (Se bilaga 4).

En jämförelse av den relativa fuktigheten och temperaturen i utomhusluften visar att Lund har både ett fuktigare och ett varmare klimat än Luleå enligt de klimatdata som använts i detta examensarbetet. Om man istället tittar på klimatet som finns i WUFI är det inte lika stora skillnader. Detta kan bero på att WUFI-klimatet har finjusterats på topparna och därför blir inte klimatet lika extremt (Se bilaga 5).

Vi drar slutsatsen att det är av stor betydelse vilket klimatdata som används och det är känsligt vilket år som simuleras. Klimatdata från WUFI är inte optimalt vid beräkningar av fukt i tak och därför är de simuleringar och beräkningar vi gjort med nio års klimatdata mer verklighetstroga än de som gjorts med klimatdata från WUFI.

6.1.3 Handberäkningarna

Den termiska drivkraften har beräknats med en approximativ metod. Drivkraften översätts till ett luftflöde som räknas om till ett fuktflöde genom hålen och läggs sedan in som fuktkälla i materialskiktet i WUFI. Detta blir vår viktigaste parameter men också en osäker parameter, tryckskillnaderna på grund av ventilation är mycket osäkra och tryckskillnaderna på grund av vind är antagna med hjälp av ASHRAE. Däremot är tryckskillnaderna på grund av termisk drivkraft baserade på klimatdata och är en relativt säker del av parametern. Det hade dock varit fördelaktigt för undersökningen om tryckdifferensen över byggnadsdelen hade kunnat mätas praktiskt genom laboratieförsök eller ett referensobjekt.

Flödesmotstånden i takets ingående material har bortsetts ifrån då det är svårt att approximera utan praktiska undersökningar. Motståndet över andra delar av yttertaket kommer förmodligen att minska luftflödet genom konstruktionen och kan göra stor skillnad för det icke-ventilerade kompakta takets resultat.

6.1.4 Hålen och hålstorlekarna

De tre olika hålen som undersöks är baserade på dels ett standardmått för håltagning till en spotlight ($d_A = 80 \text{ mm}$, $0,236 \text{ hål per m}^2 \text{ takarea}$), dels ett gammalt täthetskrav från BBR ($d_B = 12 \text{ mm per m}^2 \text{ takarea}$) och dels ett mindre hål som ska motsvara slarv, skruvgenomförning eller liknande ($d_C = 5 \text{ mm per m}^2 \text{ takarea}$).

Gällande d_B hade det också varit relevant att undersöka det nyare täthetskravet i BBR på $0,6 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ istället för $0,8 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, eller att undersöka täthetskravet för passivhus på $0,5 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$.

Det största hålet som ska motsvara håltagning för en spotlight är ett för stort hål om spotlighten sitter monterad. Det som undersöks är om spotlighten monteras ner igen och att man inte gör någonting med hålet därefter. Simuleringar hade också kunnat göras på den lilla otäthet som kan uppstå mellan den uppmonterade spotlighten och taket, en jämförelse mellan de aktuella hålen och den ungefärliga storleken på denna strimma har gjorts:

Om vi antar att spotlighten som sitter monterad i taket har en håltagningsdiameter på 80 mm och att själva lampan har en innerdiameter på 78 mm, då uppstår en otät strimma runt lampan på 1 mm. En sådan strimma får då en area på $2,482 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ som är utbredd över $0,236 \text{ m}^2$ tak, alltså $0,0586 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ otäthet. Detta kan jämföras med de två minsta hålens area:

$$A_{d=5 \text{ mm}} = \frac{\pi \cdot 0,005^2}{4} = 0,0196 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{d=12 \text{ mm}} = \frac{\pi \cdot 0,012^2}{4} = 0,113 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Vi kan dra slutsatsen att strimman mellan spotlighten och taket är en otäthet som ligger i intervallet mellan d_B och d_C , men närmare det minsta hålet. Alltså kan spotlights inte direkt dömas ut med våra beräkningar i detta examensarbete. Det är möjligt att resultatet hade blivit positivt (grönt) på det ventilerade parallelltaket om strimman simulerats.

6.1.5 WUFI

I WUFI placeras en ”monitor” i en cell i det materialet som ska undersökas. Det betyder att vi endast tittar på *en* punkt i materialskiktet och värden på parametrarna som finns där är inte nödvändigtvis samma för hela skiktet. För att testa hur stor betydelse monitorplaceringen har för resultaten gjordes simuleringar med flertal monitorer på olika placeringar i mineralullen, resultaten visade på relativt stora skillnader. Den monitor som aktuell utdata har tagits ifrån ligger vid ångspärren, på kalla sidan, inne i konstruktionen och resultaten visade ibland värst värden där och ibland värre längre ut i konstruktionen.

Vi har tittat på mögelpåväxten i mineralullen (takbalkarna) och monitorpositionen som har valts ligger som sagt långt in i konstruktionen, nära

ångspärren. För att se skillnaderna mellan klimatet vid talkbalken och klimatet i råsponten har dessa två monitorpositioner testats. Resultaten visade att klimatet ibland var värre i råsponten och ibland värre vid takbalken (se bilaga 6).

En fuktkälla har lagts in över 70 % av mineralullen (se avsnitt 4.3.1.1). Det går att hantera fuktkällor på många olika sätt i programmet och vilket som är bättre eller sämre kan diskuteras. Strävan har varit att göra simuleringen så verklighetstrogen som möjligt, men då programmet har vissa begränsningar (se avsnitt 3.7.1) är det svårt att avgöra vilken metod som ger den mest verklighetsenliga bilden. För att kontrollera vad som händer i konstruktionen måste en laboration genomföras.

Placering av monitor har stor betydelse för resultaten från simuleringar i WUFI. Hanteringen av fuktkällor i programmet har antagligen stor betydelse för resultaten men är en svår parameter.

6.1.6 Sammanfattning av antaganden

Många antaganden och förenklingar har gjorts i examensarbetet. Vissa görs för att vara på säkra sidan och då överskattas skaderisken, andra har visat sig ge skonsammare resultat än i verkligheten. Strävan har varit att göra resultaten så verklighetstroga som möjligt och därför sammanställs effekterna av de antaganden och förenklingar som gjorts:

	Antaganden och förenklingar	Överskattar skaderisken	Underskattar skaderisken
1	Tryckfallsberäkningar	x	
2	Lufttryck	x	
3	Luftflöde	x	
4	Fuktkällan		x
5	Fuktflödet	x	
6	Uppbyggnaden i WUFI	x	
7	1D modell på ett 3D problem		x
8	Vindhastigheten		x

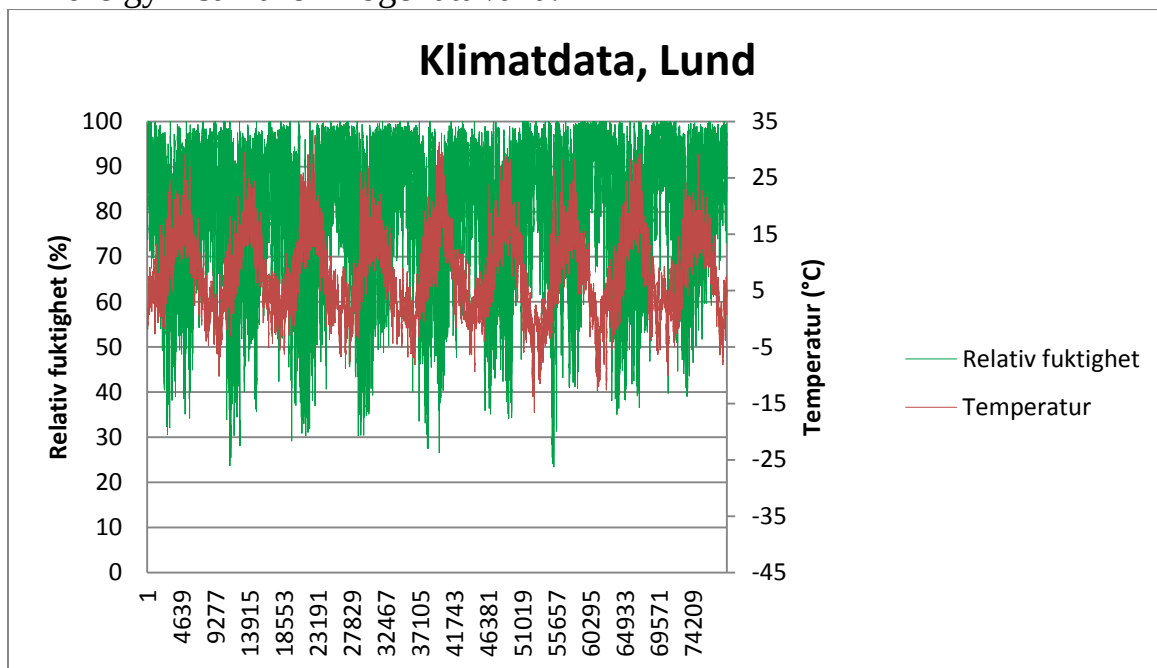
1. Formfaktorn för tak med 45° lutning approximeras till -0,7 (sug) på hela taket även om det kan bli tryck på delar av taket.
2. Hela tryckfallet antas ske över folien. För det icke-ventilerade kompakta taket sker antagligen en del av tryckfallet över takpappen.
3. Alla negativa flöden har tagits bort, alltså har luften som torkar ut konstruktionen i viss mån bortsetts ifrån.

4. Fuktkällan sprids ut över 70 % av materialskiktet, i verkligheten kan vissa lokala punkter få mer mögelpåväxt.
5. Negativa flöden har tagits bort.
6. Luftspalt mellan takpannorna och underlagspappen har inte tagits med i uppbyggnaden.
7. Det i verkligheten tredimensionella hålet har modellerats endimensionellt.
8. Vinden är medelvärdesbildat över en timme vilket gör att kraftiga vindbyar inte är med vilket kan ge stora tryckskillnader tillfälligt.

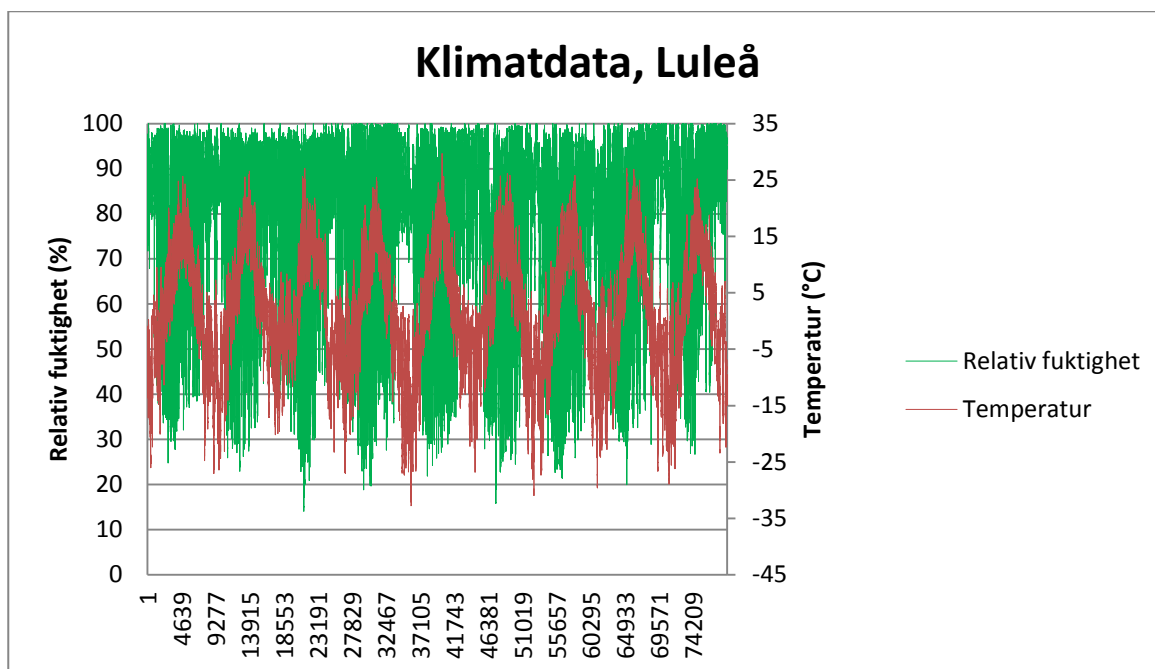
Sammanfattningsvis överskattas skaderisken något och beräkningarna har alltså gjorts på säkra sidan.

6.2 Resultat av simuleringarna

Luleå visade sig vara ett bättre klimat än Lund, utifrån fuktsynpunkt. Detta beror på att det är kallare och aningen torrare i Luleå än i Lund och därför mindre gynnsamt för mögel att växa.



Figur 25. Nio års klimatdata för Lund, temperatur och RF.



Figur 26. Nio års klimatdata för Luleå, temperatur och RF.

I diagrammen kan utläsas att den relativa fuktigheten i Luleå kommer ner lägre ($< 20\%$) under vissa månader än i Lund (kommer aldrig ner till 20%). Dessutom kan utläsas att temperaturen oftare ligger mellan $20\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (den mest gynnsamma temperaturen för mögelpåväxt) i Lund än i Luleå.

6.3 Resultat av simuleringar utan hål i ångspärren

Simuleringar utan hål visar att tre av fyra konstruktioner fungerar i alla riktningar både i Lund och i Luleå. Den kritiska konstruktionen är det icke-ventilerade kompakta taket med Isover plastfolie som får ett acceptabelt resultat (grönt) i Luleå men inte i Lund där det blir gult. För att det kompakta taket ska fungera måste en variabel ångbroms (Isover Vario KM Duplex UV) användas då den, på sommaren då luftfuktigheten är hög inomhus, öppnar sig och tillåter fukten att torka ut inåt. Det är nästintill omöjligt att bygga så tätt att ingen fukt alls tar sig in i konstruktionen. Om en vanlig ångspärr används (Isover plastfolie) har inte konstruktionen någon chans att torka ut varken inåt eller utåt och är därför en riskabel konstruktion.

6.4 Ventilerat parallelltak

Det ventilerade parallelltaket fungerar bättre än det icke-ventilerade kompakta taket. Detta visar på att den ventilation som finns i luftspalten är en parameter som har betydelse. Luftspalten har som uppgift att ventilerar bort en begränsad mängd fukt, i detta fall fuktig luft både utifrån och inifrån, och resultaten från simuleringarna visar att den klarar av att göra detta då det finns ett litet hål

($d_c = 5 \text{ mm per } m^2 \text{ takarea}$). När det blir större hål blir mängden fukt för stor och kan då inte längre ventileras bort, resultaten blir då röda (synlig mögelpåväxt) och kan inte accepteras.

Den orientering som fungerar bäst är då taket är riktat mot söder. Orsaken är att taket värms upp mer genom solstrålning i söder, detta i sin tur betyder att konstruktionen blir varmare och den relativa fuktigheten sjunker. Svart tak fungerar även bättre än rött tak vilket också bidrar till lägre relativ fuktighet. Konstruktionen fungerar även om taket är orienterat mot norr eller väster och är därför en tillförlitlig konstruktion även om det skulle bli ett litet hål i ångspärren.

6.5 Icke-ventilerat kompakt tak

Det kompakta taket fungerar betydligt sämre än det ventilerade parallelltaket då det finns ett hål i ångspärren. De flesta resultaten för det minsta hålet ($d_c = 5 \text{ mm per } m^2 \text{ takarea}$) blir gula eller röda (mikroskopisk eller synlig mögelpåväxt). Den stora skillnaden i resultat mellan de två konstruktionerna kan bero på att den fukt som tar sig in i den kompakta konstruktionen, på grund av hål i ångspärren eller genom någon annan otäthet, inte kan ta sig ut igen. Om fukten inte har möjlighet att torka ut och otätheten kvarstår kommer mängden fukt att ackumuleras med tiden och bidra till mögelpåväxt.

Den enda gången resultatet blir grönt och kan accepteras är när Isover Vario KM Duplex UV används, takpannorna är röda samt att taket är orienterat mot norr. För att en konstruktion ska vara tillförlitlig krävs att konstruktionen fungerar i alla orienteringar och därför ses det icke-ventilerade kompakta taket inte som en sådan då det blir ett litet hål i ångspärren.

Det icke-ventilerade kompakta taket fungerar endast då det inte finns några hål där fukt kan tränga in. Så fort det blir ett fukttillskott i den kompakta konstruktionen försämras den avsevärt.

