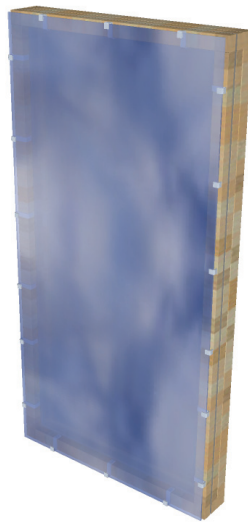


Avdelningen för Byggnadsfysik
Examensarbete TVBH-5066
Lund 2012

Fuktberäkningar av bärande glas- och träparti

Fredrik Olsson



LUND
UNIVERSITY

Fuktberäkningar av bärande glas- och träparti

Fredrik Olsson

© Fredrik Olsson

ISRN LUTVDG/TVBH-12/5066--SE(73)

Avdelningen för Byggnadsfysik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
22100 LUND

Förord

Att arbeta med ett relativt nytt område som bärande glas är av stort intresse. Det är givande och nyttigt att få vara med och utveckla detta område och därigenom få fördjupa sig i beräkningsprogram. Detta är av ytterst intresse och därför är det ett nöje att undersöka detta.

Detta är ett examensarbete utfört av Fredrik Olsson, student vid Lunds Tekniska Högskola under institutionen Byggnadsfysik och omfattar 30 högskolepoäng.Handledarna till detta examensarbete är Petter Wallentén (Universitetslektor på Lunds Tekniska Högskolas institution för byggnadsfysik) och Elisabeth Flygt (tvärvetenskaplig projektledare på Glafo). Lars-Erik Harderup (Universitetslektor på Lunds Tekniska Högskolas institution för byggnadsfysik) är examensarbetets examinator.

Sammanfattning

I detta examensarbete undersöks kondensrisken samt risken för röta och mögelpåväxt på ett isolerat bärande glasparti vars karm är av trä.

Med hjälp av handberäkningar och kommersiella beräkningsprogram etablerar skribenten en bas för hur glas och trä i samverkan skulle kunna hantera de fuktproblem som kan uppstå i eller på produkten. Handberäkningarna är viktiga då en bas för hur situationen ser ut etableras. För att styrka datorberäkningarnas validitet beaktas handberäkningarna för att se om resultaten konvergerar.

Att ha kontroll på mängden fukt i den inre träkarmen är ett måste för att få en hållbar produkt. Med denna sänkning minimerar man inte bara kondensrisken utan även mögelpåväxten på spaltens träkarmyta. Ytterkarmen bör ytbehandlas för att undvika mögelpåväxt. I examensarbetet framgår det även att risken för röta är försumbar.

Nyckelord: "Glas och Trä i samverkan", Wufi, Kondens, Träkarm, Bärande glas, Mögel, Glafo

Abstract

In this thesis the author investigates the risk for condensation, mould growth and rotting on an insulated bearing window which frame is made of wood.

With the help of manually made calculations and the usage of conventional calculation software the author will establish a base for how glass and wood in collaboration could handle moisture related issues that may occur in the product. The manually made calculations are important because they establish a base of the situation. To strengthen the programming's validity in the calculation software the manually made calculations are taken into consideration to see if the results converge.

To reduce the amount of moisture in the inner frame is a must to get a working product. With this reduction, not only will the risk for condensation be minimized on the inside of the bearing glass but also the mould growth on the wooden frame surface of the gap. The surface of the outer frame should be treated to avoid mould growth. It is deduced in the thesis that the rot risk is negligible.

Key words: "Glass and wood in collaboration", Wufi, Condensation, Wooden frame, Bearing glass, Mold, Glafo

Innehållsförteckning

Sammanfattning	ii
Abstract	iii
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte och målsättning	1
1.3 Beskrivning av prototypen.....	2
1.4 Avgränsningar.....	3
1.5 Glafo	3
2 Teoridel.....	5
2.1 Metod	5
2.2 Kritisk fuktighet i träkarm.....	5
2.2.1 Ytbehandling.....	5
2.3 Kondens på glaspartier	8
2.3.1 Det bärande glasets insida.....	8
2.3.2 Lösningar.....	9
2.4 Lim	9
2.5 Anslutningar.....	10
2.5.1 Ångspärr.....	10
2.5.2 Betong och lättbetong	11
2.5.3 2-stegs tätning	11
2.5.4 Placering i väggen	12
2.6 Wufi	12
2.7 HEAT2	13
2.8 Mögel och röta	14
3 Beräkningar.....	15
3.1 Handberäkningar	15
3.1.1 Metod	15
3.1.2 Ytterkarm.....	15

3.1.3	Innerkarm	17
3.2	PC-beräkningar	32
3.2.1	Metod	32
3.2.2	HEAT2	32
3.2.3	Wufi	33
4	Resultat och Analys.....	47
4.1	Ytterkarmen.....	47
4.2	Innerkarmen och kondens.....	47
4.3	Alternativa lösningar	48
4.4	Validitet	48
5	Slutsats och Diskussion.....	49
5.1	Ytterkarmen.....	49
5.2	Innerkarm	49
5.3	Kondens.....	50
6	Avslutning	51
7	Referenser	53
8	Bilaga	55

1 Inledning

1.1 Bakgrund

”Dagens arkitektur söker nya uttryck, öppna planlösningar och stora glaspartier vilket ställer nya krav. Energisparkraven som kommit i de nya byggnormerna, hur kommer dessa att påverka utseendet i framtida bostäder? Kan trä och glas kombineras i bärande konstruktioner? Vilka möjligheter ger i så fall detta vad gäller gestaltning, tekniska egenskaper som bärighet, svikt, ljud, deformationer, brand och energi? Möjligheterna är många, frågorna också” (Glafo 1).

Under ett antal år har Glafo och andra organisationer inom branschen utträtt och framställt prototyper där glas är bärande och tillsammans med trä bildar ett element i en byggnads-konstruktion. En av prototyperna är ett väggelement med bärande glas som är avsett att vara ett ytterväggelement (Glafo 1).

Projektet är nu slut och det finns några frågor som kvarstår. En av dessa frågor är hur fönstret fungerar ur en fuktteknisk synvinkel. Då Lunds Tekniska Högskola är en samarbetspartner och har en fuktteknisk kunnig institution har frågan därigenom landat i skribentens händer.

1.2 Syfte och målsättning

Examensarbetets syfte är att genom fuktberäkningar och resonemang utreda eventuella fukttekniska problem som kan uppstå samt att rådge om tillvägagångssätt för att undvika dessa svårigheter. Att lösa de följande punkterna är examensarbetets målsättning.

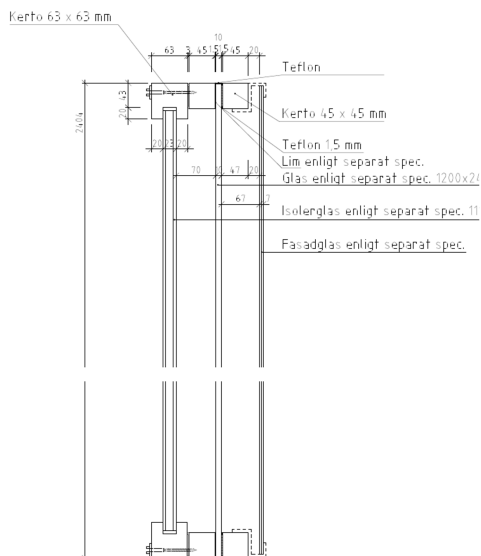
- Kommer det att finnas en hög risk för röta och mögelpåväxt?
- Kommer där bli kondens på det bärande glasets insida?
- Hur ska produkten monteras i byggnader?

1.3 Beskrivning av prototypen

Väggelementet av glas är konstruerat av ett yttre skyddsglas som är fäst på små metallfästen som i sin tur sitter på en ytterkarm (45x45 mm) med hjälp av de små metallfästena.

Samtliga karmdelar består av trä (Kerto). Innanför ytterkarmen sitter en bärande glasskiva som är 10 mm tjock, vilket helt skiljer ytterkarmen från innerkarmen. På insidan av det bärande glaset sitter en trä karm (45x45 mm) och en isolerruta monterad på innerkarmen (63x63 mm). Detta illustreras i *Figur 1* till höger samt i *Bilaga 15*.

Prototypen skiljer sig från ett normalt fönster på tre punkter. (i) *Ytterglaset*, (ii) *Bärande glaset* och (iii) *Spaltkarmytan*. (i) Detta glas skapar en öppen luftspalt och skyddar till viss del övriga partier för väder och andra externa påfrestningar, samtidigt som den absorberar solens strålar något. (ii) Glasskivan skiljer sig inte bara från ett normalfönster med att vara en bärande del i konstruktionen utan att den även separerar karmdelarna helt och därmed eliminerar fuktflöde därigenom. (iii) Är, ur fuktteknisk synpunkt, en obehandlad träyta.



Figur 1. Illustration av glasväggen

1.4 Avgränsningar

Endast potentiella "värsta fall"- situationer behandlas i handberäkningarna för att utreda plausibla situationer i empirin. De handberäkningar som utförs är förenklade modeller av verkligheten ty det ska vara möjligt att utföra beräkningarna för hand.

2009-08-26 till 2010-08-26 har valts som exempelår i det flerdimensionella beräkningsprogrammet Wufi. För att beräkningen i detta program ska efterlikna verkligheten bättre väljs de kringliggande väggelementen, i det här fallet till trä. Lund, Växjö och Borlänge har valts som exempel för Södra- och Mellansverige för att mätstationer finns på dessa orter. Denna avgränsning görs då mängden utdata inte ska bli för omfattande samt att modellen i det flerdimensionella PC-programmet vägrar hantera norra Sverige.

1.5 Glafo

"Glafo" är ett akronym och står för glasforskningsinstitutet. De arbetar internationellt med glasforskning, utveckling, utbildning och tekniskt stöd, främst till glastillverkande, glasbearbetande och glasanvändande företag. Det kan t ex gälla konst- och hushållsglas, förpackningsglas, planglas (bygg-, fordons- och inredningsglas), mineralull och gränssnittet till andra material (Glafo 2).

2 Teoridel

2.1 Metod

Böcker, artiklar och kontakt med handledare och andra kunniga personer inom området fungerar som rådgivare och kunskapsbas, vilket etablerar en lämpligt bred teoridel. Här beskrivs vad författaren och erkänt kunniga personer anser vara de relevanta fuktrelaterade delarna, eventuella händelser, alternativa lösningar samt relevant kringliggande information.

2.2 Kritisk fuktighet i träkarm

Ett av de problem som kan uppstå är att karmytterdelen (som är av trä) på elementet innehåller för mycket fukt. Förutom direkta problem som fuktbetingade rörelser, missfärgning och minskning i hållfasthet kan indirekta skador såsom, röta och mögel skada konstruktionen. För att minska risken ytbehandlas ytterdelen av karmen, det är endast den delen av karmen som är utsatt för utomhusklimatet. Eftersom produkten i stort sett kan stå direkt på bjälklaget, dvs. att den nedre delen är placerad i golvhöjd, bör den behandlas något på insidan då det kan argumenteras att även den delen är något utsatt för fukt (Fukthandboken) (FH).

2.2.1 Ytbehandling

Ytbehandling av trä appliceras av tre olika anledningar (i) *Kulören*, (ii) *Erosion* och (iii) *Fukttransport*. (i) Kulören på ytbehandlingsmaterialet är viktigt i den mån att det ska passa ihop med övriga byggnadsdelar och samtidigt se tillfredställande ut. (ii) För att undvika att träet eroderar till följd av ultraviolett strålning. (iii) För att hindra träet att ta upp för mycket fukt och därigenom minska fuktbetingade rörelser och minimera möjligheterna till röta och andra biologiska angrepp (FH).

Träytorna som behandlas skall vara färska, dvs. ej ha varit väderexponerade under en för lång tid, träets fuktkvot bör vara under 18 % när det målas. Ändträ kan snabbt suga upp

stora mängder vatten, således bör allt ändträ ytbehandlas i första hand med grundolja och lämpligen även med täckande färg. Detta bör utföras innan montering (FH).

Ytbehandlingar som rekommenderas på trä utomhus är.

- Slamfärg
- Grundolja
- Linoljefärg
- Emulsionsfärg
- Träolja
- Järnvitriol (ohyvlade trätytor)

Rekommenderad ytbehandling av trä inomhus är

- Emulsionsfärg
- Limfärg
- Kaseinfärg

(Byggekologi) (BE)

Nedan beskrivs ytbehandlingssystemen mer utförligt.

Slamfärg består av ca 65 % vatten, 5 % mjöl, 20 % pigment och 1 % järnvitriol (fungicid). Fungicider är ett samlingsnamn på tillsatser för att inte få alg- eller svamptillväxt på den färdiga färgen. Fungicider är bl.a. cancerogena och allergiframkallande. Numer tillsätts ofta 8 % linolja för att öka bindningsförmågan, vilket i sin tur leder till att det behövs en tensid för att linoljan ska kunna blanda sig med vatten. Miljögodkända slamfärger i databasen Sun-daHus (2009) är Mäster Olof Naturfärger, Kulturhantverkarna och Auro. Att köpa färgen i pulverform är att föredra då allergiframkallande konserveringsmedel som biocider kan undvikas. Slamfärg målas utomhus på trä, på ohyvlat virke, och en strykning kan räcka. Färgen är fuktöppen och helt matt. (BE).