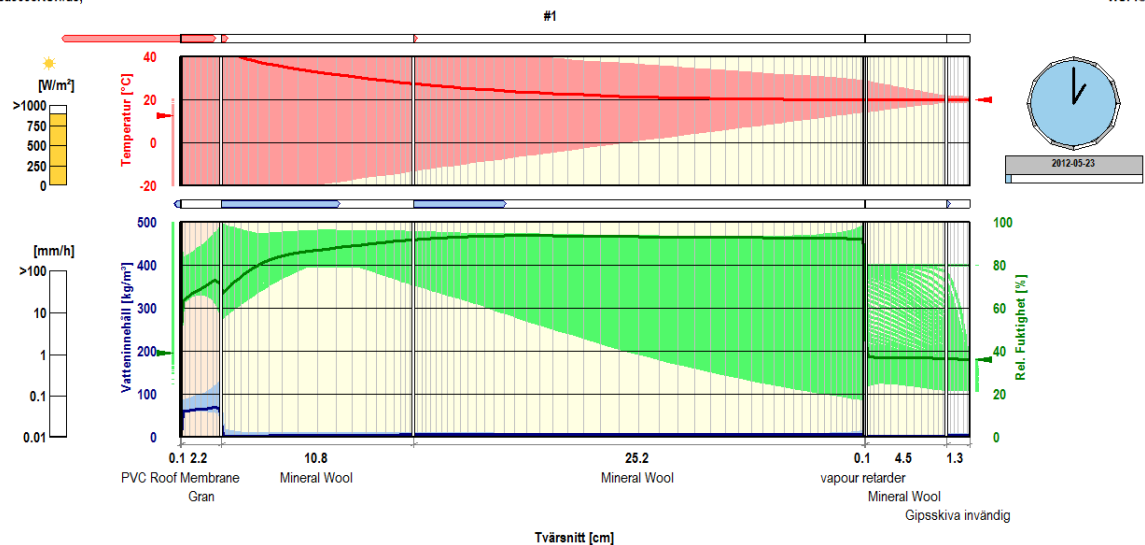
De bästa resultaten fås om taket är orienterat mot norr, har röda takpannor och ligger i Luleå. Takpannornas färg och takets orientering fungerar tvärtom jämfört med hur det fungerar i det ventilerade parallelltaket. Detta är ett överraskande resultat då det förväntades att de icke-ventilerade kompakta taken skulle följa samma trend som de ventilerade parallelltaken. En anledning till detta kan vara sommarkondens (se avsnitt 3.6.1.4) eftersom det sker mest mögelpåväxt under sommaren enligt dosmodellen.

I WUFI kan utläsas att solen torkar takpannorna och driver fukten inåt i konstruktionen på varma sommardagar då solen är intensiv. Däremot vandrar

fukten utåt då solen är i moln eller under kvälls/nattetid. Detta talar för att sommarkondens är orsaken till de omvända värdena på de icke-ventilerade kompakta taken.

Ört: Lulea9098RC.wac;

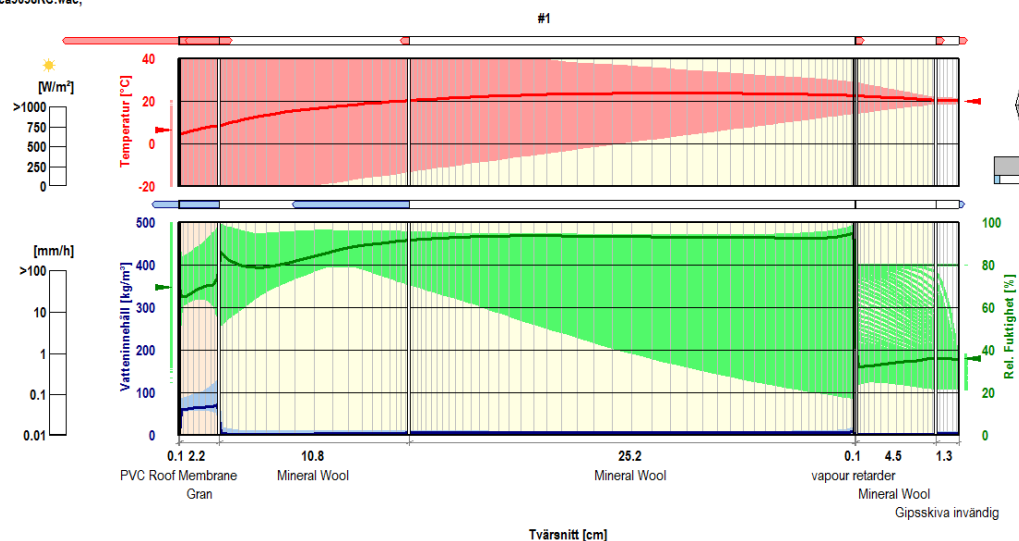
WUFI®



Figur 27. Fuktvandring i det icke-ventilerade kompakta taket då solstrålningen är intensiv ($\sim 900 \text{ W/m}^2$) och temperaturen hög i takpannorna ($> 40^\circ\text{C}$). Datum: 120523 klockan 13.00.

Ört: Lulea9098RC.wac;

WUFI®



Figur 28. Fuktvandring i det icke-ventilerade kompakta taket utan solstrålning ($\sim 0 \text{ W/m}^2$) och då temperaturen är låg i takpannorna ($\sim 7^\circ\text{C}$). Datum: 120523 klockan 21.00.

För Lund sker den största mögelpåväxten på hösten/vintern vilket kan bero på att eventuellt slagregn i det fallet har större påverkan än sommarkondensen.

Skillnaderna mellan rött och svart tak visade sig inte vara stora, detta beror med största sannolikhet på att detta inte spelar stor roll då man undersöker mögelpåväxt vid takbalken på grund av fukt i inomhusluften som tar sig förbi

ångbromsen. Det spelar en större roll om man tittar på fukt utifrån så som regnbelastning, eftersom det då i större utsträckning påverkar uttorkningen av råsponten.

Ett resultat för de icke-ventilerade kompakta taken avviker.

	LUND Kompakt tak med Isover Vario KM Duplex UV											
	Takfärg											
	Röda						Svarta/mörka					
	Fuktklass						Fuktklass					
	1			2			1			2		
	Hål			Hål			Hål			Hål		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Norr												
Öst/väst												
Söder												

Bilden visar att ett resultat med orientering mot söder och svart tak är bättre än orientering mot norr. Detta är det enda resultatet som avviker. Det är ett märkligt resultat och har kontrollerats genom att göra om simuleringarna och analysen i dosmodellen. Dock har resultatet kvarstått. För att få reda på varför just den situationen avviker krävs en djupare analys.

6.6 Resultat av simuleringar med hål i ångspärren

Simuleringarna visar att ett mycket litet hål ($d_c = 5\text{mm}$, per m^2 takarea) generellt sett kan accepteras i det ventilerade parallelltak (S.201). Observera dock att parallelltak med Isover Plastfolie, rött tak, fuktklass 2 mot norr som utsätts för det minsta hålet (d_c) får ett gult resultat, alltså kan den situationen inte accepteras utan vidare studier. Övriga ventilerade parallelltak fungerar oavsett ångspärr, orientering, fuktklass och takfärg med det minsta hålet.

I de icke-ventilerade kompakta taken kan ingen av de tre hålen accepteras enligt beräkningar i detta examensarbete. Detta innebär alltså att det är mycket viktigt vid byggnation av kompakta tak att det inte blir otätheter, annars kan konsekvenserna bli stora. Dock skall observeras att beräkningar och simuleringar i denna rapport har baserats på vissa antaganden som kan vara till nackdel för det icke-ventilerade kompakta taket (se avsnitt 6.1.6).

6.7 Jämförelse mellan ångspärrarna

Det är inte troligt att det icke-ventilerade kompakta taket skulle byggas med vanlig plastfolie, Isover rekommenderar att konstruktionen byggs med den variabla ångbromsen. Trots det kan det vara intressant att se just vilka skillnader det blir mellan de olika plastfolierna och därför har båda folierna testats på båda konstruktionerna.

Våra beräkningar visade att Isover Vario KM Duplex UV var en bättre ångspärr än Isover Plastfolie för båda konstruktionstyperna.

6.8 Befintliga rapporter

Resultaten från detta examensarbete skiljer sig från de resultat Dybro och Skanska Teknik fick fram i sina rapporter. Detta beror främst på att detta examensarbete behandlar fukt som kommer inifrån på grund av hål i ångspärren. Men även utomhusklimatet spelar en viktig roll, här har båda de befintliga rapporterna använt sig av klimatet som går att välja i WUFI.

Resultaten har också analyserats på olika sätt. Skanska Teknik har använt sig av en annan mögelmodell som inte tillåter mögelpåväxten att retardera på samma sätt som mögeldosmodellen gör och är därför en elakare bedömning. Skanska Teknik har dessutom använt sig av en annan standard för inomhusklimat i programmet.

Både Dybro och Skanska teknik har i sina undersökningar kontrollerat råsponten, medan detta examensarbete behandlar mineralullen där takbalken befinner sig.

7 Slutsats

Resultaten visar att ett traditionellt ventilerat parallelltak fungerar bättre än det icke-ventilerade kompakta taket om det skulle bli hål i ångspärren.

Generellt kan det minsta hålet som undersöks ($d = 5 \text{ mm per m}^2$) accepteras i det ventilerade parallelltaket, men större hål ($d_A = 80 \text{ mm}$, $0,236 \text{ hål per m}^2$ och $d_B = 12 \text{ mm per m}^2$) innebär betydande mögelpåväxt.

Det icke-ventilerade kompakta taket tål inte hål i ångspärren enligt simuleringar och beräkningar utförda i detta examensarbete. Resultaten visar på stor mögelpåväxt då det finns hål i ångspärren.

Det ventilerade parallelltaket fungerade bäst med svart tak orienterat mot söder medan det icke-ventilerade kompakta taket fungerade bäst med rött tak orienterat mot norr.

Undersökningen visar också att Isover Vario KM Duplex UV fungerar något bättre än Isover Plastfolie samt att Luleå är ett bättre klimat jämfört med Lund ur fuktsynpunkt.

8 Förslag på fortsatta studier

Undersöka om det blir någon signifikant skillnad mellan den dygnsbaserade modellen eller den nya 12-timmarsmodellen som ska vara mer anpassad till takkonstruktioner.

Praktisk undersökning av luftflödena och motstånden genom olika hål kan göras för mer verklighetsbaserade resultat.

En laborationsstudie kan göras för att kontrollera tryckskillnaderna över taket som i detta examensarbete beräknats för hand med formler från fukthandboken. Beräkningarna i detta examensarbete är approximativa och innehåller vissa osäkra parametrar. Att bygga upp takkonstruktionerna med ingående material hade varit fördelaktigt för att få säkrare parametrar.

En undersökning på andra mindre hålstorlekar kan göras för att få fram en ”kritisk” hålstorlek.

En fortsatt studie för det kompakta taket där luftspalten mellan takpannorna och takpappen är med för att undersöka om det ger bättre resultat.

Undersökningar kan göras för att kontrollera om resultaten för de icke-ventilerade kompakta taken beror på sommarkondens eller har en annan orsak.

Referenser

Skriftliga källor

Af Malmborg, Andreas och Månsson, Johan (2002), *Trähus – en handbok*.
Upplaga 1. ISBN 9789151839059. Stockholm: Prisma Bokförlag

Burström, Per-Gunnar (2007), *Byggnadsmaterial – uppbyggnad, tillverkning
och egenskaper*. Upplaga 2. ISBN 9789144027388. Lund: Studentlitteratur
AB.

Dahlblom, Mats och Warfvinge, Catarina (2010), *Projektering av VVS-
installationer*. ISBN 9144055617. Lund: Studentlitteratur AB

Isaksson, Tord och Thelandersson, Sven (2010), *Critical conditions for onset
of mould growth under varying climate conditions*. Building and environment
45 1712-172.

Elmarsson, Bengt och Nevander, Lars Erik (2006), *Fukt handbok – praktik
och teori*. Upplaga 3. ISBN 9173331562. Stockholm: Svensk byggtjänst AB

Ewing, Annica och Wannberg, Maria (2003), *En liten bok om mögel*.
ISBN 9197459704. Stockholm: Skansen Byggnadsvård

Hansson, Daniel och Lundgren, Niclas (2009), *Problematiken isolering
vindsbjälklag i uteluftsventilerade kallvindar*. Examensarbete KTH
Stockholm.

Isaksson, Tord, Mårtensson, Annika och Thelandersson, Sven (2010),
Byggkonstruktion. Upplaga 2. ISBN 9144070306. Lund: Studentlitteratur AB

Isaksson, Tord och Mårtensson, Annika (2010), *Byggkonstruktion: regel- och
formelsamling*. Upplaga 2. ISBN 9144070322. Lund: Studentlitteratur AB.

Jonsson, Jan, Sundström, Sune och Svensson, Tommy (2010), *Byggteknik*.
Upplaga 1. ISBN 9789147084975. Stockholm: Liber AB.

Petersson, Bengt-Åke (2009), *Tillämpad byggnadsfysik*. Upplaga 4. ISBN
9789144058177. Lund: Studentlitteratur AB

Sandin, Kenneth (2010), *Praktisk byggnadsfysik*. Upplaga 1. ISBN
9789144059914. Lund: KFS AB.

Sandin, Kenneth (2007), *Praktisk husbyggnadsteknik*. Upplaga 2. ISBN 9144048793. Lund: Studentlitteratur AB.

Sandin, Kenneth (1988), *Värme Luftströmnin Fukt*. Kompendium i byggnadsfysik, husbyggnadsteknik. Lund: Avd. Husbyggnadsteknik.

ASHRAE (2005), American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, *ASHRAE Handbook, Fundamentals*. I-P Edition. ISBN 1-931862-70-2. N E Atlanta: ASHRAE.

Webbrelaterade källor

BBR 18, Boverkets byggregler (2012). [www]. Hämtad från <<https://rinfo.boverket.se/BBR/PDF/BFS2011-6-BBR18.pdf>> Hämtad 2012-03-26

Bofast (2009), *Boverket varnar för kritiserad putsvägg*. [www]. Hämtad från <http://www.bofast.net/1/1.0.1.0/67/1/?item=art_art-s1/35> Hämtad 2012-03-26

Dybro (2011), *Projekteringsanvisning för konstruktion S:204 och beräkningar i WUFI*. [www]. Hämtad från <http://www.isover.se/files/Isover_SE/Byggnadskonstruktioner/Vindsbjalklag_Snedtak/Anv%C3%A4ndning%20av%20Vario%20i%20kompakt%20tak%20med%20underlagspapp%20.pdf>. Hämtad 2012-03-26

Isover 1 (2012) *Om Isover Saint-Gobain*. [www]. Hämtad från <<http://www.isover.se/om+isover>>. Hämtad 2012-03-26

Isover 2 (2012) *System för lufttätning*. [www]. Hämtad från <http://www.isover.se/files/Isover_SE/Om_Isover/Kontakta_oss/Broschyrer_Bygg/System%20for%20lufttatning.pdf>. Hämtad 2012-03-26

Isover 3 (2012) *Vindsbjälklag och snedtak*. [www]. Hämtad från <<http://www.isover.se/konstruktioner/vindsbj%C3%A4lklag+och+snedtak>>. Hämtad 2012-03-26

LFS (2012) *Mögeltillväxt*. [www]. Hämtad från <<http://www.lfs-web.se/mogel.htm>>. Hämtad 2012-05-03

Sjuka Hus (2012), *Fukt och fuktskador*. [www]. Hämtad från <<http://www.sjuka-hus.com/fukt-och-fuktskador/>> Hämtad 2012-03-26

Skanska Teknik (2010), *Bygg fuktsäkra takkonstruktioner*. [www]. Hämtad från
<<http://bygginfo.byggstjanst.se/PageFiles/97068/SU111099,%20bilaga%20Bygg%20fukts%C3%A4kra%20takkonstruktioner.pdf?epslanguage=sv>> Hämtad 2012-05-11

SP, Sveriges tekniska forskningsinstitut (2011), *Fönster, Fukt & Innemiljö-Fakta om fukt*. [www]. Hämtad från
<<http://www-v2.sp.se/energy/ffi/fukt.asp>>. Hämtad 2012-03-26

SP, Sveriges tekniska forskningsinstitut (2009), Samuelson, Ingemar och Jansson, Anders. *Putsade regelväggar*. [www]. Hämtad från <www-v2.sp.se/publ/ViewDocument.aspx?RapportId=10130>. Hämtad 2012-03-26

Träguiden (2012), *Fuktskydd – Tak*. [www]. Hämtad från
<<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=2779>>. Hämtad 2012-03-26

WUFI (2012), *Hemsida, Välkommen*. [www]. Hämtad från
<<http://www.wufi.se/Valkommen.html>>. Hämtad 2012-03-26

Figurer

Figur, *Isovers takkonstruktioner S:201 och S:204*. [www]. Hämtad från
<<http://www.isover.se/konstruktioner/vindsbj%C3%A4klag+och+snedtak/s-c3-201+snedtak+med+skivor>> Hämtad 2012-03-26

Figur 2, *Karta över Sverige*. [www]. Hämtad från
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lund_in_Sweden.png?uselang=sv> Hämtad 2012-05-20

Figur 3, *Samband mellan luftens temperatur och mättnadsånghalten*. [www]. Hämtad från <<http://www-v2.sp.se/energy/ffi/fukt.asp>> Hämtad 2012-03-26

Figur 4, *Livscykel för mycel*. [www]. Hämtad från <<http://www.ge-ab.se/produkter/vad-aer-moegel-/>> Hämtad 2012-03-26

Figur 5, *Träets uppbyggnad*. [www]. Hämtad från
<<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1059&contextPage=1055>>. Hämtad 2012-03-26

Figur 6,7,8,9 *Materialegenskaper*. [www]. Hämtad från
<http://www.isover.se/files/Isover_SE/Om_Isover/Kontakta_oss/Broschyrer_Bygg/System%20for%20lufttatning.pdf>. Sida 16 och 18.
Hämtad 2012-03-26

Figur 10, *Ånggenomgångsmotstånd*. [www]. Hämtad från
<http://www.isover.se/files/Isover_SE/Om_Isover/Kontakta_oss/Broschyrer_Bygg/System%20for%20lufttatning.pdf> Hämtad 2012-03-26

Figur 11, *Nattutstrålning*. [www]. Hämtad från
< <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=2779>> Hämtad
2012-03-26

Figur 12, *Isovers takkonstruktion S:201*. [www]. Hämtad från
< <http://www.isover.se/konstruktioner/vindsbj%C3%A4lklag+och+snedtak/s-c3-201+snedtak+med+skivor>> Hämtad 2012-03-26

Figur 13, *Isovers takkonstruktion S:204*. [www]. Hämtad från
< <http://www.isover.se/konstruktioner/vindsbj%C3%A4lklag+och+snedtak/s-c3-204+snedtak+med+isover+vario+km+duplex+uv,+skivor>> Hämtad 2012-03-26

Figur 14, *Sektionsritning och planritning*.

Figur 15, *Isovers takkonstruktion S:201*. [www]. Hämtad från
< <http://www.isover.se/konstruktioner/vindsbj%C3%A4lklag+och+snedtak/s-c3-201+snedtak+med+skivor>> Hämtad 2012-03-26

Figur 16, *Isovers takkonstruktion S:204*. [www]. Hämtad från
< <http://www.isover.se/konstruktioner/vindsbj%C3%A4lklag+och+snedtak/s-c3-204+snedtak+med+isover+vario+km+duplex+uv,+skivor>> Hämtad 2012-03-26

Figur 17, *Fuktklass 1 och 2*. WUFI Pro 5.0 Online Help (2009)

Figur 18, *Fuktklass 3 och 4*. WUFI Pro 5.0 Online Help (2009)

Figur 19, *Formfaktorer på tak*. ASHRAE (2005), American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, *ASHRAE Handbook, Fundamentals*. I-P Edition. ISBN 1-931862-70-2. N E Atlanta: ASHRAE

Figur 20, *Kompakta takets uppbyggnad med en fuktkälla och monitorer*. WUFI Pro 5.1.

Figur 21, *Parallelltakets uppbyggnad med ventilation i luftspalten, fuktkälla och monitorer.* WUFI Pro 5.1.

Figur 22, *Temperatur och relativ fuktighet i takbalkarna.* WUFI Pro 5.1.

Figur 23, *Mögeldos.*

Figur 24, *Skillnad mellan ångspärrarna.*

Figur 25, *Nio års klimatdata för Lund, temperatur och RF.*

Figur 26, *Nio års klimatdata för Luleå, temperatur och RF.*

Figur 27, *Fuktvandring Datum: 120523 klockan 13.00.*

Figur 28, *Fuktvandring Datum: 120523 klockan 21.00.*

Övriga källor

Togerö, Åse och Svensson Tengberg, Charlotte (2011). *M-modellen powerpoint*. [www]. Hämtad från
<http://webhotel2.tut.fi/nsb2011/sites/webhotel2.tut.fi/nsb2011/files/b10_04_a_se_togero2.pdf> Hämtad 2012-03-26

WUFI Pro 5.0 Online Help (2009) (Programbeskrivning)

Petter Wallentén, Lunds Tekniska Högskola (muntlig källa)

Bilagor

Bilaga 1

Resultat från simuleringar av det icke-ventilerade kompakta taket i WUFI gjorda av Isover (Hanne Dybro).

Projekteringsanvisning, Isover (Hanne Dybro).

Färgkod	Fuktnivå i råsponten under sommaren	
	Relativ fuktighet	Fuktkvot
	> 80 %RF	> 15 M%
	c:a 75 %RF	c:a 14 M%
	< 70 %RF	< 13 M%

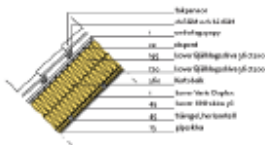
Lathund

Ort		Takfärg/material							
		Vita/ljusa		Metalliska		Röda		Svarta/mörka	
		Fuktklass		Fuktklass		Fuktklass		Fuktklass	
	Väderstreck	1	2	1	2	1	2	1	2
Kiruna	Norr								
	Öst/väst								
	Söder								
	Låglutande								
Luleå	Norr								
	Öst/väst								
	Söder								
	Låglutande								
Umeå	Norr								
	Öst/väst								
	Söder								
	Låglutande								
Östersund	Norr								
	Öst/väst								
	Söder								
	Låglutande								
Borlänge	Norr								
	Öst/väst								
	Söder								
	Låglutande								
Karlstad	Norr								
	Öst/väst								
	Söder								
	Låglutande								
Stockholm	Norr								
	Öst/väst								
	Söder								
	Låglutande								
Göteborg	Norr								
	Öst/väst								
	Söder								
	Låglutande								
Norrköping	Norr								
	Öst/väst								
	Söder								
	Låglutande								
Växjö	Norr								
	Öst/väst								
	Söder								
	Låglutande								
Visby	Norr								
	Öst/väst								
	Söder								
	Låglutande								
Lund	Norr								
	Öst/väst								
	Söder								
	Låglutande								

Bilaga 2

Resultat från simuleringar av det icke-ventilerade kompakta taket i WUFI gjorda av Skanska teknik.

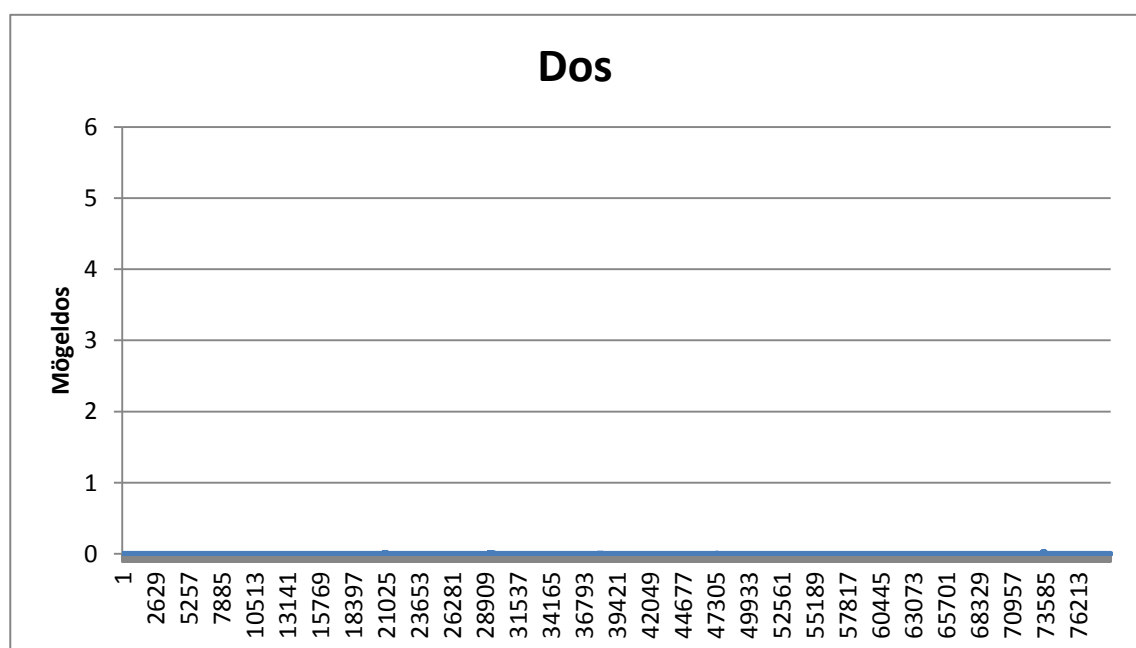
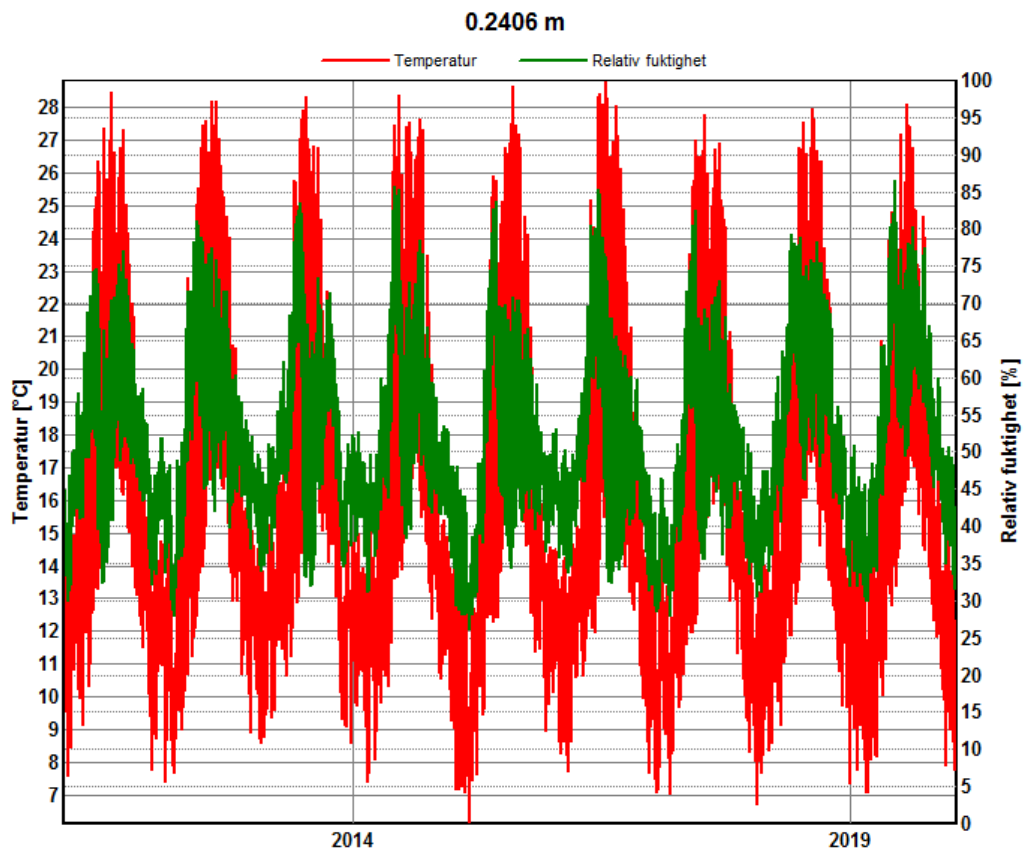
Bygg fuktsäkra takkonstruktioner, Skanska teknik.

Takkonstruktion	Nr 5
Takkonstruktion Bild	
Takkonstruktion Ingående material	Betongtakpannor 25x38 Bärträ 25x25 Ströträ Underlagspapp 22 Råspont 45x360 Kerto s1200 195 Isover Bjlskiva 36 170 Isover Bjlskiva 36 Isover Vario Duplex 45 Isover UNIskiva 36 45 hor träre gel 13 gips
WUFI RF råspont Max år 1 Max år 2 Max år 3	 ≈ 94 % ≈ 93 % ≈ 92 %
Fuktkvot i Råspont Max år 1 Max år 2 Max år 3	 ≈ 25 % ≈ 24 % ≈ 24 %
m-modell, KVK = kritisk varaktighetskvot	2,65
kalkylpris	621 kr/m²
GODKÄND Enligt m-modellen	NEJ

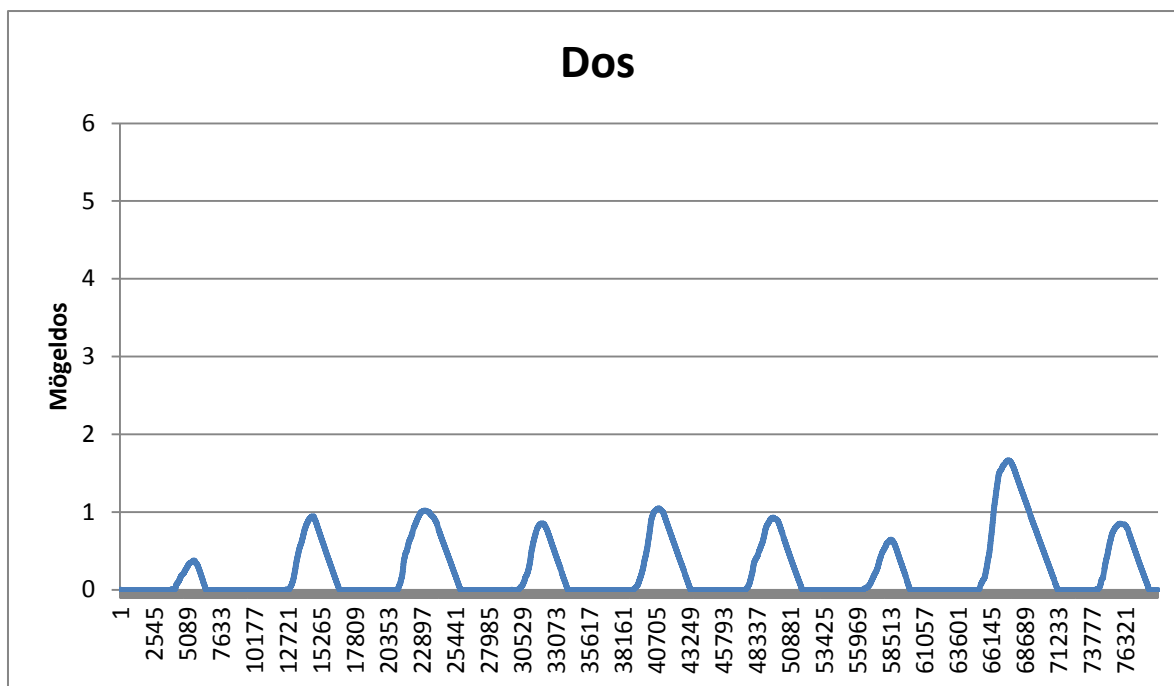
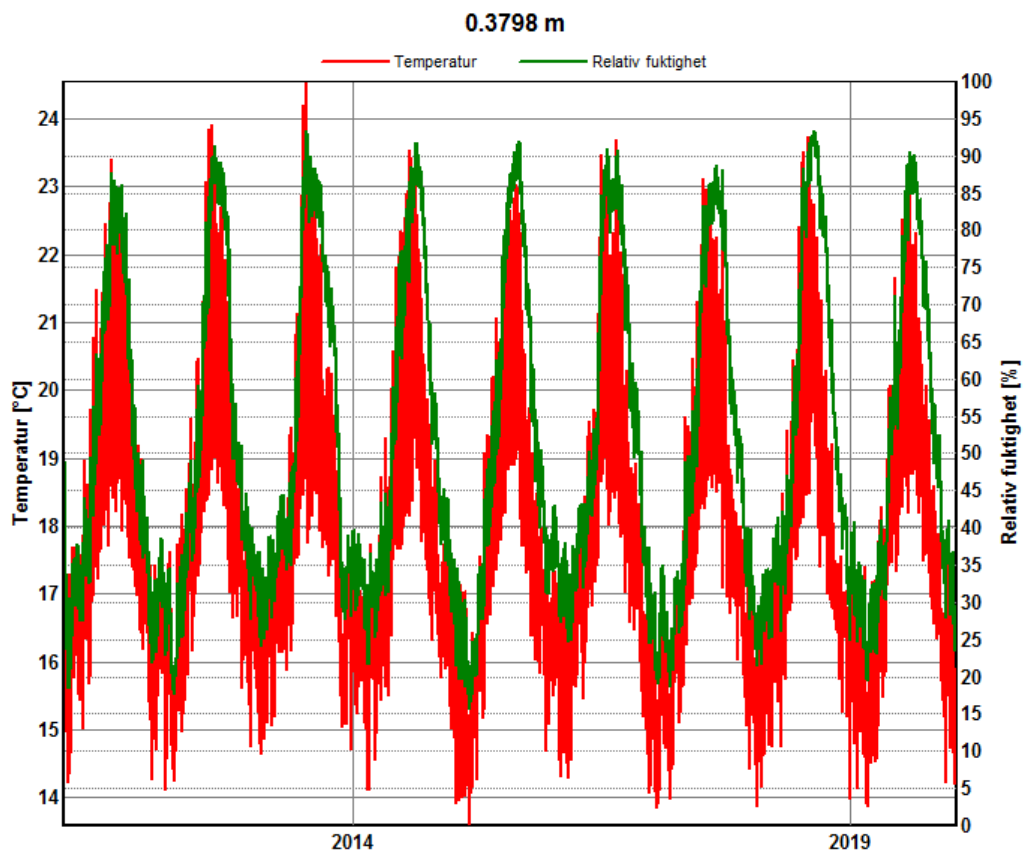
Bilaga 3

Här visas hur analysen av mögelpåväxten har gjorts. Nedan visas ett grönt resultat, ett gult resultat och ett rött resultat.