Grundolja kan innehålla höga halter organiska lösningsmedel (oftast lacknafta) men det finns vattenburna alternativ. Förutom inträngning och vattenavvisande egenskaper ska grundoljan ge ett bra fäste för färgstrykningen. Vanliga grundoljor innehåller i regel fungicider. Grundoljor utan organiska lösningsmedel bör vara förstahandsalternativet (BE).

Linoljefärg består av linoljor 40-50 % vilket agerar som bindemedel, pigment 30-40 % i form av zinkvitt och titanoxid. Torkmedlet sickativ i form av metallföreningar 0,1 % används samt ca 1 % är biocider. Upp till 5 % organiska lösningsmedel kan ingå i slutstrykningen för att uppnå lagom strykbarhet. Under torkning avges olika ämnen som kan lukta och vara irriterande men som inte är hälsofarliga. Färgen är tålig, motstår nötning och har låg fukttransportförmåga (BE).

Emulsionsfärg är oftast uppbyggd av olja emulgerad i vatten med tillsats av pigment/fyllningsmedel 10-50 %. Ägg och kasein används som emuleringsmedel vilket även fungerar som bindemedel. Konserveringsämne, torkmedel och förtjockningsmedel kan förekomma i små mängder. Undvik färg med alkylfenoletoxylater, torkmedlen kobolt/zirkoniumsalter som är allergiframkallande och giftiga för vattenorganismer, konserveringsmedlet isotiazolinoner som Kathon, Bit eller Bronopol. Den kan påföras täckande eller laserande. Glansen varierar från matt till sidenblank. Det miljövänligaste alternativet är att blanda sin äggoljetempera på plats (BE).

Träolja används för att skydda obehandlat eller impregnerat trä utomhus från sprickor, mögel och röta. Såsom i grundoljor bör organiska lösningsmedel undvikas samt att de kan innehålla fungicider. Ibland tillsätts organiska metallsalter som rötskydd. Hjälplosande ämnen (tensider) bör även beaktas (BE).

Limfärg kan bestå av 1 % lim vilket agerar som bindemedel, 33 % vatten (lösningsmedel), och 66 % pigment i form av krita. Limmet kan både vara animaliskt och vegetabiliskt. Emulgator i form av kasein kan förekomma för att minska kritningen. Limfärg finns som färskvara utan konserveringsmedel varav tillverkningsdatum bör kontrolleras vid inköp. Limfärg kan även köpas i pulverform, vilket sparar transportarbete. Det finns limfärger på marknaden som har tillsatser såsom plast och konserveringsmedel, ibland i form av Kathon, BIT samt Bronopol vilka är allergiframkallande och giftiga för vattenlevande organismer. Färgen har en jämn matt yta med fin lyster. Färgen är känslig för mekanisk åverkan och krita av sig om den inte är linoljeförstärkt (BE).

Kaseinfärg har ett bindemedel som är baserat på mjölksyre-kasein. Den innehåller även fyllningsmedel i form av kalkspat och krita, samt pigment (t.ex. titanoxid). Kaseinfärg används som grundmålning och lasyrmålning med bivaxlasyrer. Färgen betraktas som en färskvara med en begränsad hållbarhet. Kaseinfärg finns även i pulverform för att blandas på plats. I vissa av dessa färger finns citrusskalolja som lösningsmedel varav risk för allergi förekommer (BE).

Då vissa ytbehandlingar kan innehålla metaller bör detta undvikas eller kontrolleras eftersom en reaktion mellan dem och metallfästet ej är önskvärd (t.ex. att kopparsalt får aluminium att korrodera) (FH).

2.3 Kondens på glaspartier

Ett annat fuktproblem som kan uppstå är kondens på glaspartierna. Detta visar sig visuellt då imma på glasrutorna uppstår. Risken för kondens är störst för innerrutans insida och det bärande glasets insida. Med anledning av att beräknat U-värde är under $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Glafo), d.v.s. att U-värdet är lågt, att ventilationen antas fungera samt om inte hög fuktproduktion pågår, anses det att kondens på innerrutans insida ej kan uppstå (FH).

2.3.1 Det bärande glasets insida

I kombination med dålig tätning och övertryck inomhus påtvingas i värsta fall fukttransport från insidan av huset in mellan glaspartierna. Daggpunkten för yttre rutans invändiga ytemperatur uppnås och kondens bildas. Hål till persienner kan även vara en bidragande faktor (FH). Då det antas att karmdelarna och isolerrutan är tätt förslutna med varandra samt att en intern solavskärmning (persienner) inte används blir detta inte aktuellt, det är istället de två följande situationer som undersöks.

2.3.1.1 Sommertillfället

På grund av att glas till viss del absorberar kortvågig strålning får luftspalten mellan det bärande glaset och isolerglasen en förhöjd temperatur. Höjs temperaturen i luftspalten sjunker den relativa fuktigheten i spalten. För att eftersträva fuktjämvikt reagerar träkarmen på den lägre relativa fuktigheten och släpper ut vattenånga i luftspalten. När sedan temperaturen faller på kvällen och natten ökar den relativa fuktigheten. Om karmen inte hinner ta upp den eventuella överflödiga vattenångan bildas kondens på det bärande glasets insida (FH).

2.3.1.2 Vintertillfället

Då fukt vandrar från en högre ånghalt till en lägre, försöker innerkarmen under vintertid att transportera fukt från inneklimatet till luftspalten mellan isolerrutan och det bärande glaset. Om denna transport slutligen överstiger den mängd fukt som luftspalten och den resterande innerkarmen kan ta upp, bildas kondens (FH).

Ett andra vinterfall är då temperaturen är väldigt låg och solen strålar på glaspartiet, samtidigt som lokalen är ouppvärmad. Då den eventuella fuktiga karmen värms upp och vattnet i karmen avdunstar, leder detta till att kondens uppstår på glasrutan vilken inte värmts upp lika mycket som karmen (FH). Detta antas av författaren vara ett specialfall och kommer således ej behandlas.

2.3.2 Lösningar

Den primära lösningen på de problem som kan uppstå är att justera villkoren för de olika delarna, d.v.s. att sätta krav på hur mycket fukt som olika delar i produkten får innehålla. För att undvika att en situation med kondens på karmens yta uppstår kan två alternativa metoder anbringas.

Ett sätt att eliminera fuktvandringen mellan spalten och karmen är att ha en diffusionstät övergång på karmytan mellan isolerrutorna och det bärande glaset. Detta uppnås genom att det målas en tät film på den aktuella spaltens träyta. Denna lösning kräver noggrannhet samt att inga perforeringar såsom hål till persienner och dylikt existerar. (FH). På detta sätt försluter spalten med en viss fuktmängd i sig och förhindrar fuktvandringar från och till spalten.

Ett annat sätt att minimera fuktvandringen är att ha ett material i spalten som suger åt sig fukt och därigenom fungera som en buffert. Träkarmen i denna produkt agerar till viss del som detta. (FH)

2.4 Lim

Limmet som används i konstruktionen är SikaFast 5215 (Karin Lundstedt, Glafo). Limmet påverkas inte av vattenexponering men det kan uppstå problem med vidhäftning mot underlaget. Här finns det svårigheter att ge ett entydigt svar, p.g.a. att vidhäftningen är beroende av både lim och underlag (d.v.s. trä eller glas). För att säkerställa funktionen utförs i många fall miljötester. SikaFast-5000 serien har mycket hög UV-beständighet och används vid ett flertal applikationer utan extra UV-skydd. Vid limning av glas är fukt oftast inte ett problem i sig, dock kan förhöjd temperatur i samband med hög luftfuktighet ge problem (Lennart Nystedt, Sika). Detta innebär att det finns två punkter som är kopplat till limmet som kan vara kritiska. Limmets koppling med träet och om en situation uppstår med hög temperatur och hög luftfuktighet. Då risken kan finnas för detta enligt rubrik 2.3.1.1 bör detta undersökas om det inte redan gjorts.

2.5 Anslutningar

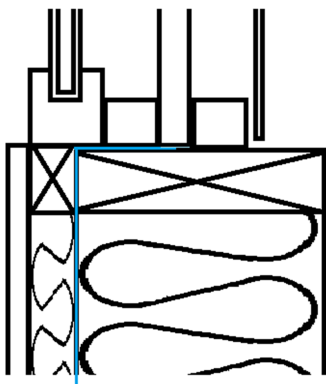
”Grundtanken om anslutningen är ett flexibelt element som skulle kunna användas både i betonghus och i trähus. Kertoramen möjliggör anslutningskonstruktioner vilket i andra fall är en av glasets svagheter. En teflonkappa ska skydda glaskanten och fungera som distans vid limningen. Nu visade sig teflon inte vara ett bra material ur miljösynpunkt och bör bytas ut mot något annat. Glaset i sig är tänkt som ångspärr och det är därför glaset kommer vara genomgående till skillnad från ursprungs konstruktionerna, balk och pelare, där glaset limmades in i ett spår i kertoelementet.”

(Christina Stålhandske, Glafo 2011)

En enstegstätning med hjälp av det bärande glaset ska utföras. Här kommer inte färdiga lösningar att presenteras utan endast vad som bör tänkas på vid montering. Anslutningarna på de långsidorna kan sammanfattningsvis ses som vanliga fönsteranslutningar där foglisten placeras i anslutning till det bärande glaset. Därför bör det även beaktas att tätningslisten som används i dessa lösningar både ska kunna fästa gynnsamt på kappan som skyddar glaset och på trä/betong beroende på konstruktionstyp. Att få anslutningen lufttät är viktigt.

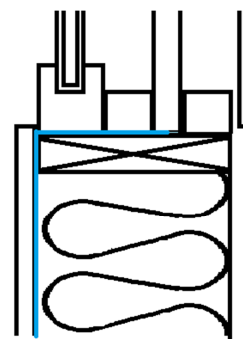
2.5.1 Ångspärr

För att hålla träbyggnader så täta som möjligt måste ångspärrens anslutning till elementet vara utmärkt utförd (FH). Därför

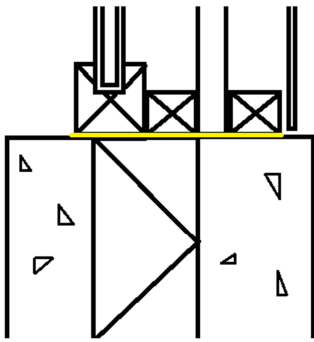


Figur 3. Indragen Ångspärr.

bör den dras ut och fästas till det bärande glasets kapp. Detta kan vara problematiskt att uppnå då fönstret är ett bärande element och ångspärren monteras sent i byggnationen av en vägg. Från den information som Stålhandske (2011) gav kan det finnas två möjliga anslutningar för ångspärren se *Figur 2 och 3*. Båda lösningarna kommer använda det bärande glaset samt en tätningslist för att få en tät anslutning mellan kappan som skyddar glaset och träregeln. Den enda skillnaden på lösningen är att *Figur 2* har en traditionellt dragen ångspärr och i *Figur 3* är denna indragen.



Figur 2. Ångspärr.



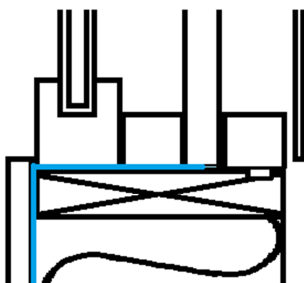
Figur 4. Anslutning betong

2.5.2 Betong och lättbetong

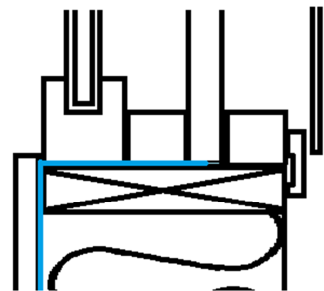
Karmens anslutning kan tolkas som en syllanslutning till en betong platta och därigenom använda adekvat syllisolering för att lösa anslutningen (Se Figur 4). Dessa lösningar kan även användas till övriga konstruktionstyper där elementet står på en platta på mark och/eller ett mellanbjälklag av betong ligger på den. Vad som är essentiellt är att alla trädelar som har potentiell kontakt med betongen, avskiljs från den med syllisolering eller dylikt. Ytterligare en situation som kan uppstå är att det kan bli glipor ur monterings-syfte som måste tätas ytterligare om inte prefabricerat elementet med mer än millimeternoggrannhet används. Motsatsen kan även uppstå där t.ex. en platsgjuten betongvägg är 2 mm kortare än vad den var avsedd att vara (lika hög som produkten med anslutningar i detta fall) och därmed placerar ett stort extratryck på produkten.