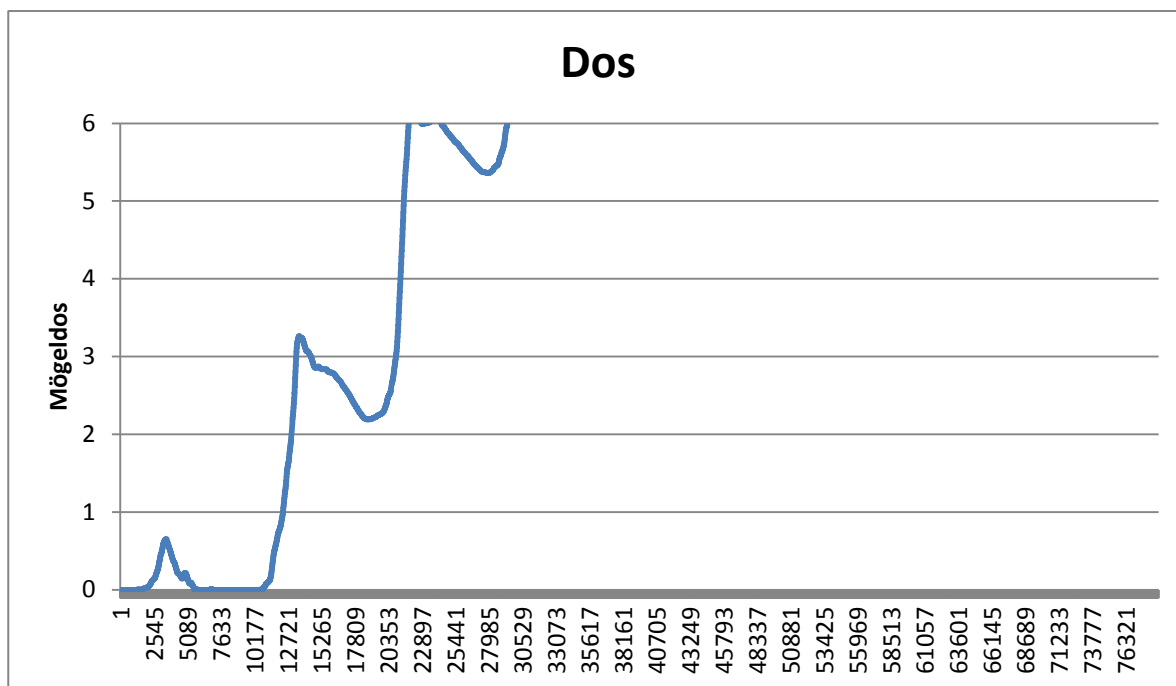
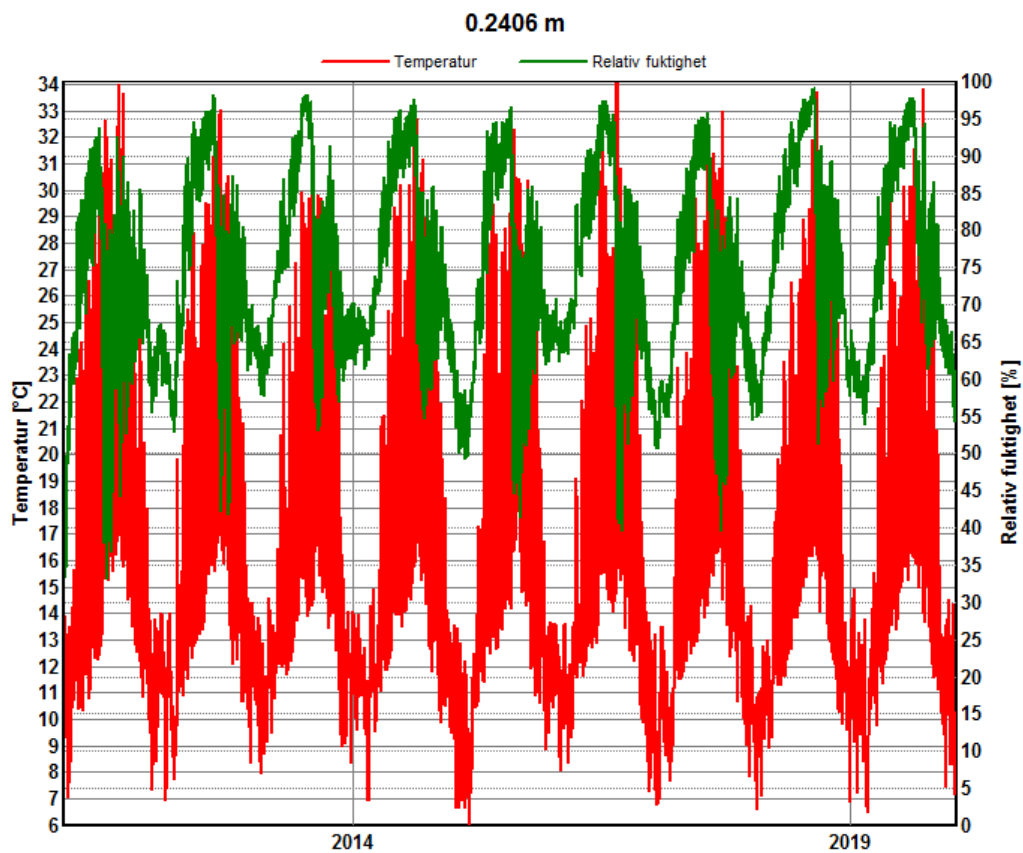
Ventilerat parallelltak med Isover Vario KM Duplex UV, Klimat Luleå, Rött tak, Fuktklass 2, Orientering mot öster, Hål $d_C = 5 \text{ mm per m}^2 \text{ takarea}$.



Icke-ventilerat kompakt tak med Vario KM Duplex UV, Klimat Luleå, Svart tak, Fuktklass 1, Orientering mot norr, Hål $d_c = 5 \text{ mm per m}^2 \text{ takarea}$.



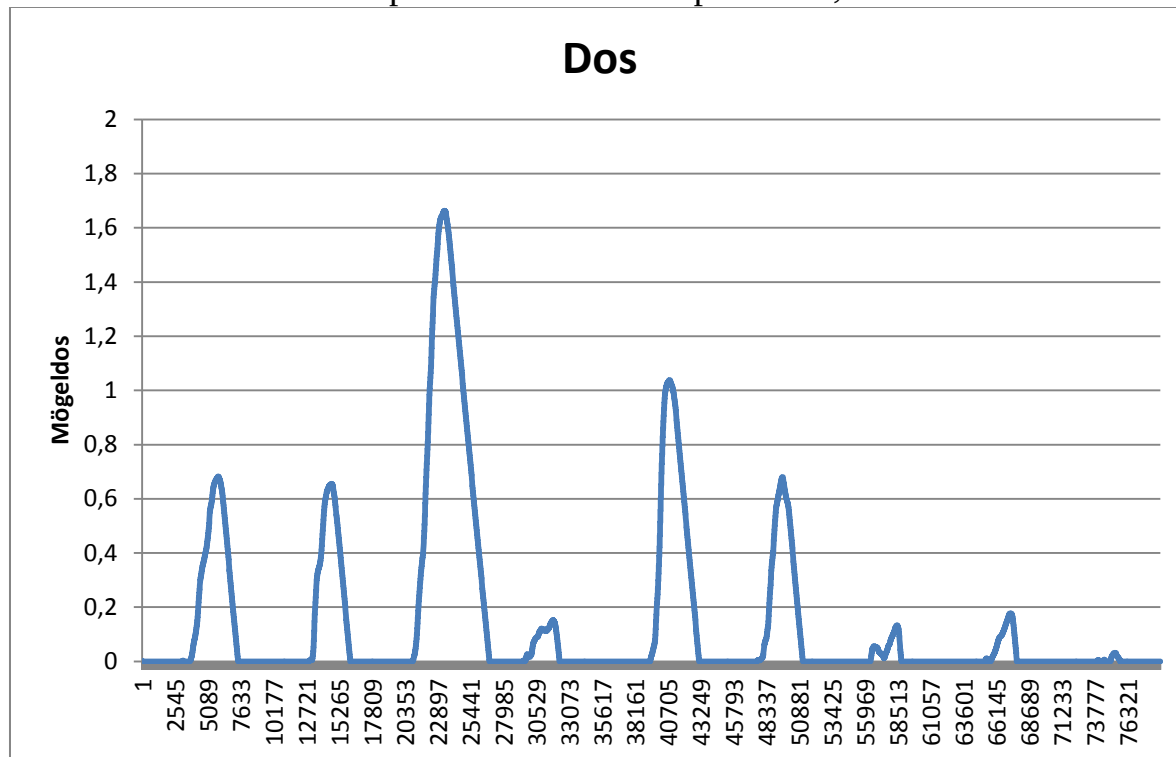
Ventilerat parallelltak med Vario KM Duplex UV, Klimat Luleå, Svart tak, Fuktklass 1, Orientering söder, Hål $d_B = 12 \text{ mm per m}^2 \text{ takarea}$.



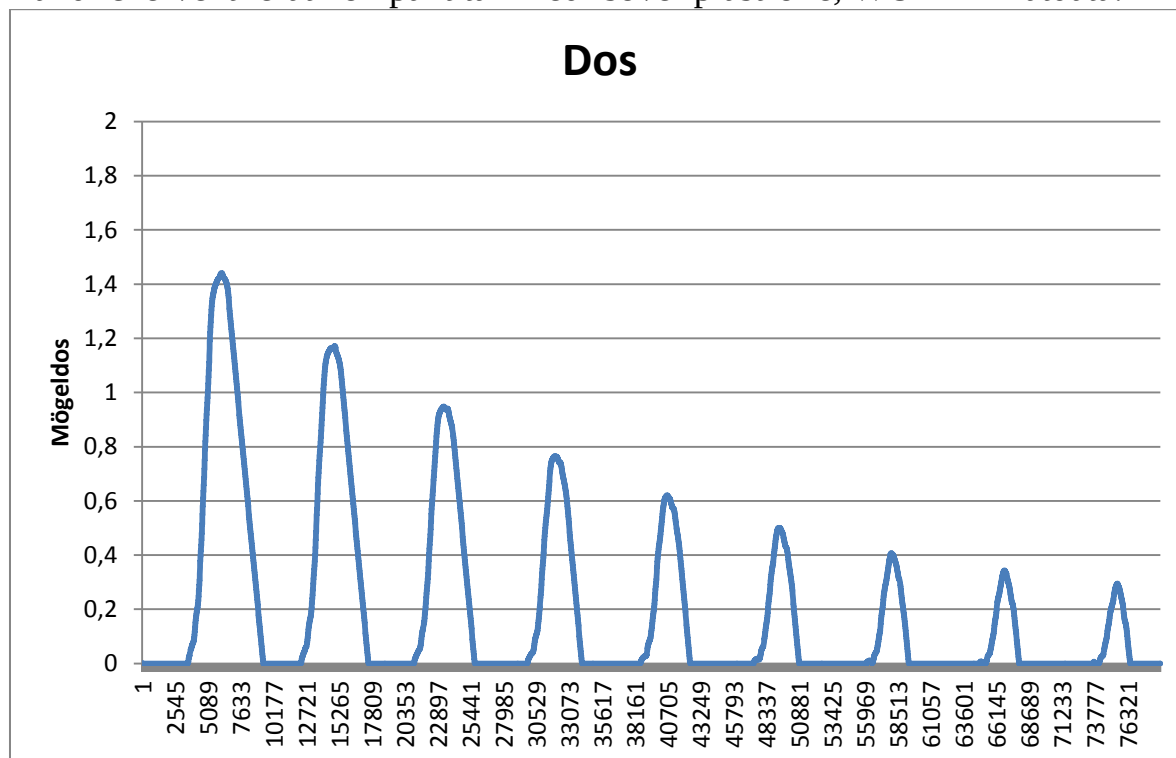
Bilaga 4

Jämförelse mellan konstruktionerna utan hål i ångspärren för att se om valet av klimatdata påverkar mögelpåväxten.

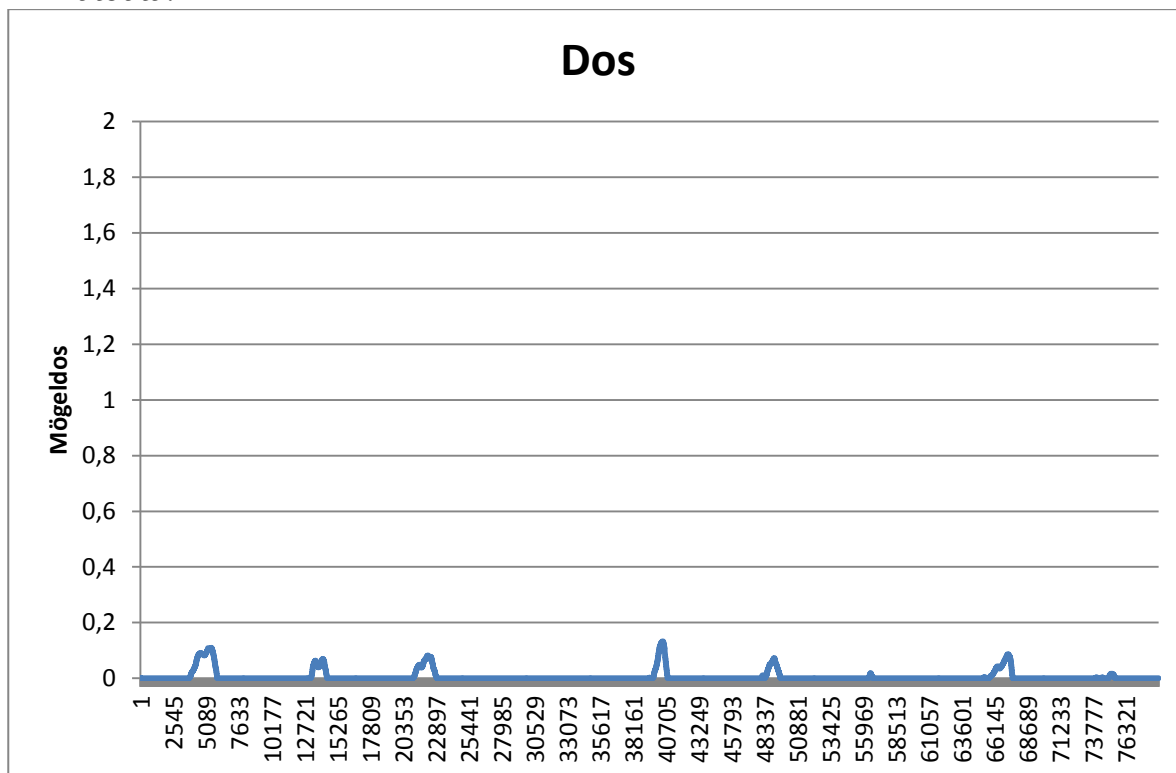
Lund icke-ventilerat kompakt tak med Isover plastfolie, nio års klimatdata.



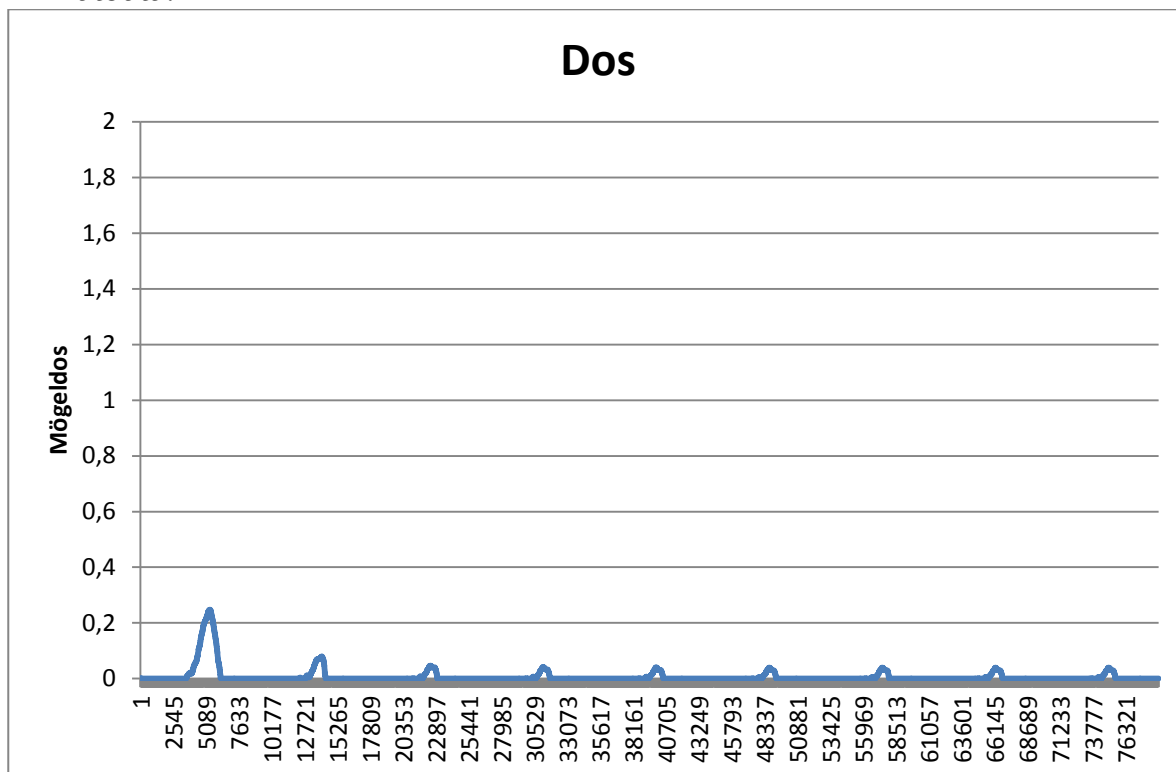
Lund icke-ventilerat kompakt tak med Isover plastfolie, WUFI klimatdata.



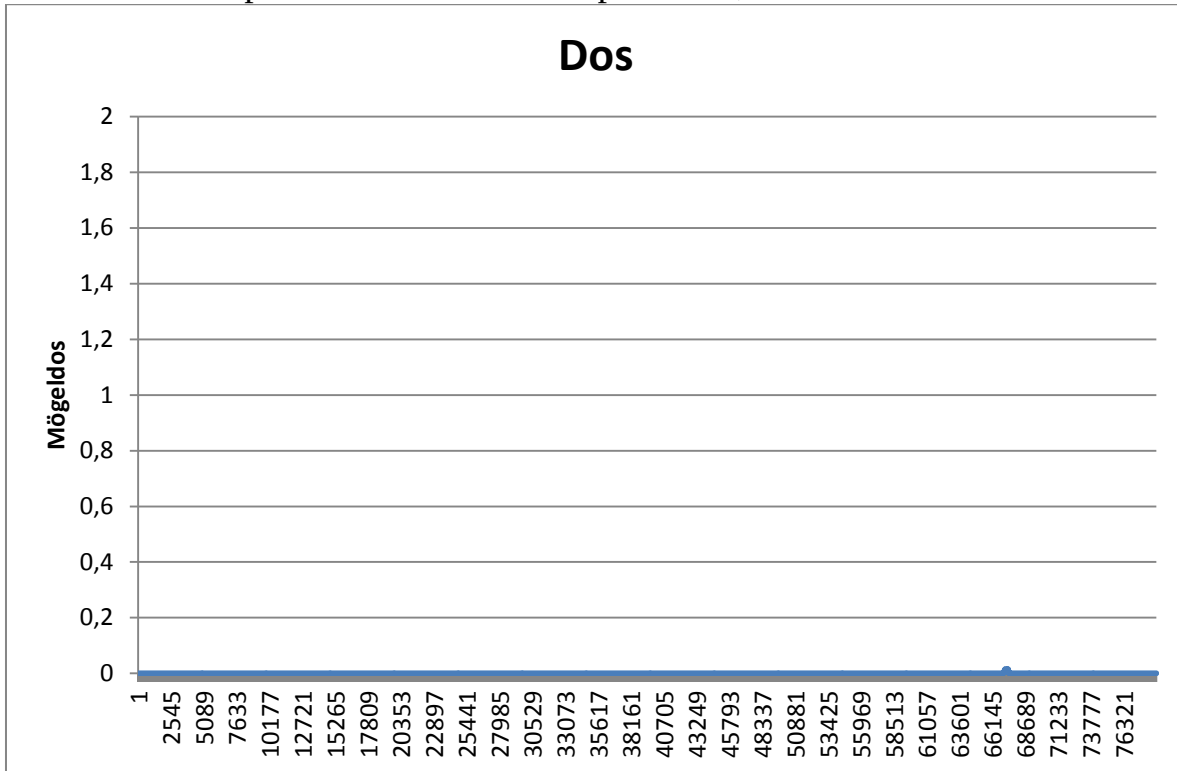
Lund icke-ventilerat kompakt tak med Isover Vario KM Duplex UV, nio års klimatdata.



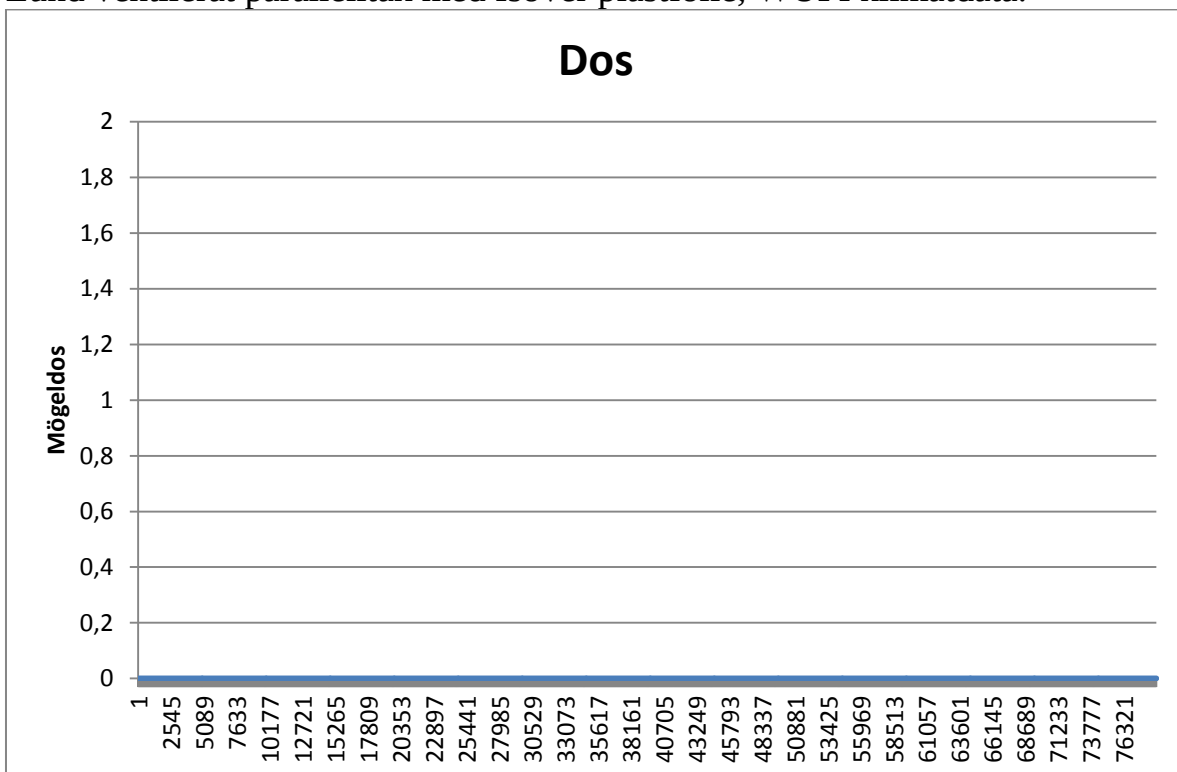
Lund icke-ventilerat kompakt tak med Isover Vario KM Duplex UV, WUFI klimatdata.



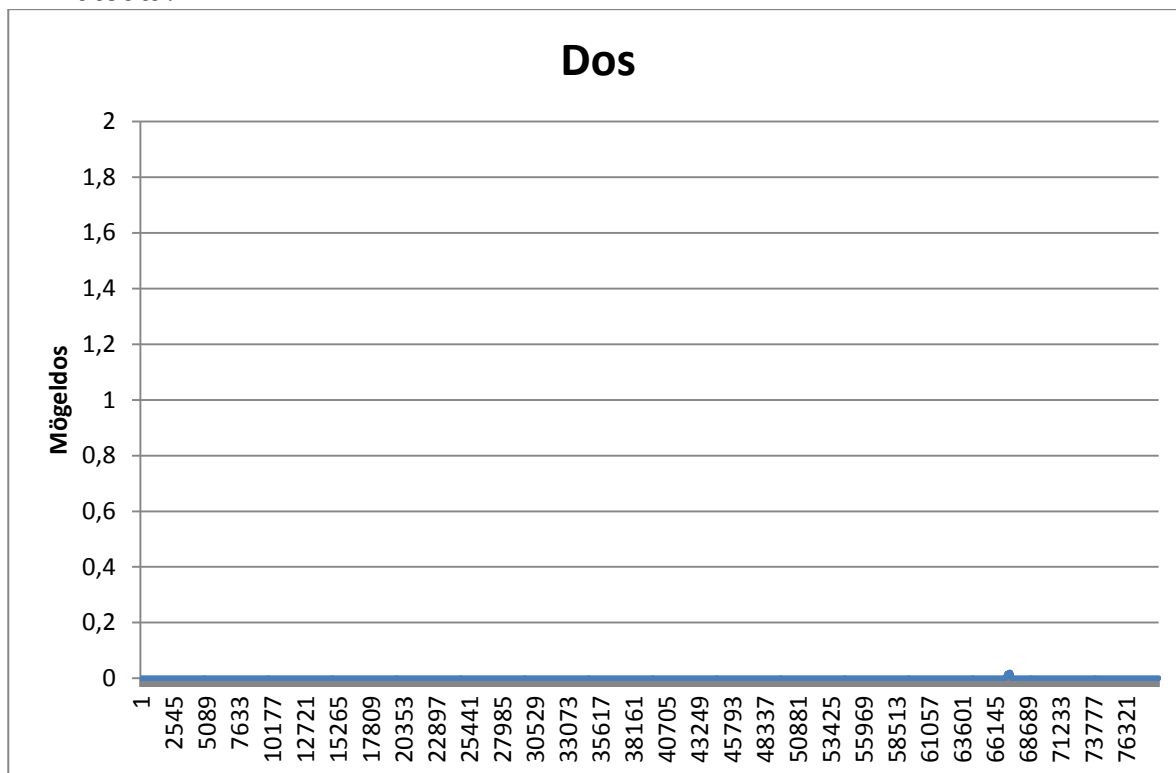
Lund ventilerat parallelltak med Isover plastfolie, nio års klimatdata.



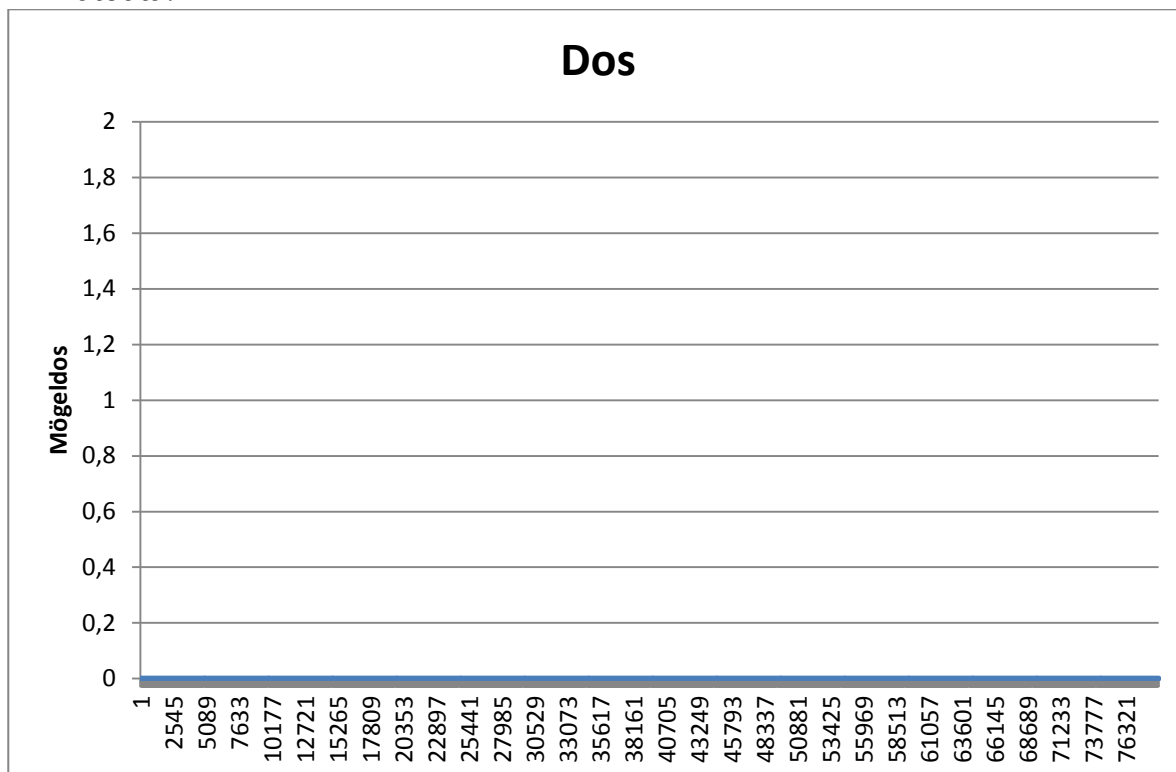
Lund ventilerat parallelltak med Isover plastfolie, WUFI klimatdata.



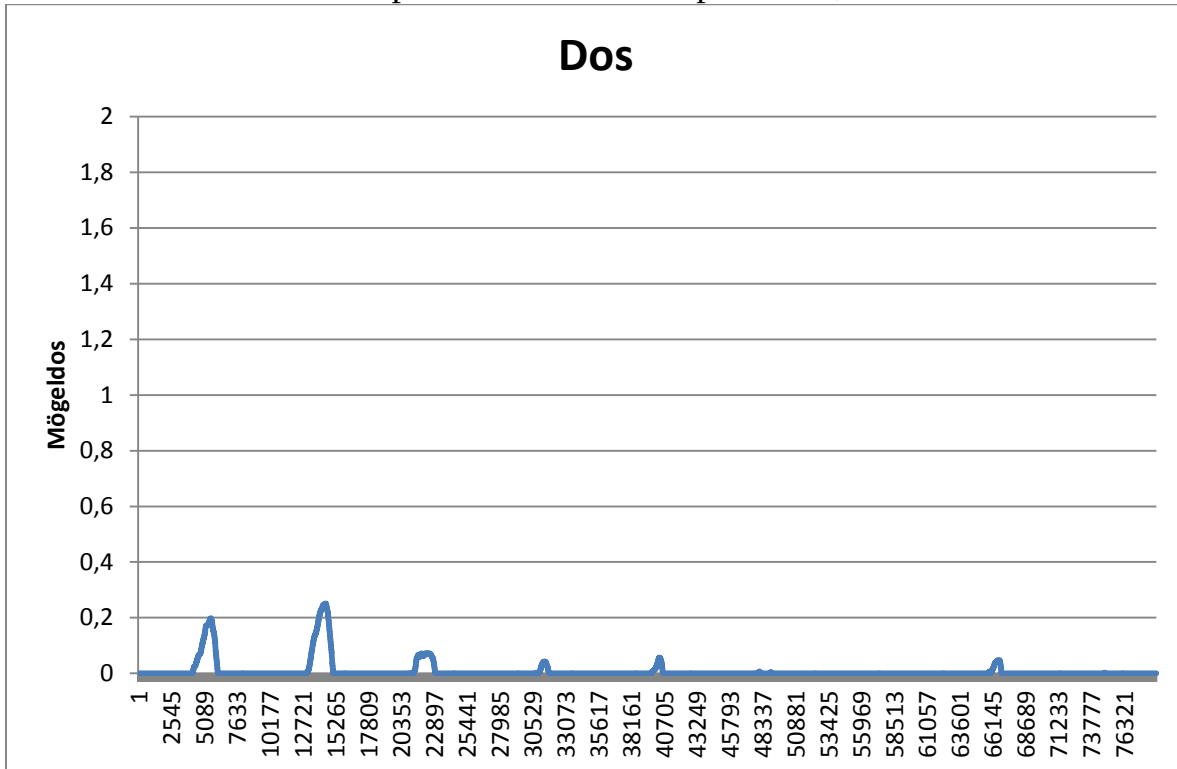
Lund ventilerat parallelltak med Isover Vario KM Duplex UV, nio års klimatdata.