2.5.3 2-stegs tätning

Förutom de enstegstättningarna som nämnts ovan bör en tvåstegstättning anbringas för att bygga bort eventuella problem som kan uppstå då vatten på ett eller annat sätt tar sig in i springan mellan elementens anslutningar. Detta kan uppnås genom att montera en urspårad list på ytterkarmen som skapar ett luftutrymme mellan karmen och det övriga väggelementet. Detta påverkar utformningen av metallfästet till ytterglasskivan samt produk-



Figur 6. Urskärning under ytterkarm.



Figur 5. List på utsida ytterkarm.

utens utseende utifrån (FH). Ett alternativ till att montera en extra list för att skapa en tvåstegstättning är att skära ur en liknande luftficka i det kringliggande elementet under ytterkarmen. Problemet med lösningen i Figur 6 är att där kan samlas smuts och vatten vilket kan leda till att just detta exempel om inte noga utfört kan utgöra ett större problem för produkten än tvåstegstättningen den kan tillföra.

2.5.4 Placering i väggen

En del aspekter bör tas i akt när man placerar produkten i de övriga väggpartierna. Ur konstruktionssynpunkt tar elementet emot och överför lasten till andra byggdelar. För att lättast avvisa regn och underlätta underhåll bör den placeras ute i fasaden. För en bättre isolerförmåga och en bättre solavskärmning bör produkten placeras långt in i väggen. Anledningarna till att isolerförmågan ökar är att en extra luftficka kan bildas utanpå produkten samt att där blir en mindre invändig area som måste värmas upp (FH). Det bör även beaktas att ytterkarmen eventuellt kräver ett visst underhåll.

2.6 Wufi

Akronymen Wufi står för "Wärme- und Feuchttetransport instationär" ("transient värme- och fukttransport"). Wufi är designat för att beräkna simultant värme- och fukttransport av byggnadskomponenter i en eller flera dimensioner (Wufi).

Wufi 1D och Wufi 2D är PC-Program för beräkning av kopplad värme- och fukttransport i byggnadsdelar och konstruktioner i en eller flera dimensioner. Med programmet kan realistiska beräkningar av icke-stationära värme- och fuktförhållanden i byggnadsdelar och konstruktioner, som består av flera skikt, med olika klimatbelastningar genomföras (Wufi.se). I detta arbete hanteras en- och tvådimensionella tolkningar av verkligheten varav modeller tas fram för att visa hur produkten troligtvis agerar ur fukt- och värmesynpunkt.

Det finns 12 svenska metrologiska mätstationer inprogrammerade i Wufi vilket leder till att produkter kan projekteras för olika delar av landet. Om en internationell marknad för produkten är aktuell kan beräkningar utföras på detta, då det finns flera mätstationer utanför Sverige. Mätdata från dessa stationer omfattar temperatur, relativ fuktighet, slagregn och strålning (Wufi).

Utdata från programmet för trätytor redovisas i isopleter då risk för mögelpåväxt kan påvisas lätt. Isopleter är ett redovisningssystem som tar hänsyn till temperatur (x-axeln) och relativ fuktighet (y-axeln), där mätpunkterna är timvis tagna beräkningar över den avsattna perioden. I detta redovisningsformat finns även en graf som representerar den undre gränsen där mögelsporer trivs och förökar sig (Wufi)(se *Figur 5*). Visualiseringen av utdata är annars vanligtvis i temperatur/tidsdiagram, relativ fuktighet/tidsdiagram och vattenmängd/tidsdiagram, för att etablera hur modellen beter sig över tiden. I relativ fuktighet/tidsdiagramen så detekteras kondens när horisontella linjer nära 100 % relativ fuktighet uppstår (Wufi).

2.7 HEAT2

HEAT2 är ett PC-program för tvådimensionella transienta och stationära värme beräkningar inom objekt som kan beskrivas med ett rektangulärt mesh-nät. Det är ett väl adapterat program inom byggnadsfysikens följande applikationer.

- Generella värmekonduktivetsproblem
- Analys av köldbryggor
- Beräkning av U-värden för byggnadsdelar
- Bedömning av yttemperaturer (vid risk för ytkondens)
- Beräkning av värmeförluster från grundkonstruktioner i hus
- Isoleringens inpassningsoptimering
- Analys av golvvärmesystem
- Analys av fönsterkarmar

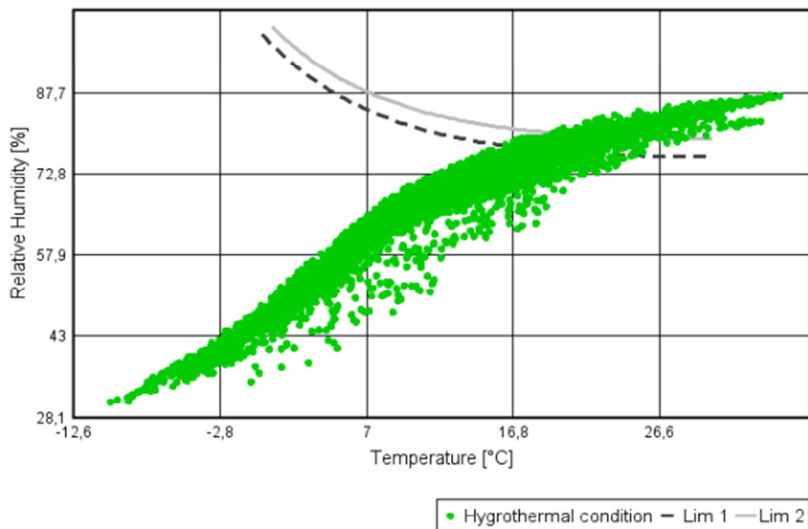
Det finns även två andra liknande program för värme konduktivitet i tre dimensioner HEAT3 och HEAT2R (HEAT2) med cylindriskt koordinatsystem.

2.8 Mögel och röta

Mögel är en vanlig följskada av fukt. Mögel utvecklas vid en lägre fuktighet än röta. Båda svamparterna sprids genom sporer som normalt finns i all luft ute och inne. För att svamparna ska kunna växa krävs tillgång till fukt, värme, syre och näring. Som näring krävs socker eller kvävekällor, vilket sporererna får från organiska material, t.ex. trä eller papper (BE).

Redovisningssystemet isopleter underlättar förståelsen av risken för mögelpåväxt då den redovisar både relativ fuktighet och temperatur, vilket är de två kriterierna som måste befinna sig inom ett visst område för att mögel ska kunna uppstå. *Figur 7* är en exempelbild som visar hur isopleter ser ut. Den streckade och dragna grafen är två olika mögelgränser varav ovanför dessa mögelsporer "frodas".

Isopleths



Figur 7. Exempelbild av isopleter.

3 Beräkningar

3.1 Handberäkningar

3.1.1 Metod

I detta kapitel behandlas de olika handberäkningssituationerna samt dess resultat. Med hjälp av att jämföra handberäkningarna med beräkningarna i Wufi kan en grund etableras för hur produkten kan fungera i verkligheten.

3.1.2 Ytterkarm

På grund av att det bärande glaset skär av ytterkarmen helt från den övriga karmkonstruktionen befinner sig endast denna del av karmen i ett utomhusklimat.

För att visa på hur fuktig ytterkarmen kan vara beräknas först temperaturvariationen under en kall natt. Först beräknas ytterytttemperaturen på karmen.

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (1)$$

$$RF_i = \frac{v}{v_{si}} \quad (2)$$

$$T_{yta} = T_i + \frac{R_{se}}{\sum R} \cdot (T_i - T_u) \quad (3)$$

$$\sum R = R_{se} + R_k \quad (4)$$

T_{yta} används för att beräkna temperaturövergången från karmens ytteryta till de olika djupen x_i i karmen. Då temperaturvariationen i materialet antas vara linjär kan följande ekvation beskriva temperaturen vid distansen x_i i ytterkarmen. Eftersom beräkningarna endast hanterar utemiljön och ytterkarmen så består R_k endast av det motstånd som kertoramen i sig utgör.

$$T_x = T_{yta} + \frac{x_i}{d} \cdot (T_{yta} - T_i) \quad (5)$$

Med hjälp av datorprogrammet HEAT2 tas den inre ytttemperaturen T_i (som visas i Figur 8) fram för att förenkla handberäkningen. Då det antas att karmen är i jämvikt och i ett stationärt förhållande så kan den relativa fuktigheten på ytterkarmens inneryta och övriga djup x_i beräknas genom.

$$RF_x = \frac{v}{v_{sx}} \quad (6)$$

I Tabell 1 och 2 nedan visas ett exempel på denna beräkning.

Tabell 1 Temperaturberäkning för ytterkarmen, vinterförhållande.

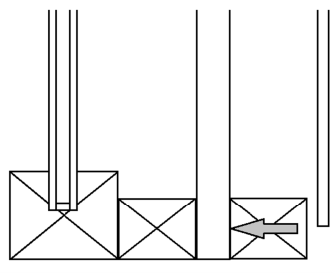
Namn	Beteckning	Värde	Enhet
Karmens tjocklek ¹	d	0,045	m
Värmekonduktivitet för trä ²	λ	0,14	$W/(mK)$
Värmemotstånd i karmen ²	R_k	0,032	m^2K/W
Mättnadsånghalt ute ²	v_{se}	0,82	g/m^3
Relativ fuktighet ute ³	RF_e	90	%
Ånghalt ute	v	0,73	g/m^3
Mättnadsånghalt inre ²	v_{si}	1,27	g/m^3
Relativ fuktighet inre	RF_i	58	%
Innertemperatur	T_i	-16	$^{\circ}C$
Utetemperatur ³	T_u	-20,9	$^{\circ}C$
Karmens yttre ytttemperaturen	T_{yta}	-20,4	$^{\circ}C$
Distans från ytterytan till mätpunkt	x_i	-	m

¹ Indata från ritning i Bilaga 15

² Tabellvärde från Fukthandboken

³ Den relativa fuktigheten (95 % fraktilen) och temperaturen (5 % fraktilen) ute är tagen från klimatdata i Fukthandboken (februari i Luleå).

Karmens innertemperatur har beräknats fram med HEAT 2.



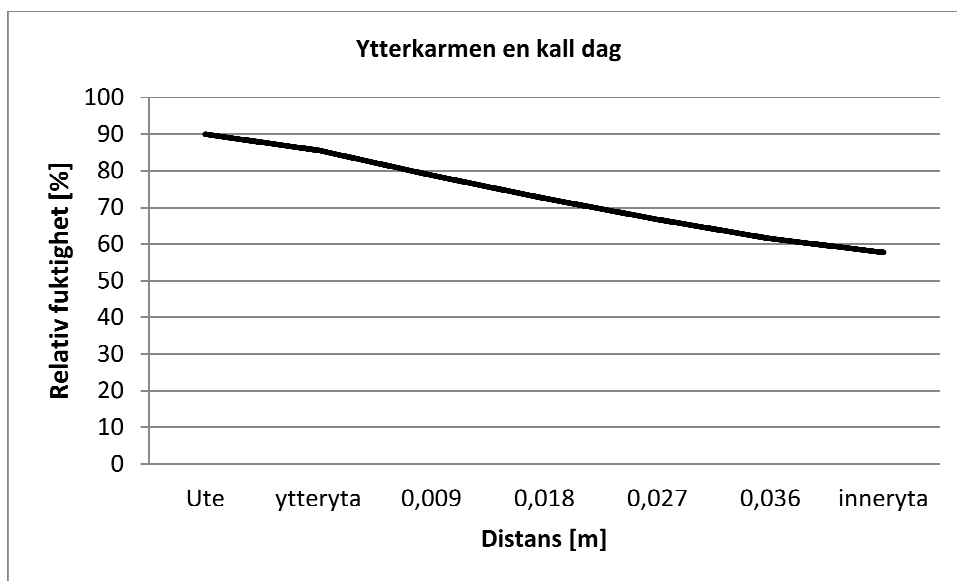
Figur 8. Var i prototypen temperaturen tas från HEAT2.

Tabell 2 Relativ fuktighetsvariation i ytterkarmen.

	x_i	T_x	v_{sx}^1	RF_x
	m	$^{\circ}C$	g/m^3	%
Ute	-	-20,9	0,82	90
Yta	0	-20,4	0,86	86
	0,009	-19,5	0,93	79
	0,018	-18,6	1,01	73
	0,027	-17,7	1,10	67
	0,036	-16,9	1,19	62
inneryta	0,045	-16,0	1,27	58

¹Mättnadsånghalten för de olika temperaturerna har beräknats genom ekvation 41.14a och b i Fukthandboken

Nedan i *Figur 9* illustreras tabell 2 på ett mer visuellt tilltalande sätt.



Figur 9. Relativa fuktigheten igenom ytterkarmen

I *Figur 9* visas en hög relativ fuktighet både på ytterytan och i karmen. Då temperaturen är så pass låg samt att beräkningen endast är utförd vid en tidpunkt, kan inte några direkta slutsatser dras huruvida karmen tar skada av situationen eller inte då t.ex. fuktlagring inte tas hänsyn till.

3.1.3 Innerkarm

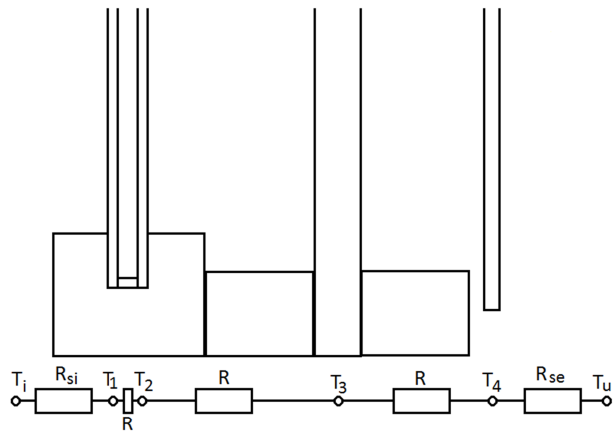
Den stationära handberäkningen av innerkarmen delas upp i tre delar. Två temperaturberäkningar utförs, en solig sommardag (i Malmö) och en kall vinterdag (i Luleå) ty problem

kan potentiellt uppkomma i båda fallen. Dessa fall behandlas tillsammans i en tredje beräkning där olika potentiella fuktflöden beaktas.

3.1.3.1 Sommarförhållandet

Handberäkningen för sommartillfället består av en energibalans som tar hänsyn till glaspartiernas kortvågiga solstrålningsabsorptionsförmåga. *Figur 6* nedan illustrerar tankegången kring balansberäkningen. Den kan jämföras med ett elsystem där strömmen representeras av den kortvågiga strålningen och glaset representerar motstånd i systemet.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{T_i - T_1}{R_{si}} + A_{bs1} - \frac{T_1 - T_2}{R} = 0 \\ \frac{T_1 - T_2}{R} + A_{bs2} - \frac{T_2 - T_3}{R} = 0 \\ \frac{T_2 - T_3}{R} + A_{bs3} - \frac{T_3 - T_4}{R} = 0 \\ \frac{T_3 - T_4}{R} + A_{bs4} - \frac{T_4 - T_u}{R_{se}} = 0 \end{array} \right.$$



Figur 10. Energibalans sommartillfälle.

För att förenkla ekvationssystemet antas värmemotståndet R till samma värde i samtliga spalter. Temperaturerna och motstånden från ekvationssystemet beskrivs i *Figur 10*. Då värsta fallet som kan beräknas ligger i Umeå (juni kl. 18 i väst)(Värme) används detta som utgångspunkt i denna beräkning. Anledningen att solstrålningen är som högst då (eller motsvarande på förmiddagen i öst) är att det direkta solljuset har nästintill rätvinklig riktning när den träffar produkten samt att solstrålningen är starkare på sommaren än övriga årstider.

För att beräkna de olika solstrålningsabsorbtionerna i glaspartierna används följande formler.

$$A_{bsi} = I \cdot a_i \quad (7)$$

$$I = I_0 \cdot \cos(\delta) \quad (8)$$

Tabell 3 nedan visar in och utdata i beräkningen av strålningsabsorbtionen för detta extremfall.

Tabell 3 Indata till kondensberäkning, sommar, söder.

Namn	Beteckning	Värde	Enhet
Solstrålning ¹	I_0	790	W/m^2
Solhöjd ¹	δ	20,8	($^\circ$)
Verklig solstrålning	I	739	W/m^2
Kortvågig strålnings absorptionsfaktor i inre isolerglasrutan ²	a_1	0,05	(-)
Kortvågig strålnings absorptionsfaktor i yttre isolerglasrutan ²	a_2	0,06	(-)
Kortvågig strålnings absorptionsfaktor i det bärande glaset ²	a_3	0,18	(-)
Kortvågig strålnings absorptionsfaktor i ytterglaset ²	a_4	0,17	(-)
Strålningsabsorption i inre isolerglasrutan	A_{bs1}	33,5	W/m^2
Strålningsabsorption i yttre isolerglasrutan	A_{bs2}	42,7	W/m^2
Strålningsabsorption i det bärande glaset	A_{bs3}	131,3	W/m^2
Strålningsabsorption i ytterglaset	A_{bs4}	127,5	W/m^2

¹Värme Umeå kl. 18 i väst.

²Parasol-LTH (extrapolerat av författaren)

För att kunna beräkna spalternas motstånd i balansekvationerna så används följande formler (FH).

$$R = \frac{1}{\alpha_{cv} + \alpha_r} \quad (9)$$

$$\alpha_r = \varepsilon \cdot \sigma_s \cdot 4 \cdot T_{medel}^3 \quad (10)$$

$$\frac{1}{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} \quad (11)$$

$$\alpha_{cv} = C \cdot dT^{0,25} \quad (12)$$

För att förenkla beräkningen i ekvationssystemet så görs antaganden om temperaturerna i motståndsberäkningen vilket *Tabell 4* visar.

Tabell 4 Indata till kondensberäkning, sommar, söder.

Namn	Beteckning	Värde	Enhet
Absolutvärdet av temperaturdifferensen mellan luft och yta ¹	dT	5	K
Koefficient ²	C	2	(-)
medelvärde av yttemperaturen och den motstrålande temperaturen ¹	T_{medel}	293	K
Stefan-Boltzmanns konstant ²	σ_s	$5,67 \cdot 10^{-8}$	W/m^2K^4
Emissionstal för glas ³	$\varepsilon_1 = \varepsilon_2$	0,94	(-)
Konvektiva värmeöverföringskoefficient ²	α_{cv}	2,99	W/m^2K
Värmeöverföringskoefficient, strålning ²	α_r	5,06	W/m^2K
Generaliserat värmemotstånd	R	0,12	m^2K/W

¹Antagnen temperaturer

²Indata från Fukthandboken

³Indata från Värme

Anledningen till att samma T_{medel} används för samtliga värmemotstånd, då den egentligen varierar något är att göra följande ekvationssystem hanterbart. Vid beräkningen ovan försummas även värmeöverföring genom ledning i luftspalten.

Ekvationerna för att lösa ut de olika temperaturerna blir således.

$$T_1 = \frac{R \cdot (T_i + A_{bs1} \cdot R_{si}) + T_2 \cdot R_{si}}{R_{si} + R}$$

$$T_2 = \frac{R \cdot (T_i + A_{bs1} \cdot R_{si} + A_{bs2} \cdot (R_{si} + R)) + T_3 \cdot (R_{si} + R)}{R_{si} + 2R}$$

$$T_3 = \frac{R \cdot (T_i + A_{bs1} \cdot R_{si} + A_{bs2} \cdot (R_{si} + R) + A_{bs3} \cdot (R_{si} + 2R)) + T_4 \cdot (R_{si} + 2R)}{R_{si} + 3R}$$

$$T_4 = \frac{R_{se} \cdot (T_i + A_{bs1} \cdot R_{si} + A_{bs2} \cdot (R_{si} + R) + A_{bs3} \cdot (R_{si} + 2R) + A_{bs4} \cdot (R_{si} + 3R)) + T_u \cdot (R_{si} + 3R)}{(R_{si} + 3R + R_{se})}$$

Samt att

$$T_{spalt} = \frac{T_2 + T_3}{2} \quad (13)$$

Resultatet av balansekvationen i detta exempel visas i *Tabell 5* nedan.

Tabell 5 Förhöjd temperatur.

Namn	Beteckning	Värde	Enhet
Temperaturen inomhus ¹	T_i	20	$^{\circ}C$
Temperaturen i inre isolerglasrutan	T_1	35,7	$^{\circ}C$
Temperaturen i yttre isolerglasrutan	T_2	46,5	$^{\circ}C$
Temperaturen i det bärande glaslet	T_3	52,1	$^{\circ}C$
Temperaturen i ytterglaslet	T_4	31,1	$^{\circ}C$
Temperaturen utomhus ²	T_u	21,7	$^{\circ}C$
Temperaturen i spalten mellan det bärande glaslet och isolerrutan	T_{spalt}	49,3	$^{\circ}C$

¹Antaget värde.

²Tabell 1.2.2 i Värme.

Temperaturen i spalten mellan det bärande glaspartiet och isolerrutan benämns T_{spalt} och är den aktuella temperatur som behandlas i kommande rubrik 3.1.3.3.

3.1.3.2 Vinterförhållandet

Temperaturberäkningen för vinterförhållandet består endast av en mindre beräkning vid samma utomhusklimat som för ytterkarmen. Beräkningen utförs endimensionellt från insidan och ut enligt ekvationen nedan.

$$T_{yta} = T_i - \frac{R_{si} + R_{gl1} \cdot 2 + R_{sp1} + R_{sp2}}{\sum R} \cdot (T_i - T_u) \quad (14)$$

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (15)$$

$$\sum R = R_{si} + R_{gl1} \cdot 2 + R_{sp1} + R_{sp2} + R_{gl2} + R_{sp3} + R_{gl3} + R_{se} \quad (16)$$

Nedan visas *Tabell 6* med förklarande namn till vilken distans d_i , värmekonduktivitet λ_i och resistans R_i som hör till dess beteckning. Tabellen innehåller även utdata från beräknings-exemplet som används.

Tabell 6 Kondensberäkning, vinter.

Namn	Beteckning	Värde	Enhet
Isolerglasrutans tjocklek ¹	d_{gl1}	0,005	m
Bärande glasets tjocklek ¹	d_{gl2}	0,01	m
Yttre glasets tjocklek ¹	d_{gl3}	0,007	m
Värmekonduktivitet för glas ²	λ_{gl}	0,7	$W/(mK)$
Isolerglasrutans spalttjocklek ¹	d_{sp1}	0,013	m
Spalttjockleken mellan isolerglasrutan och det bärande glasets ¹	d_{sp2}	0,07	m
Spalttjockleken mellan bärande glasets och det yttre glasets ¹	d_{sp3}	0,067	m
Värmekonduktivitet för oventilerad luftspalt ²	λ_{l1}	0,026	$W/(mK)$
Värmekonduktivitet för väl ventilerad luftspalt ²	λ_{l2}	1,1	$W/(mK)$
Isolerglasrutans värmemotstånd	R_{gl1}	0,01	m^2K/W
Bärande glasets värmemotstånd	R_{gl2}	0,01	m^2K/W
Yttre glasets värmemotstånd	R_{gl3}	0,01	m^2K/W
Värmemotstånd i spalt 1	R_{sp1}	0,50	m^2K/W
Värmemotstånd i spalt 2	R_{sp2}	2,69	m^2K/W
Värmemotstånd i spalt 3	R_{sp3}	0,06	m^2K/W
Innertemperatur ³	T_i	20	$^{\circ}C$
Utetemperatur ⁴	T_u	-20,9	$^{\circ}C$
Bärande glasets inre yttemperatur	T_{yta}	-19,4	$^{\circ}C$

¹Indata från ritning, Bilaga 15.

²Indata från Fukthandboken.

³Antagen temperatur.

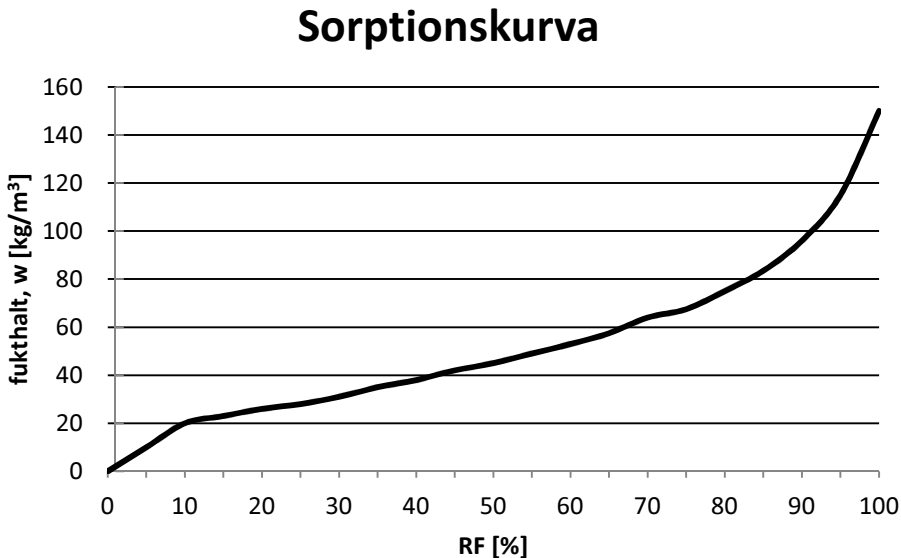
⁴ Indata tagen från klimatdata i Fukthandboken för 5 % fraktilen i februari i Luleå.

Ur denna beräkning framkommer det att temperaturen på innerytan av det bärande glasets är -19,4 °C.

3.1.3.3 Sorptionsberäkning

Fuktflödet mellan den aktuella spalten och innerkarmen har ett symbiotiskt förhållande till varandra och ett samband kan etableras och beräknas. Med hjälp av de temperaturer som tagits fram i 3.1.3.1 och 3.1.3.2 etableras en bas för en rad troliga fall som kan förekomma.

För att utföra denna beräkning så behövs ett samband mellan luften i spalten och dess omgivning. Träkarmen i spalten antas i beräkningen vara obehandlad är ett poröst hygroskopiskt material som reagerar med spalten och inomhusmiljön. För att utföra sorptionsberäkningar behövs en sorptionskurva. Kurvan i *Figur 11* nedan är en approximerad sådan för att underlätta beräkningen.