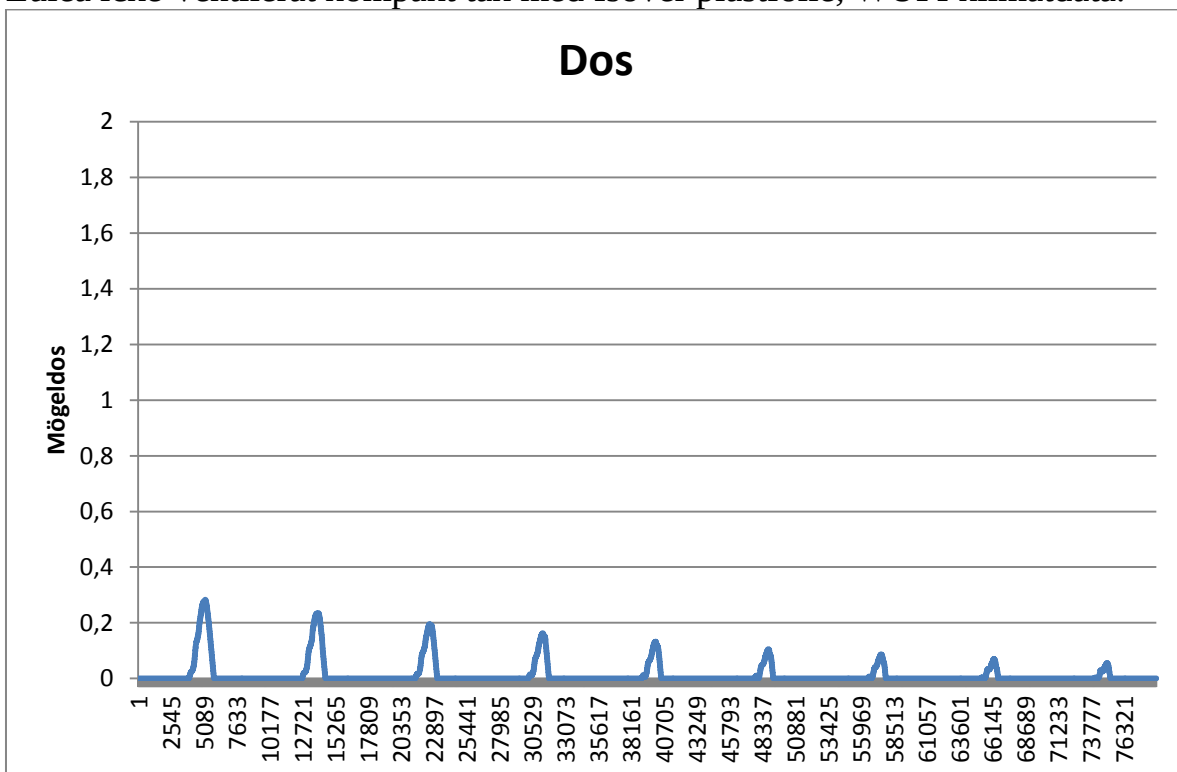
Lund ventilerat parallelltak med Isover Vario KM Duplex UV, WUFI klimatdata.



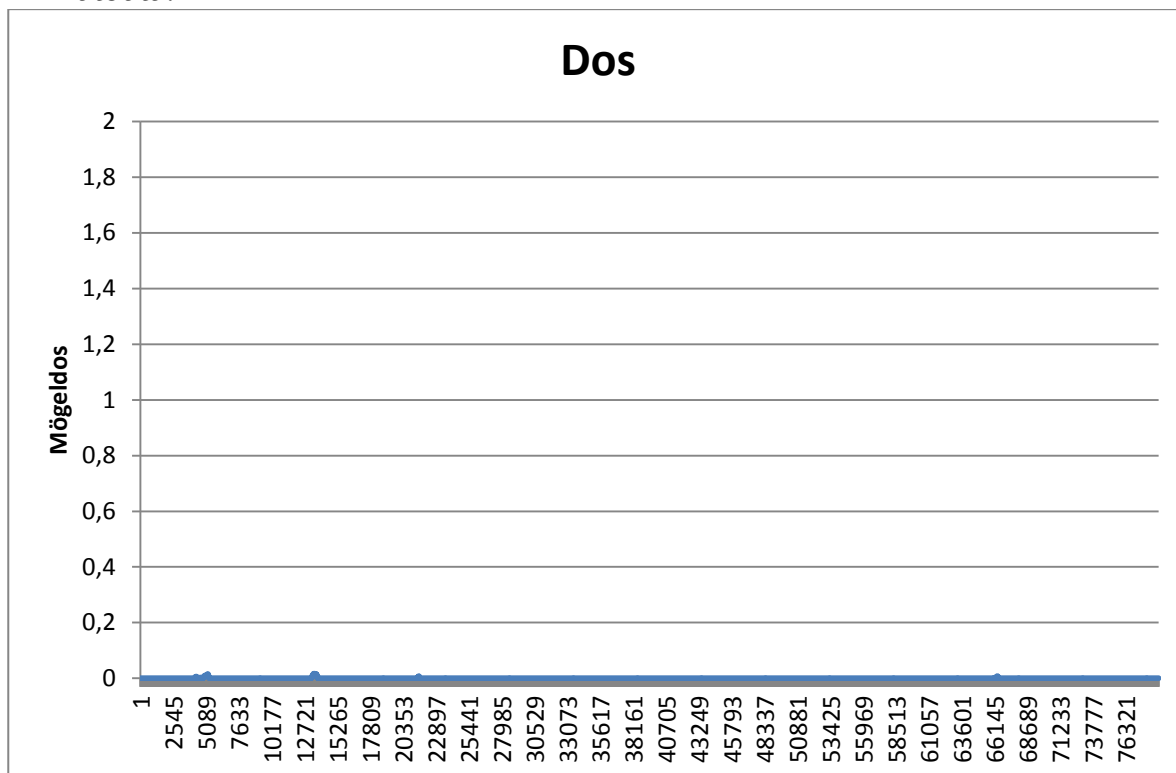
Luleå icke-ventilerat kompakt tak med Isover plastfolie, nio års klimatdata.



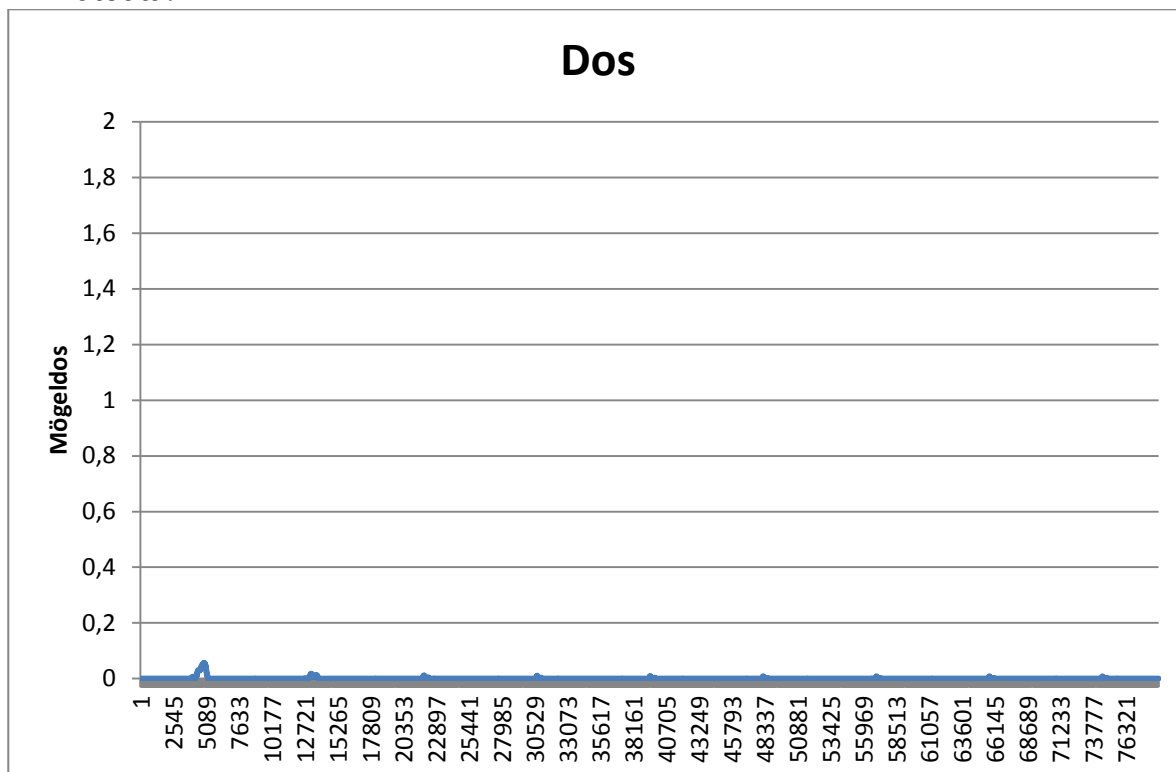
Luleå icke-ventilerat kompakt tak med Isover plastfolie, WUFI klimatdata.



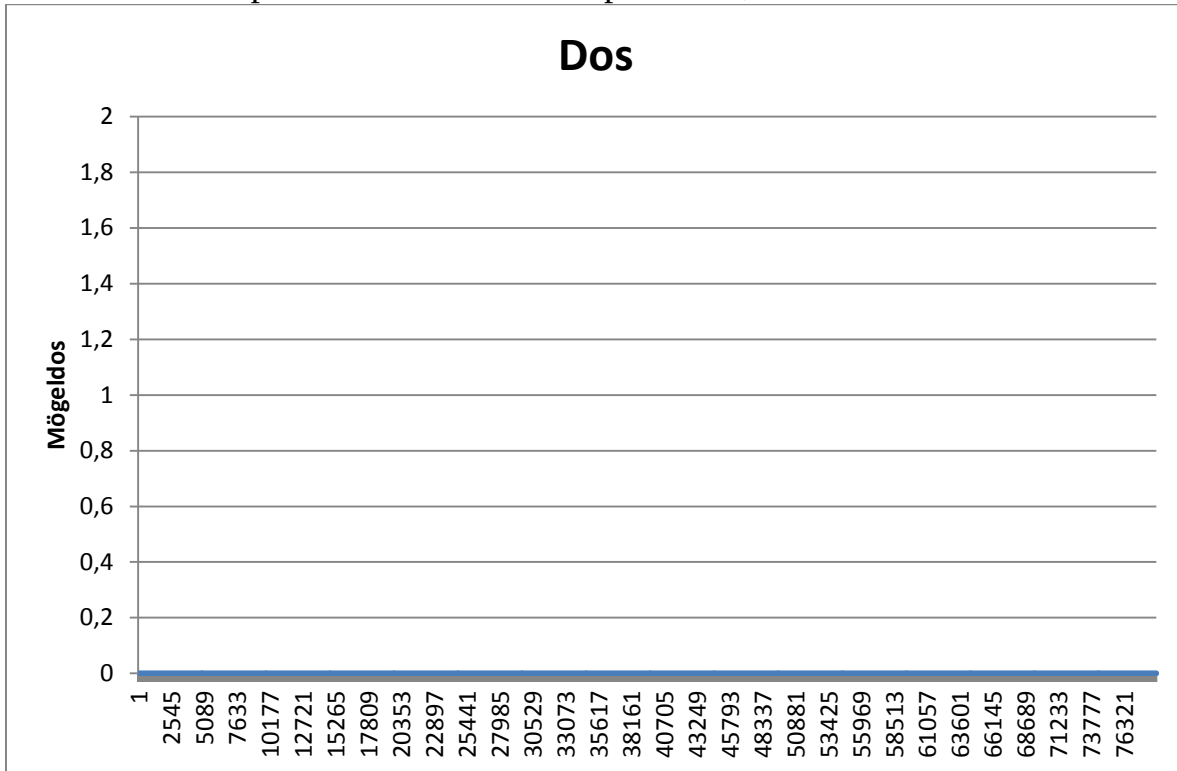
Luleå icke-ventilerat kompakt tak med Isover Vario KM Duplex UV, nio års klimatdata.



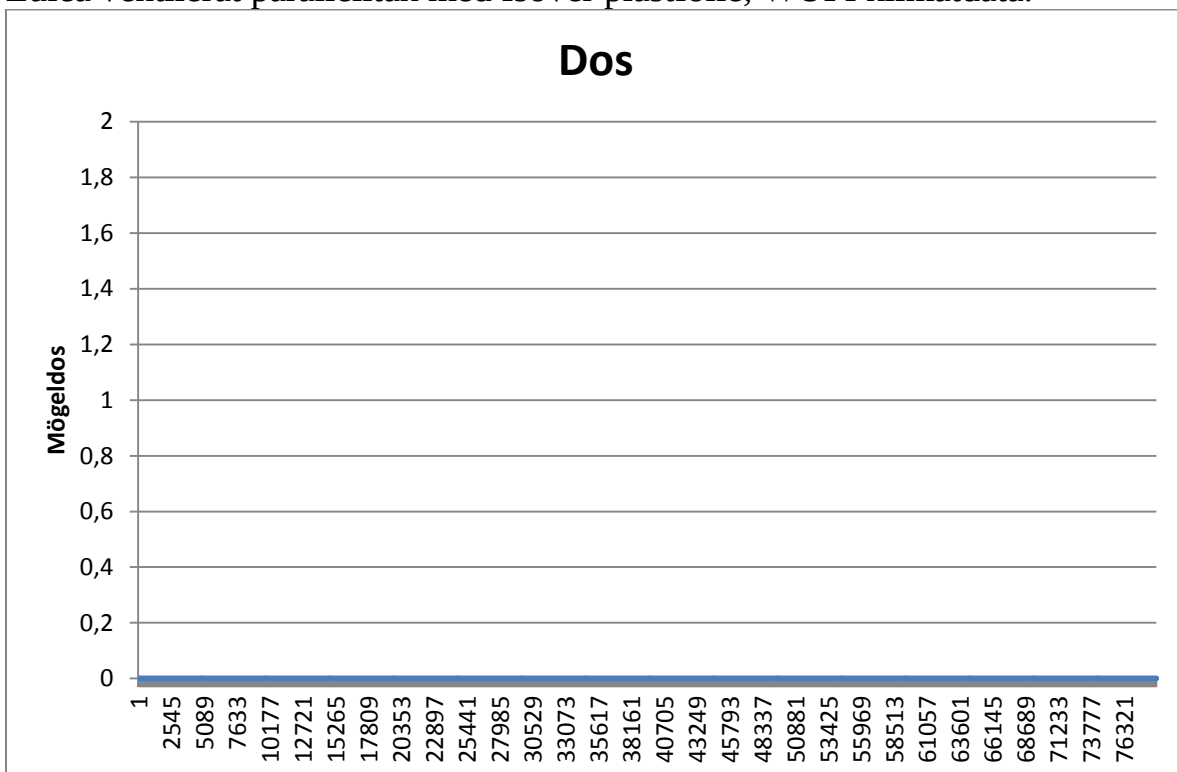
Luleå icke-ventilerat kompakt tak med Isover Vario KM Duplex UV, WUFI klimatdata.



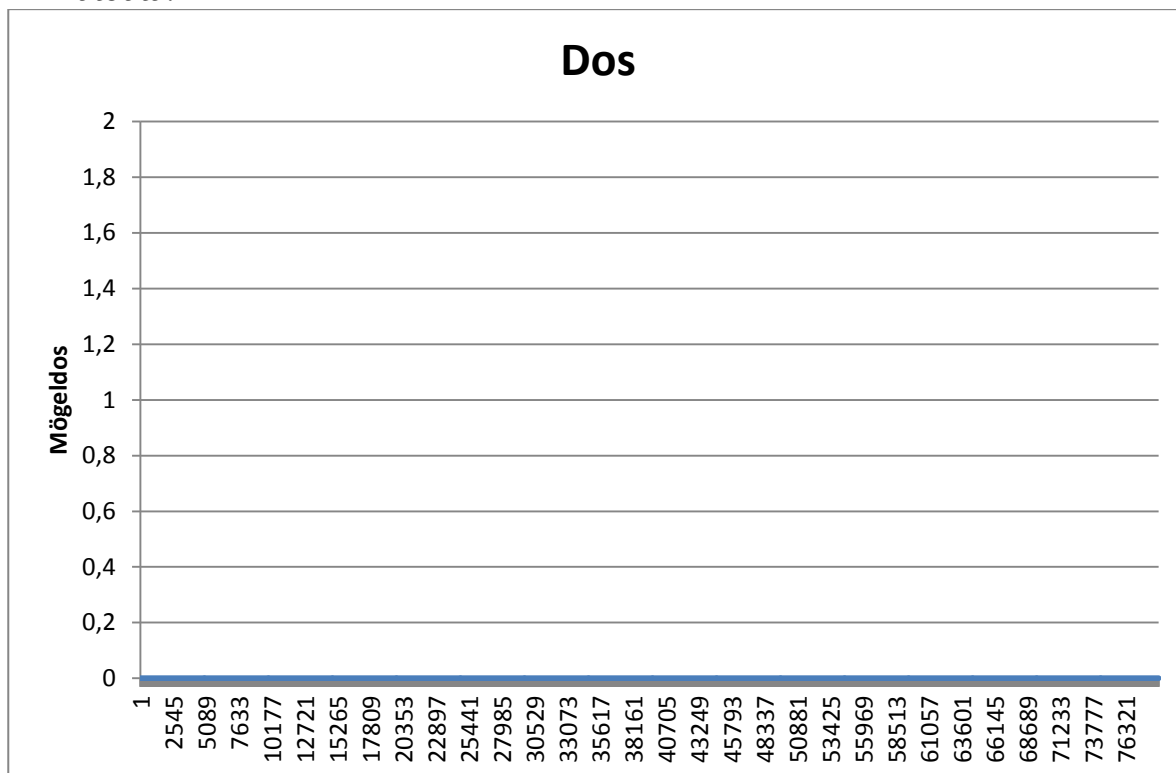
Luleå ventilerat parallelltak med Isover plastfolie, nio årsklimatdata.