Figur 11. Approximerad sorptionskurva för furu, från Fukthandboken

Utöver denna kurva så behövs information om hur mycket av karmen som dagligen kan reagera med spalten. Följande ekvationer från "Värme" beskriver detta. d_0 står för det aktiva djupet och är det djupet från spalten in i karmen som kan utgöra ett fuktutbyte mellan spalten och karmen.

$$g = -D_w \cdot \frac{dw}{dx} \quad (17)$$

$$\frac{dw}{dt} = D_w \cdot \frac{d^2w}{dx^2} \quad (18)$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{D_w \cdot t_p}{\pi}} \quad (19)$$

$$D_w = \frac{\delta_v \cdot v_s}{\xi} \quad (20)$$

$$\xi = \frac{dw}{d\varphi} \quad (21)$$

Ovanstående ekvationer (17-21) är de som behövs för att beräkna det aktiva djupet. Nedan visas en tabell där extremvärden som troligtvis inte kommer att uppstå i produkten används för att etablera en grov ram för var det aktiva djupet teoretiskt kan befinna sig under en daglig cykel.

Tabell 7 Maximala och minimala värde för det aktiva djupet under en dygnsrytm.

Namn	Beteckning	Värde	Enhet
Aktivt djup	d_0, dx	$17,5 > d_0 > 0,5$	mm
Fuktflöde	g	-	-
Fuktdiffusivitet	D_w	$111,5 > D_w > 3,7$	$10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$
Periodtid ¹	t_p, dt	$8,64 \cdot 10^4$	s
Ångpermabilitet ²	δ_v	$\sim 1,1 \cdot 10^{-6}$	m^2/s
Mättnadsånghalt ³	v_s	$0,091 > v_s > 8,9 \cdot 10^{-4}$	kg/m^3
Fuktkapacitet	ξ	$93 > \xi > 90$	kg/m^3
Delta fukthalt ⁴	dw	$65 > dw > 0,9$	kg/m^3
Delta relativ fuktighet ⁴	$d\varphi$	$0,7 > d\varphi > 0,1$	(-)

¹ Ekvationen ses som en dygnsrytm.

² FH tabell 92.2

³ FH ekvation 41.14b

⁴ Sorptionskurva ovan

Resultatet av *Tabell 7* är att det aktiva djupet i karmen under en daglig cykel teoretiskt kan vara mellan 17,5mm och 0,5 mm.

Med hjälp av *Bilaga 15* har följande indata tagits fram.

Tabell 8 Indata från ritningar (Bilaga 24).

Namn	Beteckning	Värde	Enhet
Spaltens karmarea	A_1	0,154	m^2
Spaltens karmarea som kan påverkas av innemiljön	A_2	0,137	m^2
Spaltens volym	V	0,165	m^3
Approximativ distans mellan innemiljön och spalten	L	0,07	m

För att kunna beskriva olika potentiella fall som kan uppstå används följande ekvationer för att jämföra den massa vatten som kan förekomma med den massa vatten som karmen kan absorbera.

$$g = \delta_v \cdot \frac{\Delta v}{L} \quad (22)$$

$$m_{in} = g \cdot A_2 \cdot t_p \quad (23)$$

$$m_{max} = v_s(T_{till}) \cdot V \quad (24)$$

$$\Delta v = v_s(T_{från}) \cdot \varphi_{från} - v_s(T_{till}) \cdot \varphi_{till} \quad (25)$$

$$m_{ab} = v \cdot V \quad (26)$$

$$m_{ak} = (w_{från} - w_{till}) \cdot A_1 \cdot d_0 \quad (27)$$

$$m_{ak} > m_{in} + m_{ab} \quad (28)$$

Utav detta presenteras fem plausibla fall av verkligheten där kontroll görs om ekvation 28 uppfylls, d.v.s. om innerkarmen klarar av att absorbera den mängd vatten som behövs för att undvika eller minimera kondens på det bärande glasets inneryta. Att undvika eller minimera kondensen på det bärande glasets insida kan inte handberäkningarna ta hänsyn till då absorptionshastigheten inte beräknas.

I de olika fallen antas en relativ fuktighet till den sänkta temperaturen då den behövs för att beräkna det aktiva djupet och således den maximala mängd vatten som kan absorberas. Då vattenmassan som kan absorberas överstiger den massa vatten som kommer från innemiljön och den som behöver absorberas betyder det att den relativa fuktigheten kommer att vara lägre än vad tabellen framför.

Fall 1 i *Tabell 9* beskriver vad som kan hända om temperaturen i spalten faller från $20^\circ C$ till $10^\circ C$.

Tabell 9 Fall 1

Namn	Beteckning	Från	Till	Enhet
Temperatur	T	20	10	$^{\circ}C$
mättnadsånghalt	v_s	17,29	9,41	g/m^3
Relativ fuktighet	φ	0,8	0,85	(-)
Fukthalt	w	75	83,5	kg/m^3
Överflödigt fukt	Δv	(-)	5,83	g/m^3
Ångpermeabilitet	δ_v	(-)	1,75	$10^{-10} m^2/s$
Aktivt djup	d_0	(-)	0,0016	m
Fuktflöde från innemiljön	g	(-)	0,0001	g/m^2_s
Massa vatten från innemiljön	m_{in}	(-)	1,7	g
Maximal massa vatten som kan befinna sig i spalten	m_{max}	(-)	1,6	g
Massa vatten som behöver absorberas	m_{ab}	(-)	1,0	g
Massa vatten som kan absorberas	m_{ak}	(-)	4,0	g

Då $4 > 1 + 1,7$ (ekvation 28) konstateras det att karmen kan absorbera den nödvändiga mängden vatten.

Tabell 10 visar ett höst/vår tillfälle där en minskning i temperaturen från 10°C till 0°C skulle kunna se ut.

Tabell 10 Fall 2

Namn	Beteckning	Från	Till	Enhet
Temperatur	T	10	0	$^{\circ}\text{C}$
Mättnadsånghalt	v_s	9,41	4,86	g/m^3
Relativ fuktighet	φ	0,90	0,95	(-)
Fukthalt	w	96	115	kg/m^3
Överflödigt fukt	v	(-)	3,85	g/m^3
Ångpermeabilitet	δ_v	(-)	3,5	$10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$
Aktivt djup	d_0	(-)	0,0011	m
Fuktflöde från innemiljön	g	(-)	0,0002	$\text{g}/\text{m}^2\text{s}$
Massa vatten från innemiljön	m_{in}	(-)	2,3	g
Maximal massa vatten som kan befinna sig i spalten	m_{max}	(-)	0,8	g
Massa vatten som behöver absorberas	m_{ab}	(-)	0,6	g
Massa vatten som kan absorberas	m_{ak}	(-)	6,1	g

Även här uppfylls $m_{ak} > m_{in} + m_{ab}$.

Vinterförhållandet som behandlades i 3.1.3.2 är en del av Fall 3 (Tabell 11) där en temperatursänkning från 0°C till -20°C behandlas.

Tabell 11 Fall 3

Namn	Beteckning	Från	Till	Enhet
Temperatur	T	0	-20	$^{\circ}\text{C}$
mättnadsånghalt	v_s	4,86	0,89	g/m^3
Relativ fuktighet	φ	0,90	0,975	(-)
Fukthalt	w	96	132,5	kg/m^3
Överflödigt fukt	v	(-)	3,51	g/m^3
Ångpermeabilitet	δ_v	(-)	3,5	$10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$
Aktivt djup	d_0	(-)	0,0004	m
Fuktflöde från inommiljön	g	(-)	0,0002	$\text{g}/\text{m}^2\text{s}$
Massa vatten från inommiljön	m_{in}	(-)	2,1	g
Maximal massa vatten som kan finnas i spalten	m_{max}	(-)	0,1	g
Massa vatten som behöver absorberas	m_{ab}	(-)	0,6	g
Massa vatten som kan absorberas	m_{ak}	(-)	4,5	g

I detta plausibla fall uppfylls kravet på $m_{ak} > m_{in} + m_{ab}$.

Nedan visas det första fallet från en sommarberäkning där en sänkning från 50°C till 20°C beskrivs.

Tabell 12 Fall 4

Namn	Beteckning	Från	Till	Enhet
Temperatur	T	50	20	$^{\circ}C$
mättnadsånghalt	v_s	83,11	17,29	g/m^3
Relativ fuktighet	φ	0,80	0,90	(-)
Fukthalt	w		96	kg/m^3
		75		
Överflödigt fukt	v	(-)	50,93	g/m^3
Ångpermeabilitet	δ_v	(-)	1,75	$10^{-10} m^2/s$
Aktivt djup	d_0	(-)	0,0020	m
Fuktflöde från innemiljön	g	(-)	-0,0013	g/m^2s
Massa vatten från innemiljön	m_{in}	(-)	-15,1	g
Maximal massa vatten som kan befinna sig i spalten	m_{max}	(-)	2,9	g
Massa vatten som behöver absorberas	m_{ab}	(-)	8,4	g
Massa vatten som kan absorberas	m_{ak}	(-)	12,2	g

Även här klarar karmen att suga upp den nödvändiga mängd vatten för att inte kondens ska kunna bildas. Vad som även kan noteras är att m_{in} är negativ vilket betyder att fukttransporten mellan spalten och innemiljön är riktad åt andra hållet dvs. att fukt kommer att gå från spalten till innemiljön.

Fall 5 (Tabell 13) är ett annat exempel på hur temperaturfallet på en sommarkväll skulle kunna se ut.

Tabell 13 Fall 5

Namn	Beteckning	Från	Till	Enhet
Temperatur	T	50	10	$^{\circ}C$
Mättnadsånghalt	v_s	83,11	9,41	g/m^3
Relativ fuktighet	φ	40	97,5	(-)
Fukthalt	w	96	132,5	kg/m^3
Överflödigt fukt	v	(-)	24,07	g/m^3
Ångpermeabilitet	δ_v	(-)	3,5	$10^{-10} m^2/s$
Aktivt djup	d_0	(-)	0,0038	m
Fuktflöde från inommiljön	g	(-)	-0,0012	g/m^2s
Massa vatten från inommiljön	m_{in}	(-)	-14,3	g
Maximal massa vatten som kan befinna sig i spalten	m_{max}	(-)	1,6	g
Massa vatten som behöver absorberas	m_{ab}	(-)	4,0	g
Massa vatten som kan absorberas	m_{ak}	(-)	40,2	g

Såsom i föregående sommarexempel kommer spalten tillföra fukt till inomhusmiljön.

Då iterationer kan utföras för att kontrollera på vilken nivå den relativa fuktigheten kommer att ligga i varje exempel d.v.s. när $m_{ak} = m_{in} + m_{ab}$ (28b) men eftersom i beräkningssyfte en relativ fuktighet under 100 % redan är uppnådd i vart exempel blir detta ej nödvändigt.

3.1.3.4 Alternativ lösning

En diffusionstät övergång mellan spalten och träkarmen betyder att spalten inte har något fuktutbyte med omgivningen. Den befintliga mängden fukt som blir inkapslad i spalten måste vara så pass liten att den inte kondenserar vid låga temperaturer.

$$\varphi_i = \frac{v_i}{v_{si}} \quad (29)$$

Ekvation 29 är den enda beräkningen som behöver göras för att hitta ett plausibelt förhållande. Tabellen nedan förklarar beteckningarna och dess enheter som används i ekvationerna.

Tabell 14 Enheter

Namn	Beteckning	Enhet
Temperatur	T	$^{\circ}C$
Mättnadsånghalt	v_{si}	$\frac{g}{m^3}$
Ånghalt vid en viss relativ fuktighet	$v_i(\varphi)$	$\frac{g}{m^3}$
Relativ fuktighet	φ_i	%

I Tabell 15 visas några beräkningar som samtliga har utgångspunkten att de försluts vid tjugograd.

Tabell 15 Helt tätt förhållande.

	Installering		Kallt ute	Varmt ute
T	20	$^{\circ}C$	-19,4 ¹	49,3 ²
v_s	17,29 ³	$\frac{g}{m^3}$	0,94 ³	80,40 ³
$v_1(70\% RF)$	12,10	RF_1	>100	15
$v_2(50\% RF)$	8,64	RF_2	>100	11
$v_3(30\% RF)$	5,19	RF_3	>100	6
$v_4(10\% RF)$	1,73	RF_4	>100	2
$v_4(5\% RF)$	0,86	RF_5	92	1

¹ Temperaturen för det kalla tillfället är tagen från Tabell 6

² Temperaturen för det varma tillfället är tagen från Tabell 5

³ Tabellvärden från Fukthandboken

Tabell 15 visar ett antal situationer där spalten försluts vid 20°C. Skillnaderna på situationerna är att de försluts med olika relativa fuktigheter. Med hjälp av utdata från Tabell 5 och 6 konstateras det att för att undvika kondensation måste den relativa fuktigheten vara ca 5 % för att inte kondensation på vintern ska uppstå, samt att under sommartillfället så kommer det vara väldigt torrt i spalten. Vad som är värt att notera är den mängden vatten som för-

sluts i karmen är viktig dvs. att systemet kan förslutas vid en lägre temperatur och således en högre luftfuktighet.

3.2 PC-beräkningar

3.2.1 Metod

I programmen behandlas de två karmdelarna separat för att ge en klarare bild av situationen. Likt handberäkningarna beräknas det hur situationen ser ut utan någon ytbehandling. För att underlätta produktionen antas monteringsstillfället till en fuktig miljö p.g.a. att hänsyn till fukttillståndet då ej är nödvändigt att ta. Fukttillskottet i inomhusklimatet antas vara normalt och beräknas enligt EN15026 vilket är den europeisk standard som även används som nationell standard i Sverige (FC).

I den endimensionella beräkningen är glaspartiets utsida riktad i nordlig riktning med anledning av att ytterkarmen anses vara mest utsatt i denna riktning då den har minimerad tillgång till solljus. Den tvådimensionella beräkningen är riktad i en sydlig riktning p.g.a. att den har stor tillgång till solen varav beräkningen kan maximera effekterna av de eventuella förhöjda temperaturerna som skulle kunna uppstå på sommaren. I utgångsfallet antas även att konstruktionen är helt tät från springor och läckage.

3.2.2 HEAT2

Detta PC-program används för att framställa en inre yttemperatur på ytterkarmen till *avsnitt 3.1.2*. En tvådimensionell tolkning av verkligheten utförs av skribenten där den nedre delen av produkten modelleras.

3.2.3 Wufi

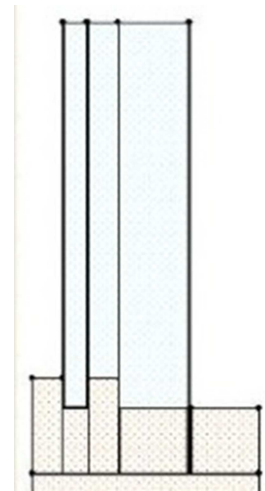
Dessa program som presenteras i *avsnitt 2.6* kräver en mängd indata för att kunna beskriva verkligheten så bra som möjligt. Utförandet av att beskriva verkligheten börjar med att produkten visuellt ritas upp i programmet. I detta stadi väljs även hur fint mesh-nätet är samt vilka material som ingår. I det endimensionella fallet matar man endast in bredd i denna fas medan i det tvådimensionella fallet ritas en mängd rektanglar, vilket visas i *Figur 10*. I Wufis databas finns inte glas som material utan för att åstadkomma detta modifieras en ångspärr då de har liknande egenskaper.

Nästa steg består av att i programmet definiera vad som är ute och inne samt i vilken orientering modellen befinner sig i. I samma steg så beskrivs även ytövergångskoefficienter såsom ytmaterialens karaktär och om de är behandlade. Ytterglasrutan beaktas i denna fas då den har en skyddande effekt på den övriga produkten.

Begynnelsevillkor såsom relativ fuktighet och vilken temperatur produkten har när den monteras ute på plats är nästa steg i att konstruera modellen. Mängden vatten i materialet kan även användas som indata i detta stadi. Olika material kan tilldelas olika mängd fukt för att underlätta potentiella åtgärder eller att kunna tilldela kända fuktläckage.

Fuktläckage och andra källor som t.ex. solstrålning är nästa steg i modelleringen. I den tvådimensionella modellen där ett antal modifierade ångspärrar används för att beskriva effekten som glaset utgör adderas handberäknade värmekällor från *3.1.3.1* för att hantera strålningen i programmet mer likt glas.

I det sista steget anges en rad parametrar som ska ingå i beräkningen. Tidsintervallet och tidstegen för beräkningen samt vad det är för beräkning som ska utföras, väljs här.

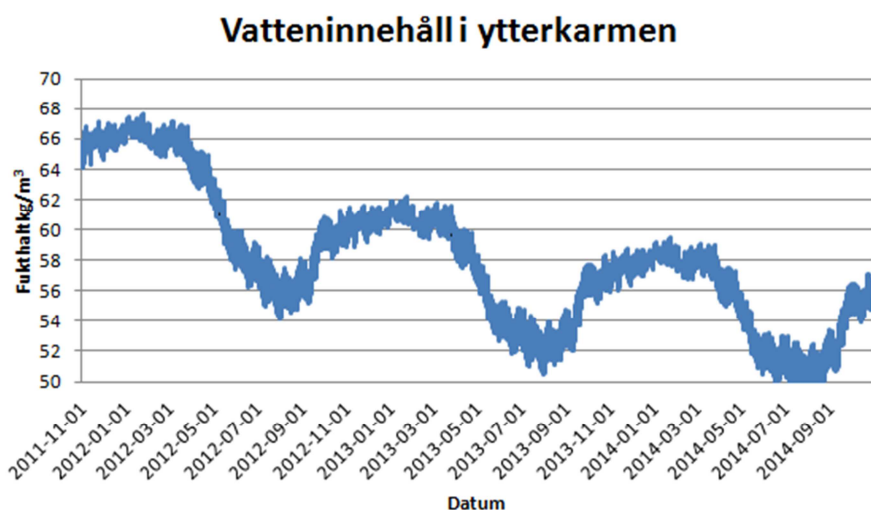


Figur 12. Modellen som används i Wufi 2D

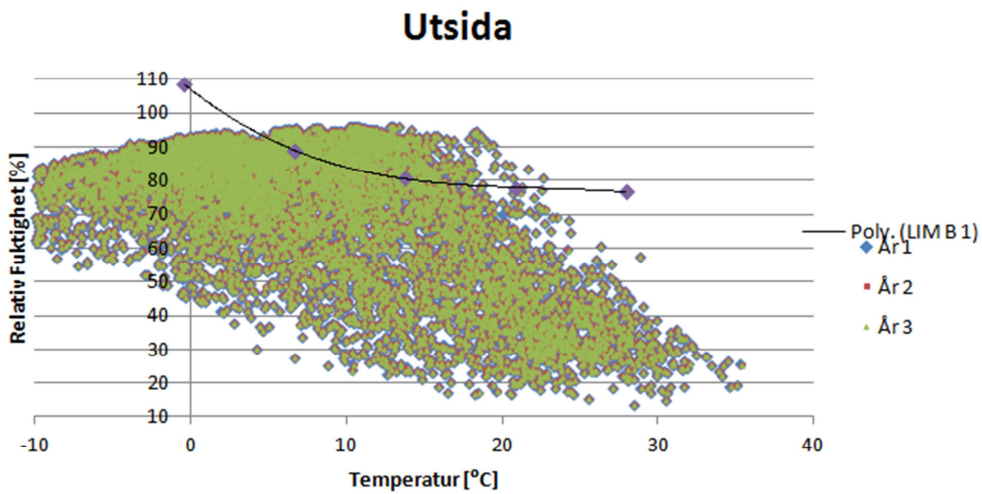
3.2.3.1 Ytterkarmen

Situationen med ytterkarmen kan sammanfattas till ett endimensionellt problem som Wufi 5.1 kan hantera. För att underlätta modelleringen skiljer sig den finita element-beräkningen sig något från verkligheten. Modellen i Wufi använder sig av hela karmen men eftersom glas inte är ett inprogrammerat material används en tät ångspärr som i detta fall har liknande egenskaper.

I *Figur 13* nedan visas vatteninnehållet i ytterkarmen om produkten skulle vara placerad i Borlänge under tre år. Vad som syns tydligt är att mängden vatten i karmen avtar med åren samt mängden vatten avtar från år till år minskar. Liknande effekt kan även ses i *Bilaga 5 och 10* för Lund och Växjö.



Figur 13. Vatteninnehåll i ytterkarmen (Borlänge).



Figur 14. Isopleter på ytterkarmens utsida (Borlänge).

Wufi 1D ser karmen som en kontinuerlig vägg vilket betyder att i verklighetsfallet kan karmen ha en något lägre eller högre temperatur än vad *Figur 14* och *Bilaga 4* och *9* visar, vilket är resultatet av beräkningen redovisat i Isopleter. Samtliga tre diagram är snarlika och visar samma sak. Att där är så pass många timmar över den approximerade mögellinjen (Poly.(LIM B1)) visar att det är hög risk för att mögel ska etablera sig.

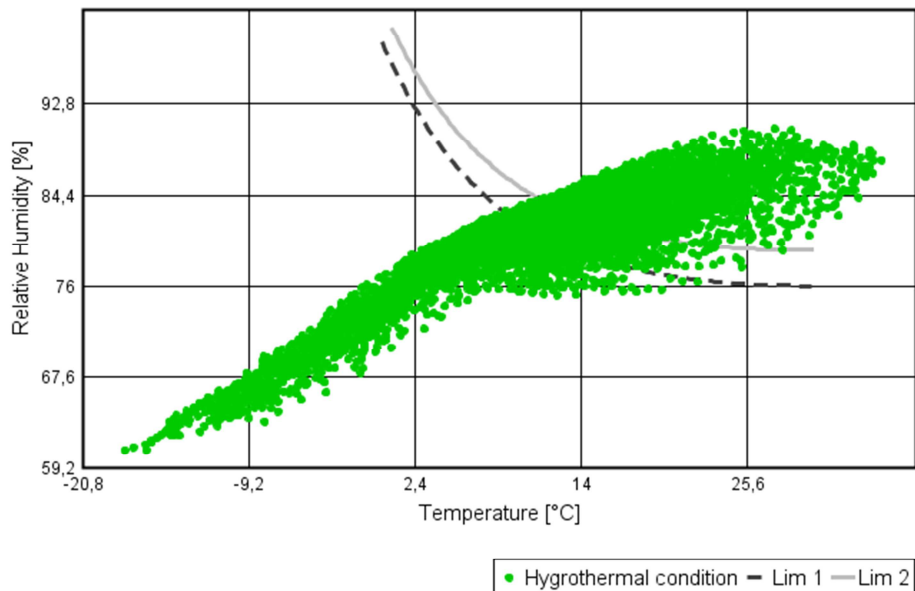
3.2.3.2 Innerkarmen

Då spalten mellan det bärande glaset och isolerglaset spelar en stor roll i beräkningarna för innerkarmen och kondens på det bärande glasets insida passar en tvådimensionell beräkning i Wufi. Detta skiljer sig från handberäkningen då programvaran räknar på situationen vid många tillfällen under en längre tid samt att en större del av produkten samt kringliggande element studeras för att etablera klarhet på situationen.

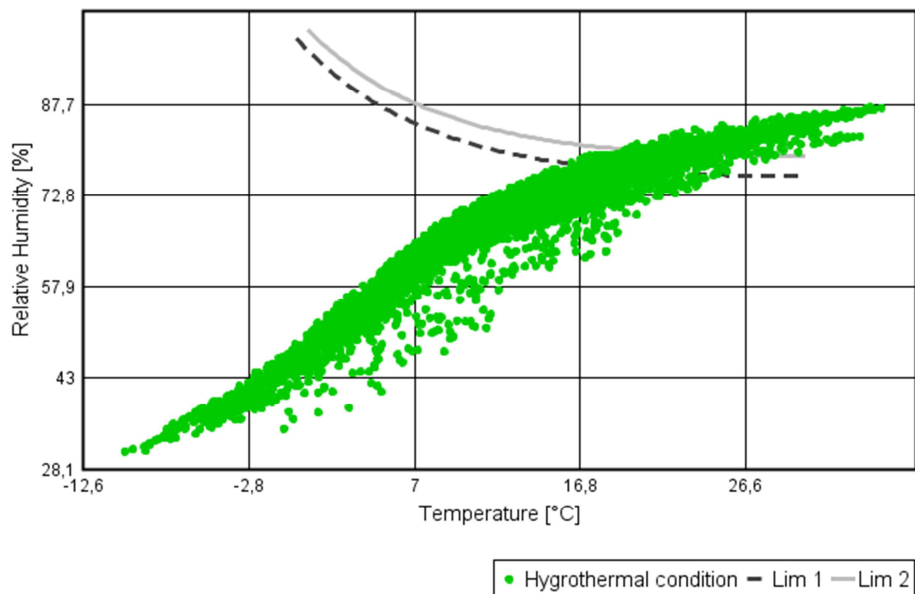
Isopleterna på spaltens karmyta redovisas i *Figur 15* och *Bilaga 2 och, 7*. Dessa isopleter representerar de två olika delarna av innerkarmens ytor som är direkt påverkade av luftspaltens klimat.

Då det ej går att editera utdata från Wufi 2D är följande bilder och bilagor från programmet på engelska samt så skrivs inte 100 % RF ut på dess axel. Lim 1 och Lim 2 är de mögellinjer som nämnts tidigare i uppsatsen.