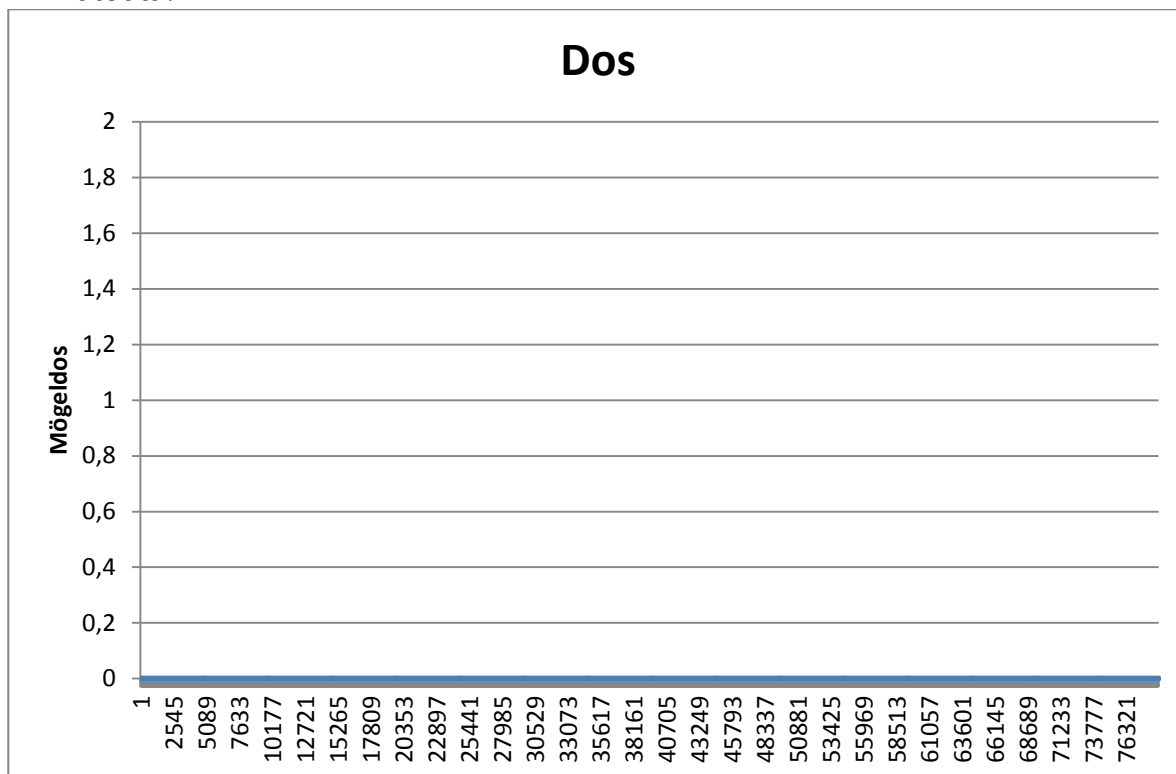
Luleå ventilerat parallelltak med Isover plastfolie, WUFI klimatdata.



Luleå ventilerat parallelltak med Isover Vario KM Duplex UV, nio års klimatdata.

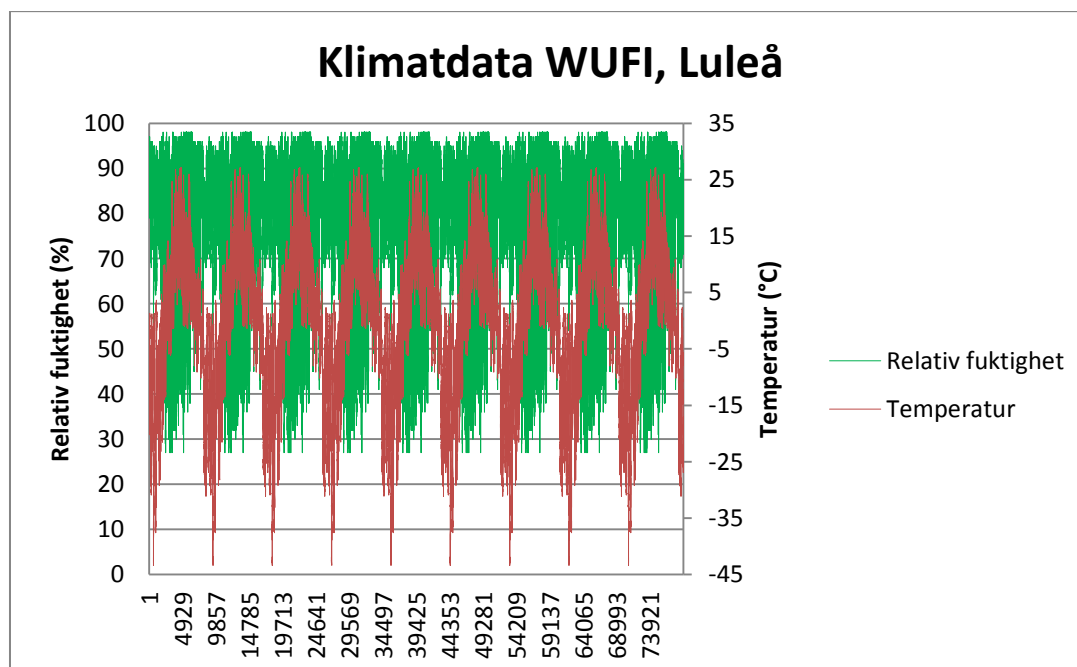
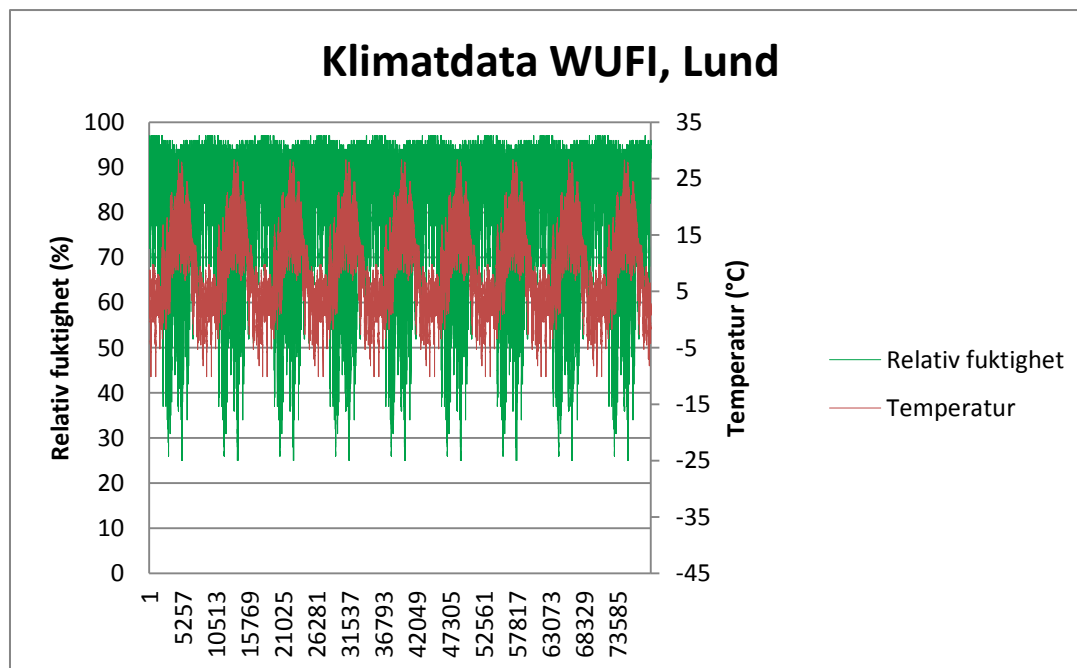


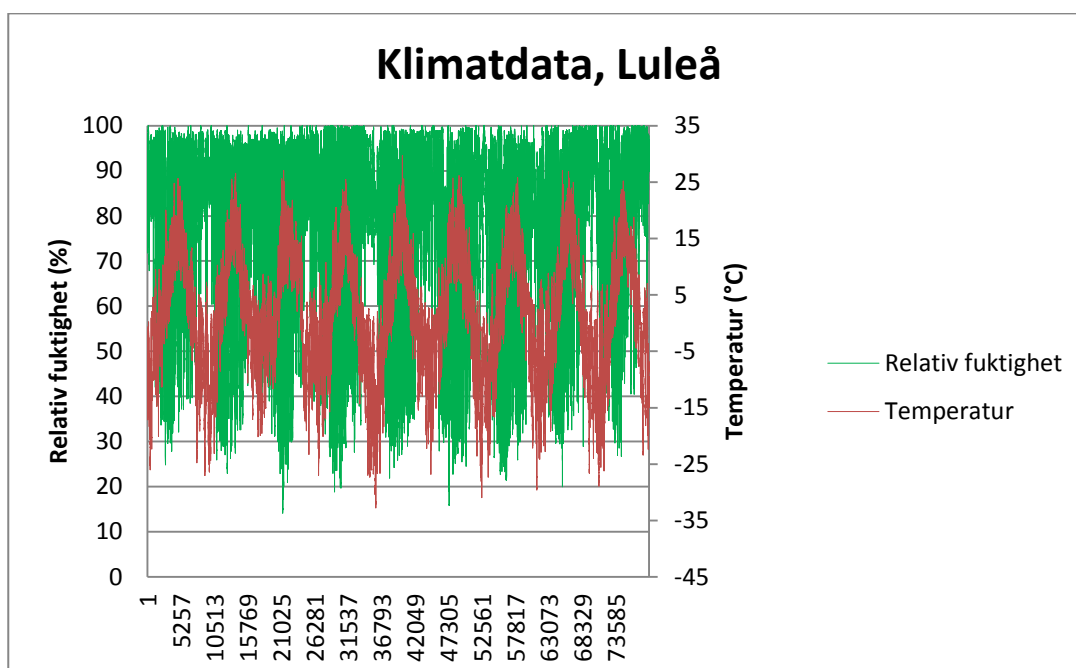
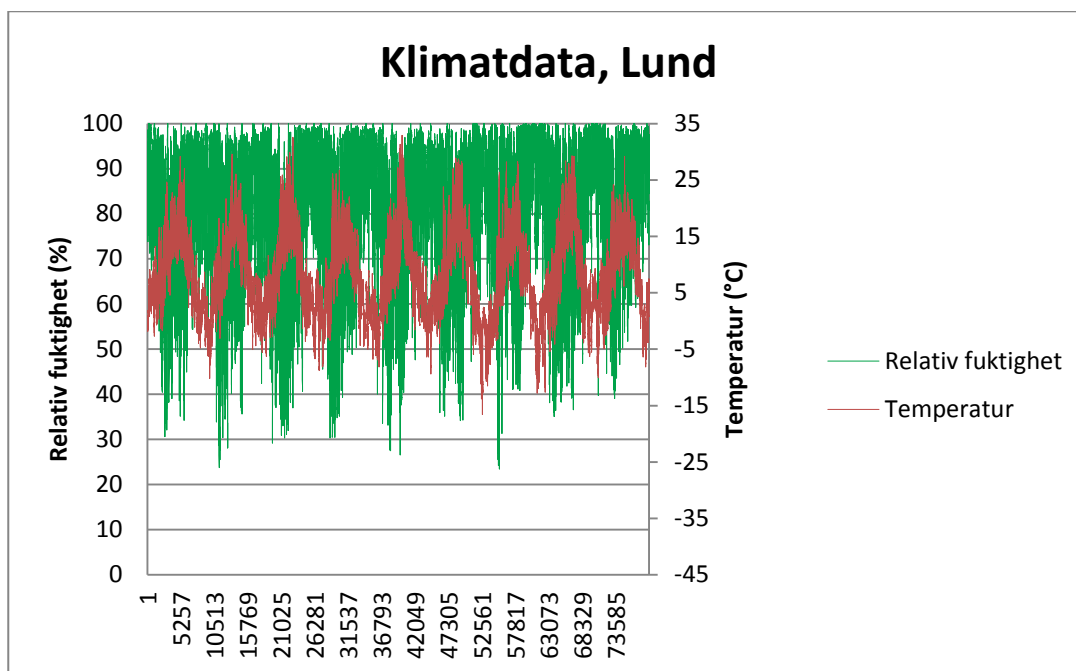
Luleå ventilerat parallelltak med Isover Vario KM Duplex UV, WUFI klimatdata.



Bilaga 5

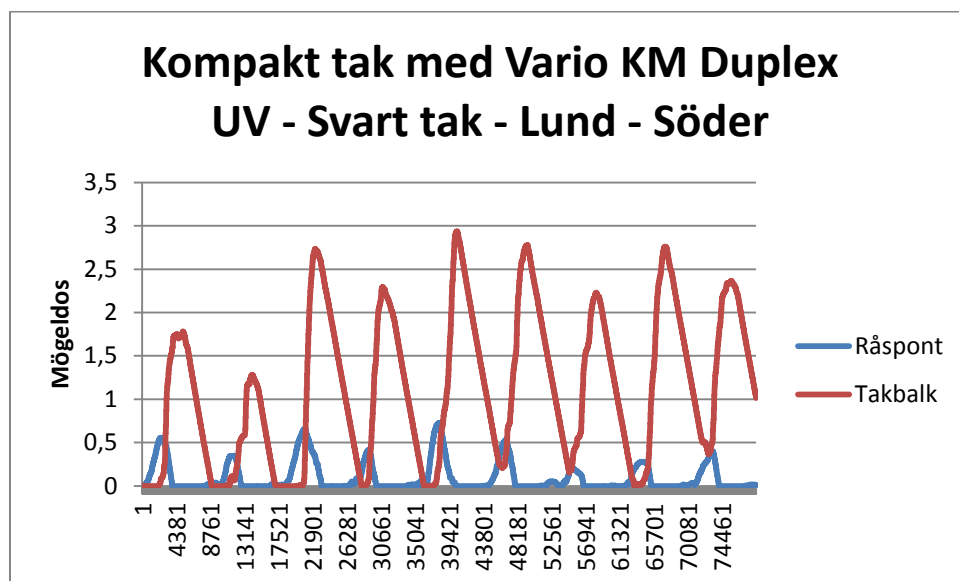
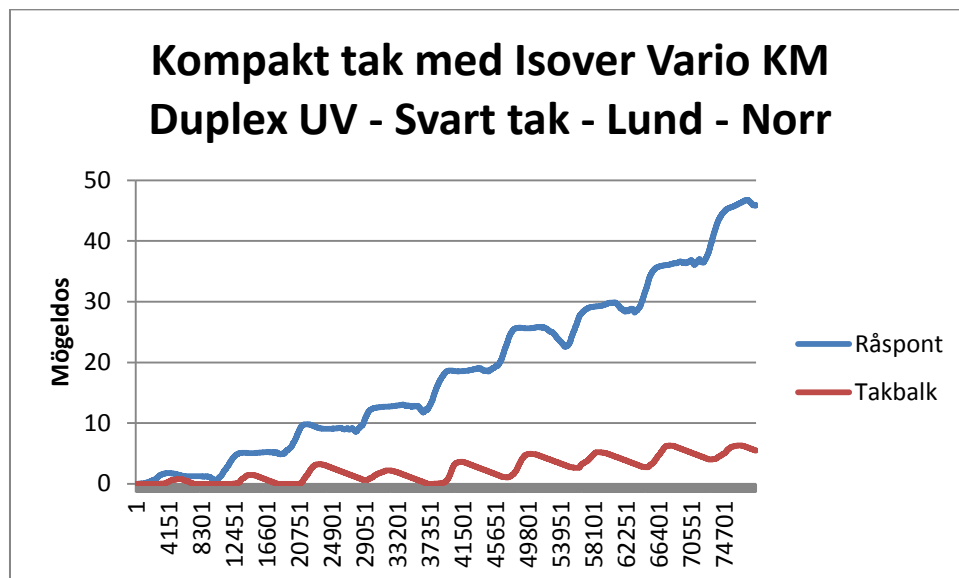
Jämförelse mellan den relativa fuktigheten och temperaturen i det klimatdata som finns i WUFI och nio års klimatdata som använts.