Isopleths



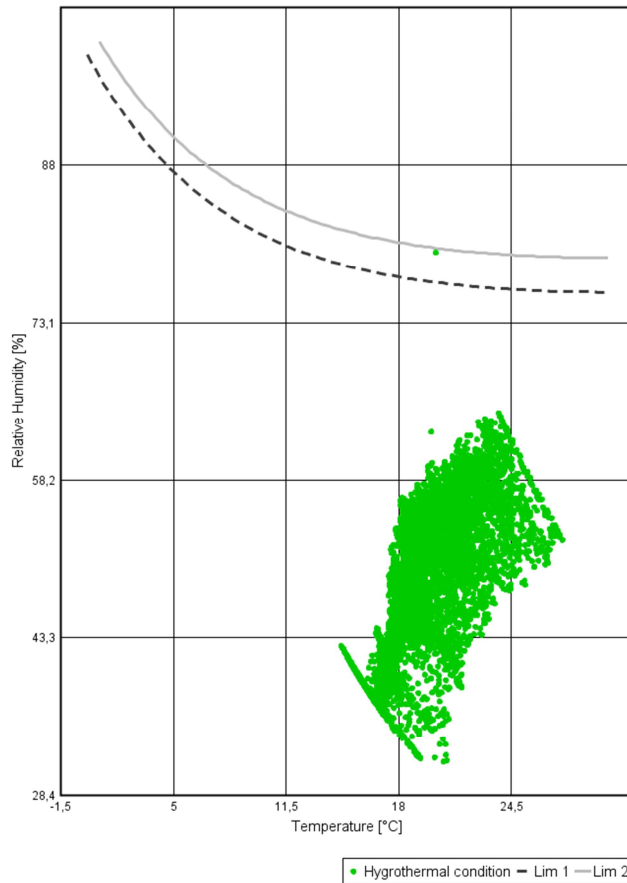
Isopleths



Figur 15. Isopleter på spaltens karmyta. Överst karmen närmast bärande glaset. Underst karmen som bär Isolerrutan (Borlänge).

I *Figur 16* och *Bilaga 3 och 8* illustreras innerkarmens inneryta med isopleter varpå risk för mögelpåväxt inte existerar. Detta resultat inträffar då normalt inneklimat används i programvaran.

Isopleths

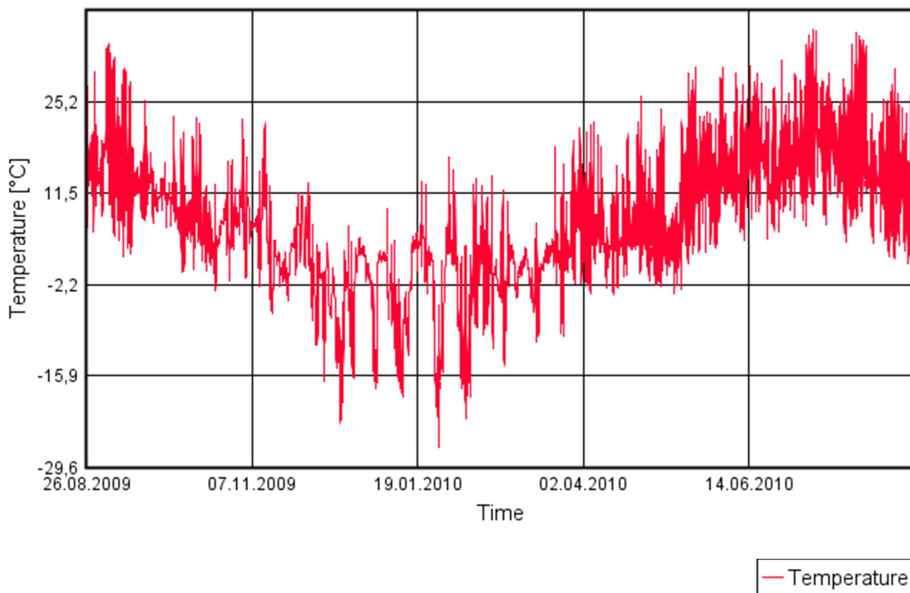


Figur 16. Isopleter på innerkarmens insida. (Borlänge)

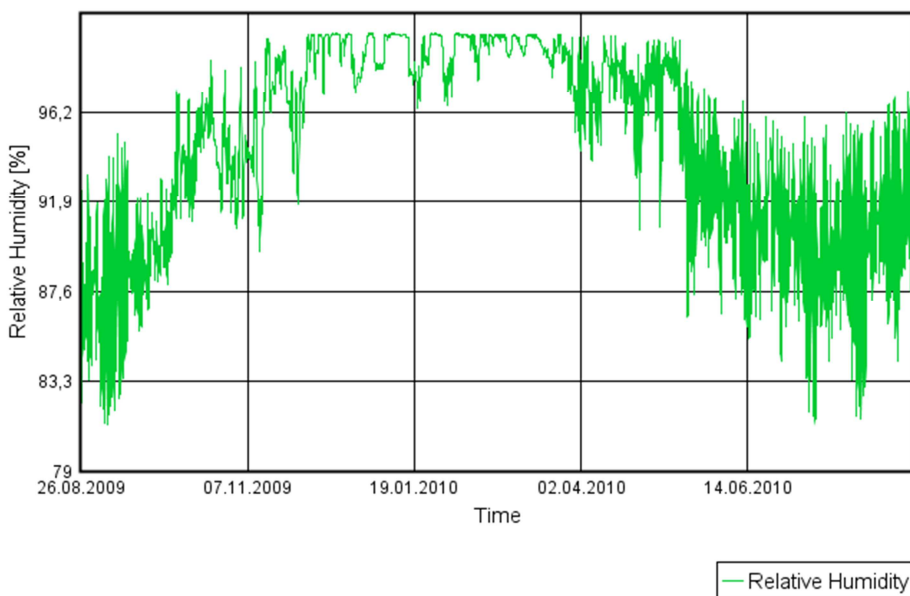
3.2.3.3 Kondens på det bärande glasets insida

Från samma tvådimensionella Wufi beräkning som används för att konstatera innerkarmens fuktförhållande under ett år, extraheras information som klargör händelseförloppet med luften i spalten som är närmst det bärande glasets insida under beräkningstiden. I *Figur 17 och Bilaga 1 och 6* visas resultatet av dessa beräkningar.

Temperature



Relative Humidity



Figur 17. Temperatur och relativ fuktighet på det bärande glasets insida. (Borlänge)

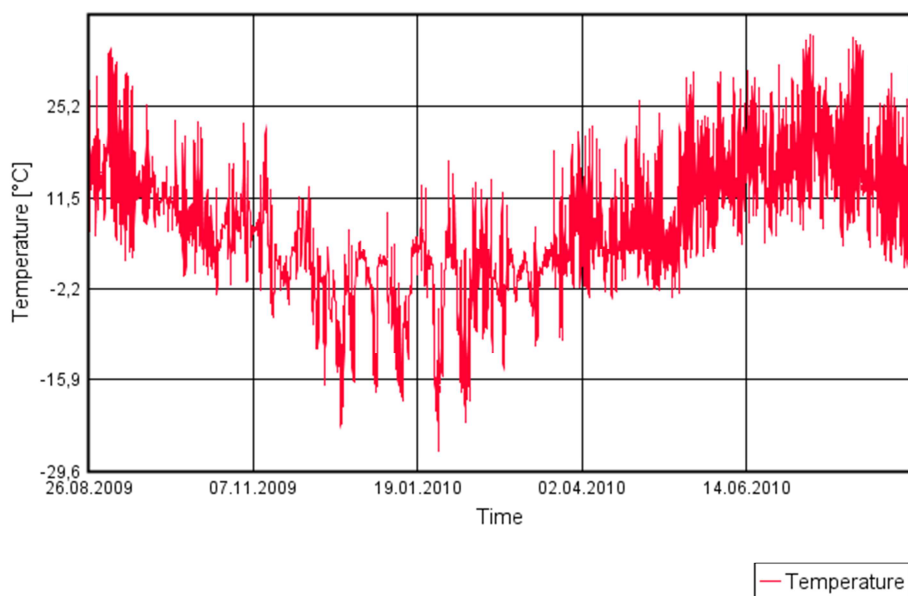
Kondens kommer till en stor grad visa sig i Borlänge (*Figur 17*) under perioden december till mars, men kommer troligtvis även att visa sig sporadiskt ända fram till juni där även här de horisontella linjerna visar sig tydligt. I *Bilaga 1* vilket representerar Lund kan det urskiljas att den kondens som uppstår är minimal då den relativa fuktigheten aldrig blir 100 % samt att den relativa fuktigheten i spalten är större i slutet av tidsperioden än vid början. Detta kan leda till att vatten ackumuleras över åren och kondens bildas vid ett senare tillfälle. I Växjö (*Bilaga 6*) kommer kondens uppstå vid ett flertal tillfällen då det kan urskiljas horisontala linjer vid 100 % RF. I samtliga tre grafer konstateras det att fuktigheten i slutet av beräkningstiden är högre än vad den är i början.

3.2.3.4 Åtgärder

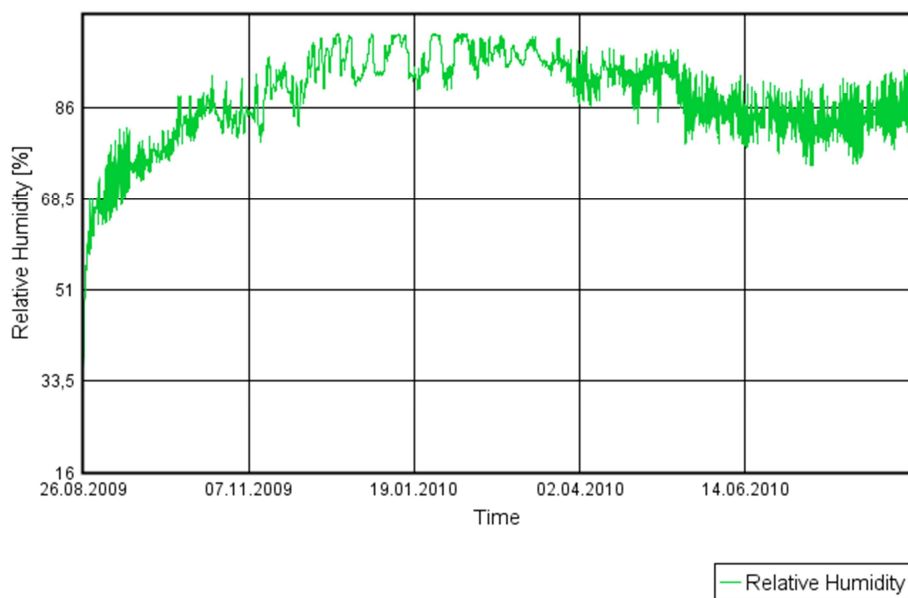
Då problem uppstår enligt beräkningsresultaten i *avsnitt 3.2.3.2* och *3.2.3.3* provas två olika åtgärder för att minimera eller helt eliminera dem. Åtgärderna som föreslås är endast en förändring i begynnelsevillkoren i Wufi. Den åtgärd som först utförs är att sänka luftfuktigheten i luftspalten från 80 % till 20 %. Detta är en mindre förändring då luft per volymenhet inte innehåller speciellt mycket vatten i jämförelse med trä. Andra åtgärden som provas är att sänka luftfuktigheten i innerkarmen från 80 % till 50 %.

Resultaten från första åtgärden (för Borlänge) redovisas i *Figur 18* och *19*. I *Figur 18* syns det ett flertal kondensationstillfällen samt att den relativa fuktigheten ökar generellt över året. Risken för mögelpåväxt har minskat något enligt *Figur 19* men kvarstår ändå.

Temperature

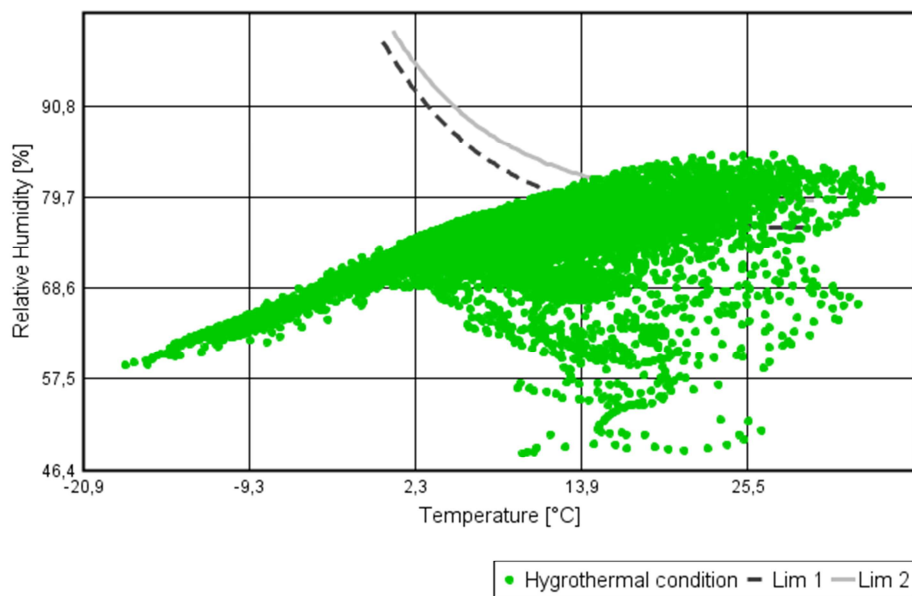


Relative Humidity

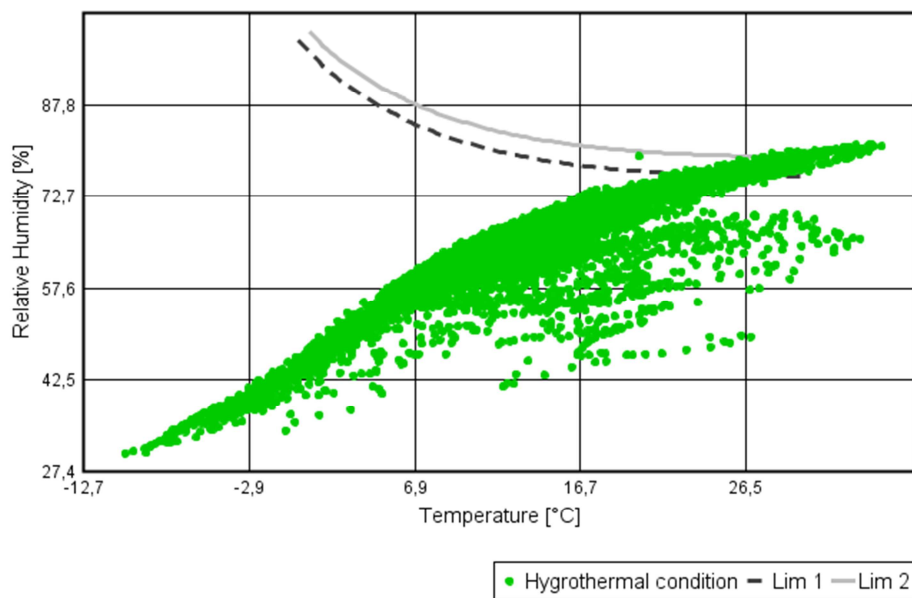


Figur 18. Temperatur och relativ fuktighet på det bärande glasets insida med sänkt relativ fuktighet i spalten (RF 20 %) (Borlänge).