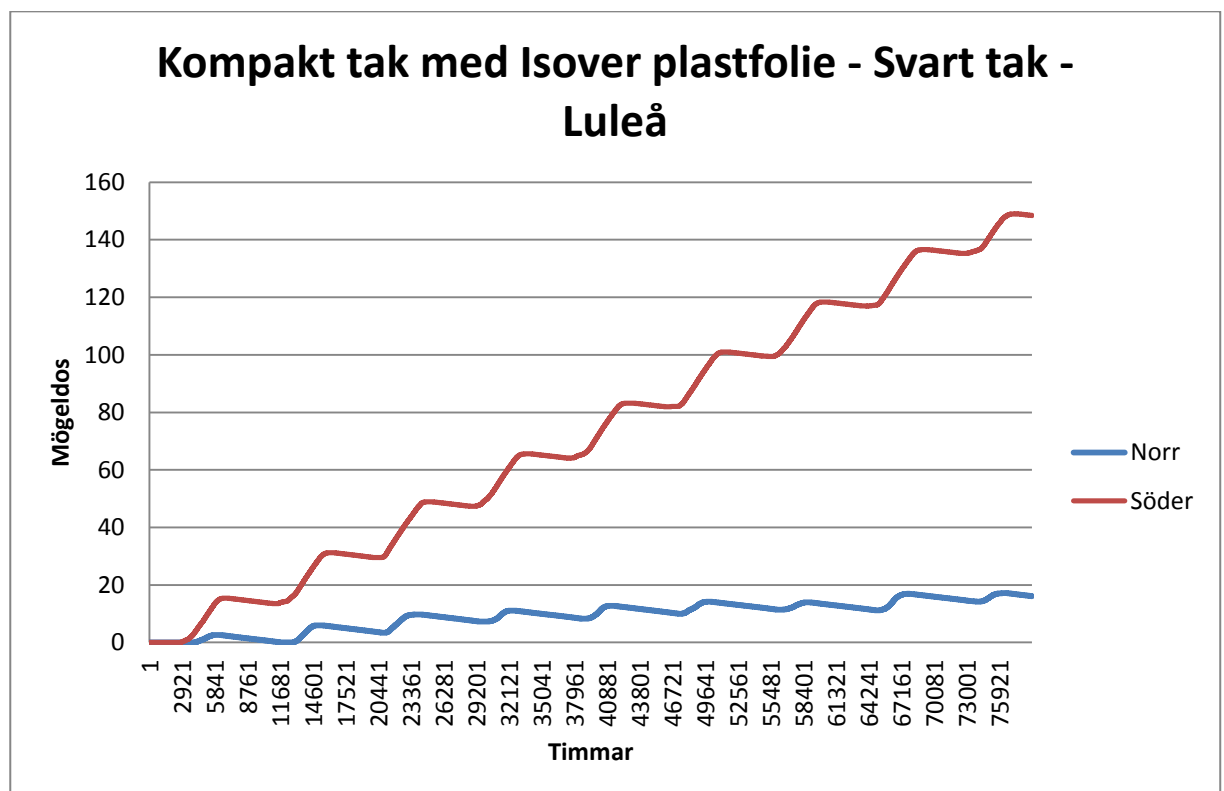
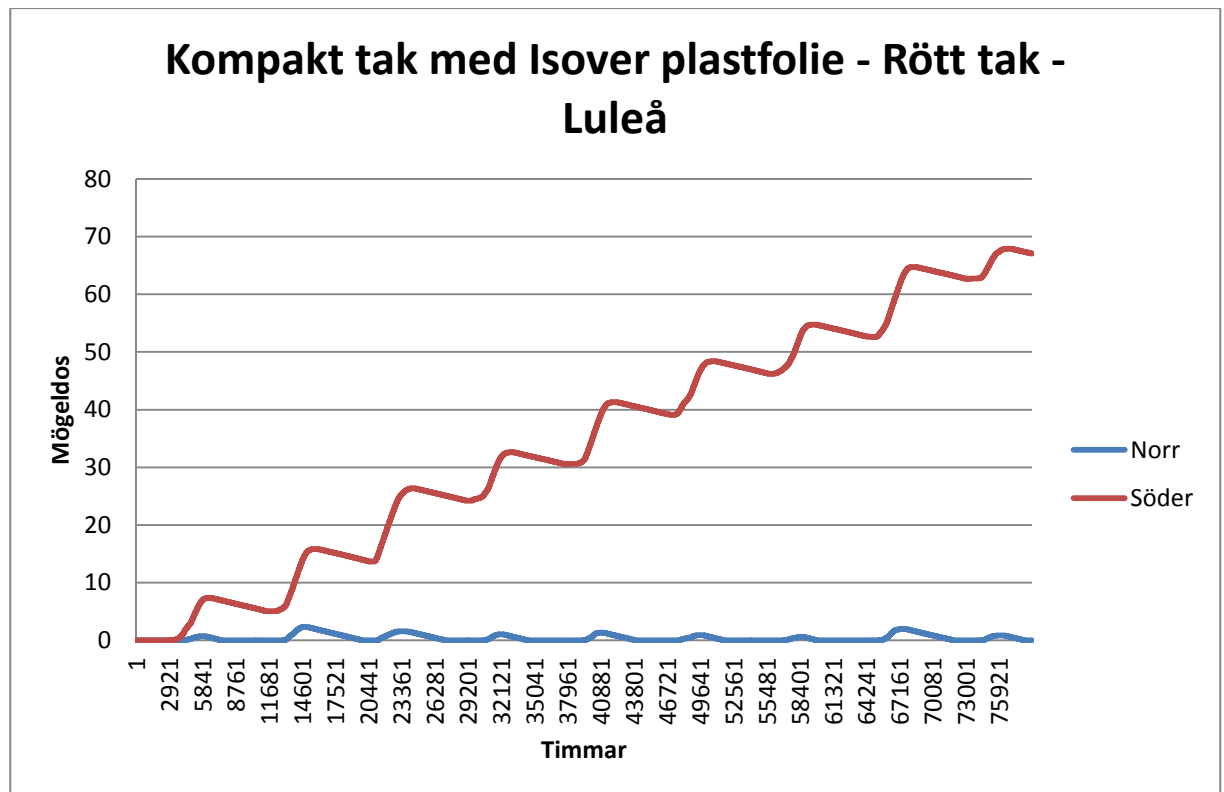
Bilaga 6

Jämförelse av mögeldos för takbalken och råsponten vid ett hål i ångspärren på ($d_c = 5 \text{ mm per m}^2 \text{ takarea}$).

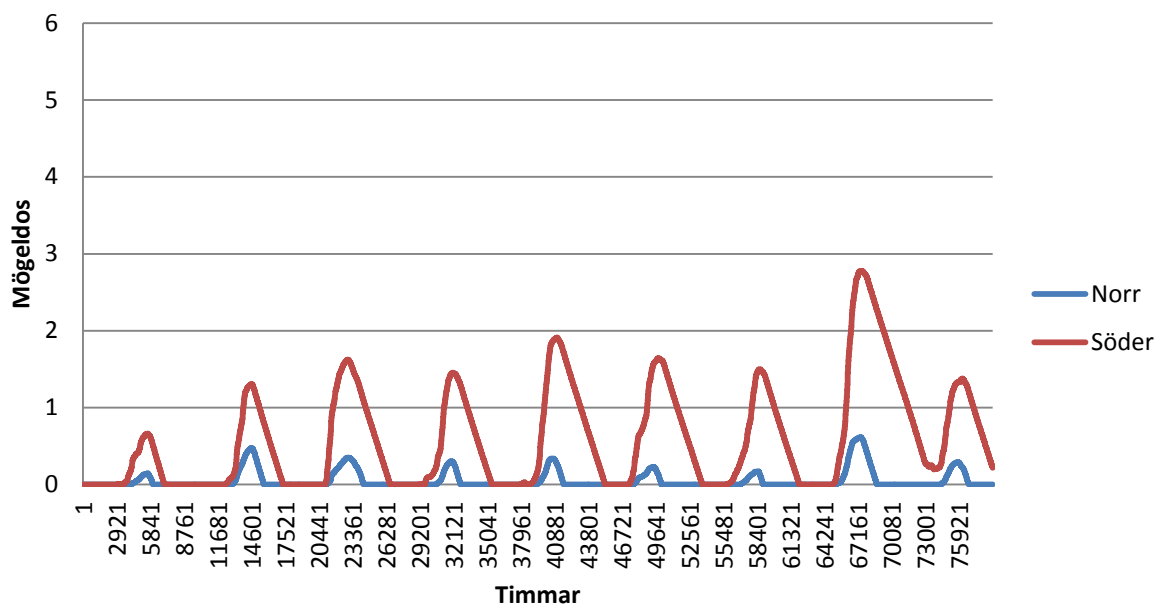


Bilaga 7

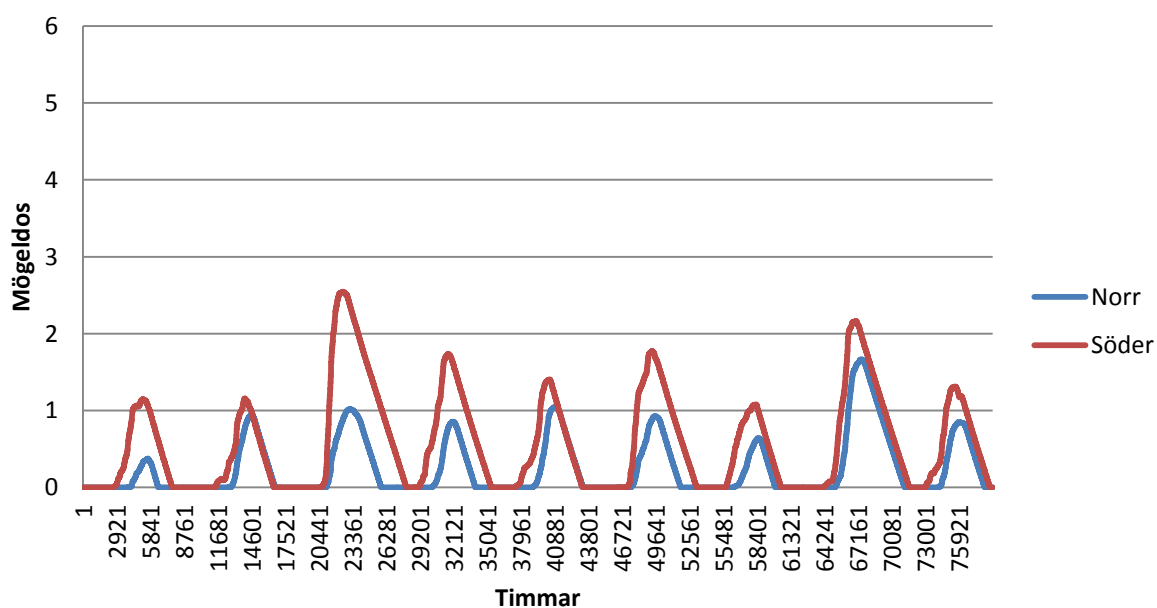
Takets orientering och färgens betydelse för mögelpåväxt.



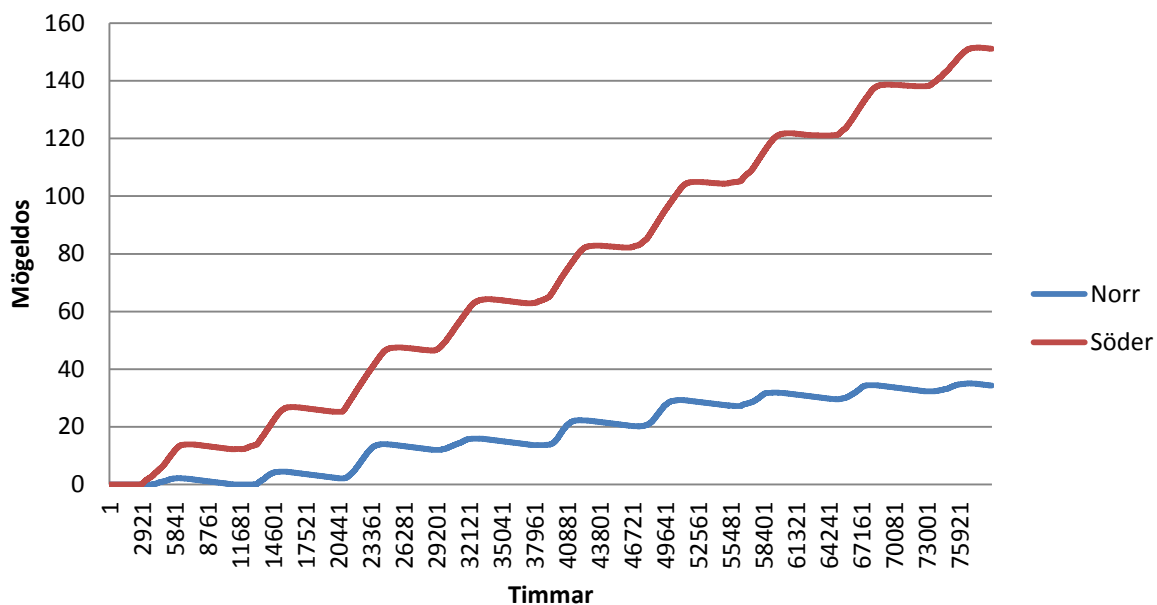
Kompakt tak med Vario KM Duplex UV - Rött tak - Luleå



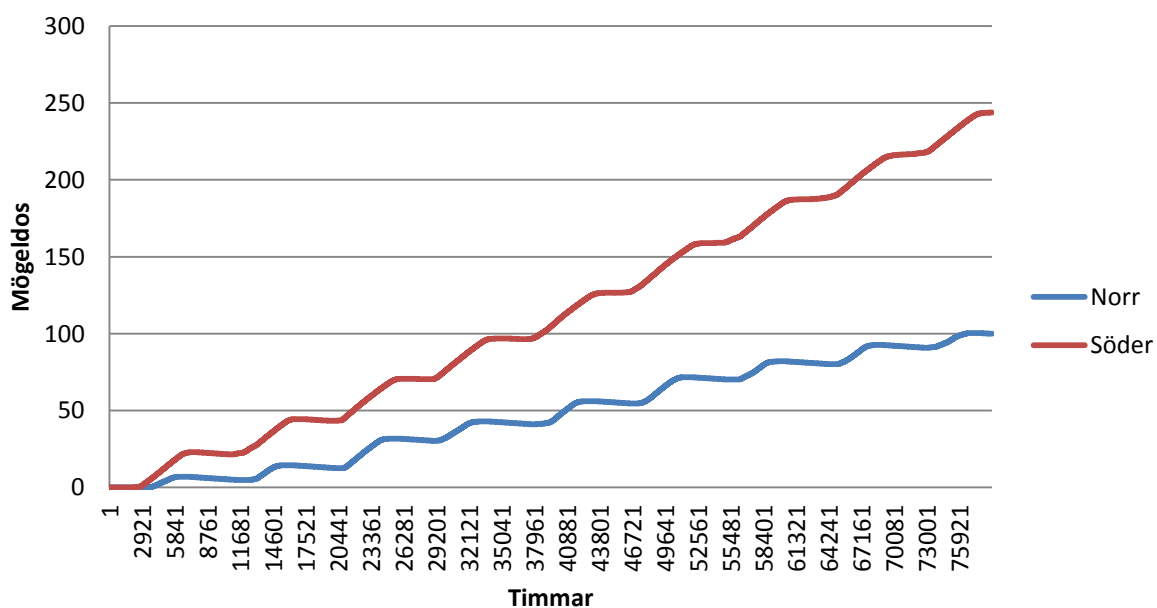
Kompakt tak med Isover Vario KM Duplex UV - Svart tak - Luleå



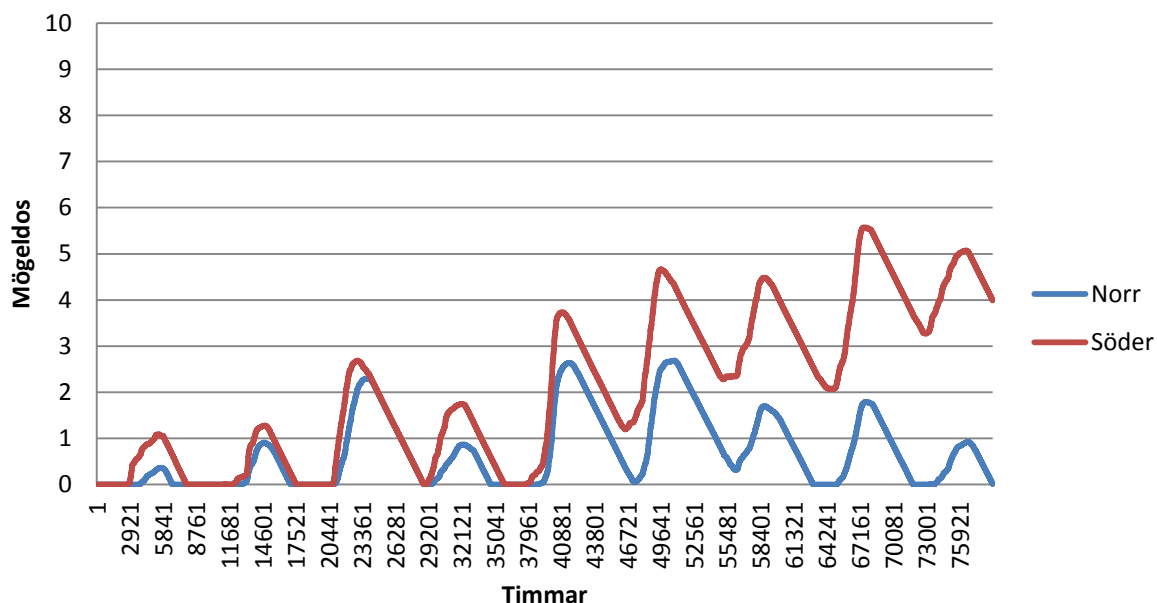
Kompakt tak med Isover plastfolie - Rött tak - Lund



Kompakt tak med Isover plastfolie - Svart tak - Lund



Kompakt tak med Isover Vario KM Duplex UV - Rött tak - Lund



Kompakt tak med Isover Vario KM Duplex UV - Svart tak - Lund