Isopleths



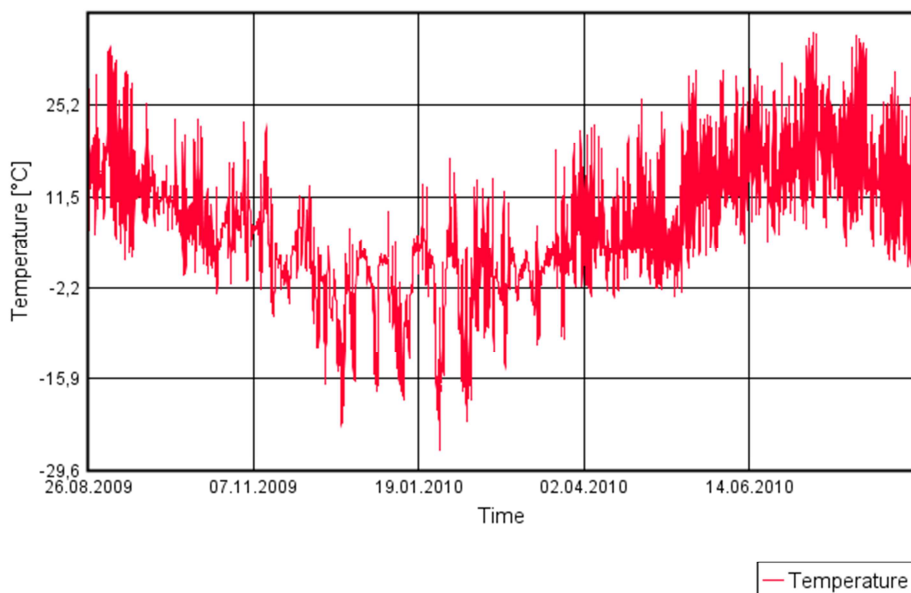
Isopleths



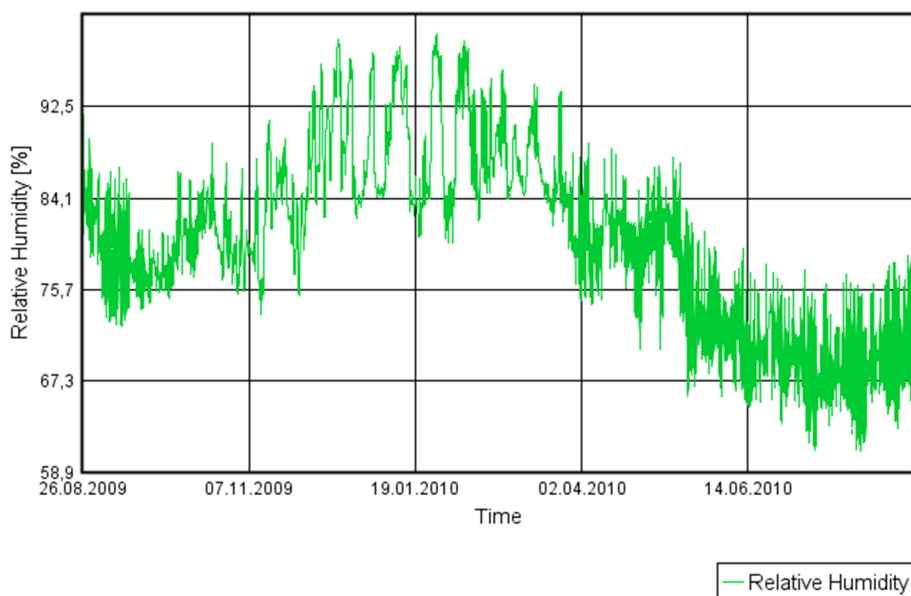
Figur 19. Isopleter på spaltens karmyta. Överst karmen närmast bärande glaset. Underst karmen som bär Isolerrutan. RF 20 % (Borlänge).

Andra åtgärden vilket är att ändra innerkarmens begynnelsevillkor, d.v.s. att sänka dess relativa fuktighet från 80 % till 50 % vilket motsvarar en sänkning från 20 % fuktkvot till 12,5 %. Som visas i *Figur 20 och 21* samt i *Bilaga 11, 12, 13 och 14* är att risk för kondens och mögelpåväxt är minimerad. Vad som även kan ses i *Figur 20 och Bilaga 11 och 13* är att mängden fukt i spalten är mindre i slutet av årscykeln än den är i början.

Temperature

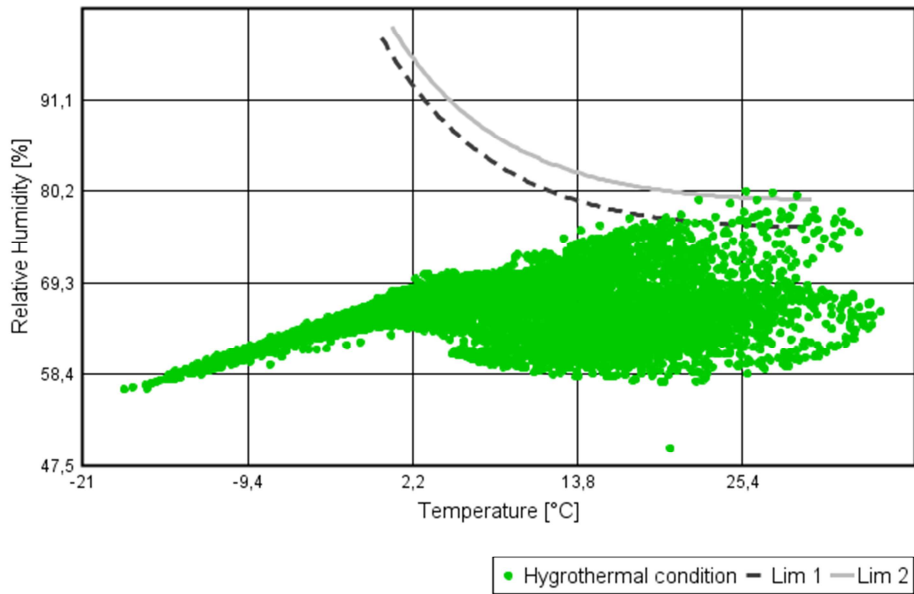


Relative Humidity

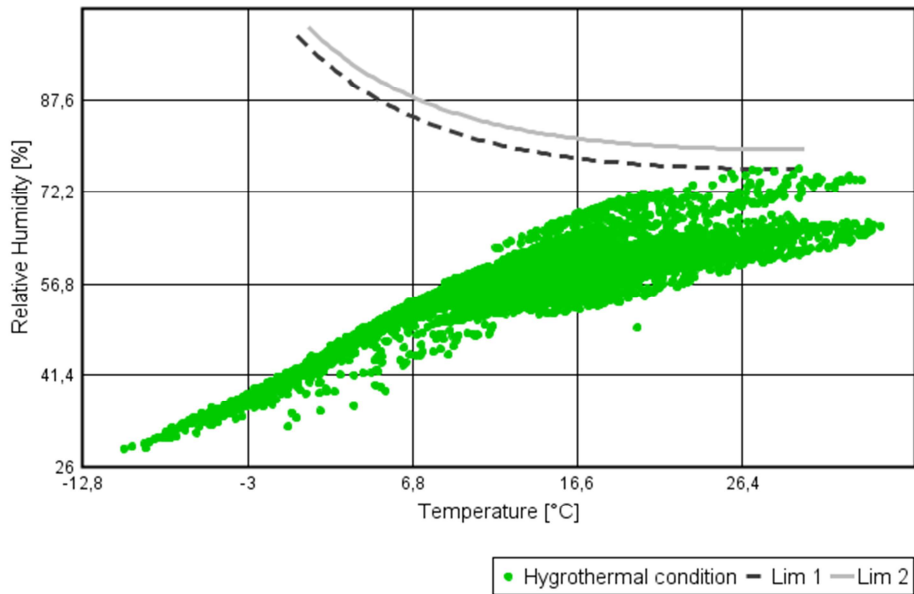


Figur 20. Temperatur och relativ fuktighet på det bärande glasets insida med sänkt relativ fuktighet i innerkarmen (RF 50 %) (Borlänge).

Isopleths



Isopleths



Figur 21. Isopleter på spaltens karmyta. Överst karmen närmast bärande glaset.
Underst karmen som bär Isolerrutan. Innerkarmen RF 50 % (Borlänge).

4 Resultat och Analys

4.1 Ytterkarmen

Som *avsnitt 3.2.3.1* åskådliggör kommer troligtvis mängden vatten i ytterkarmen att minska över åren. Både *avsnitt 3.2.3.1* och *3.1.2* visar att mögel kommer att uppstå om inte förebyggande åtgärder vidtas. *Avsnitt 3.2.3.1* påvisar även att mängden vatten i karmen minskar med åren och stabiliserar sig, då differensen mellan årsintervallerna minskar. Vid valet av åtgärd bör även åtkomligheten beaktas. Ytterglaset och produktens placering i väggen (*avsnitt 2.5.4*) kan göra det problematiskt att applicera mögelskyddet vid underhåll, vilket leder till att det kan vara fördelaktigt med en åtgärd som har långa intervaller mellan appliceringstillfällen.

4.2 Innerkarmen och kondens

Från *avsnitt 3.2.3.2* konstateras det att en reglering på innerkarmens fukthalt vid montering krävs om inte alternativa lösningar används (*3.1.3.4*). Resultatet från *avsnitt 3.1.3* visar att karmen klarar av att absorbera vattnet som de olika fallen belastar konstruktionen med. Vad handberäkningarna däremot inte klarar av är att säga hur snabbt karmen absorberar fukten. Isopleterna i *3.2.3.2* stämmer överens med handberäkningarna (*3.1.3*), även isopleterna påvisar att karmen klarar av att absorbera vatten vid liknande förhållande.

Vid sänkning av innerkarmens luftfuktighet till 50 % RF (*3.2.3.4*) så konstateras att risken för kondensation på det bärande glaset är eliminerad under denna årsberäkning. Då mängden fukt i spalten är mindre i slutet av årscykeln än vad den är i början tyder det på att risken för kondens minskar med åren.

Kravet på innerkarmens luftfuktighet bör således ligga någonstans mellan 50 och 80 % relativ fuktighet vid montering. Var gränsen ligger för hur mycket kondens som är tillåtet bör diskuteras och definieras. En kompatibel lösning kan itereras fram, där eventuellt både innerkarmens och spaltens luftfuktighet är under kontrollerade förhållanden. Innerkarmens inneryta behöver inget skydd från klimatet enligt *3.2.3.2*.

4.3 Alternativa lösningar

Resultatet från *avsnitt 3.1.3.4* är att vid kontrollerade förhållanden och noggrann applicering kan en diffusionstät film på spaltens tråkarm vara en fungerande lösning. Även andra alternativa lösningar som tas upp i *avsnitt 2.3.2* men som inte beräknas vidare i rapporten, kan vara plausibla lösningar.

4.4 Validitet

Generellt sätt är handberäkningarna begränsade då de endast behandlar ett specifikt stationärt tillfälle där problem kan uppstå. Datorberäkningarna ger en klarare bild på hur verkligheten kan se ut då beräkningar görs för varje timme om året. Ofullkomligheten med datorberäkningarna ligger i att modellen inte till fullo kan efterlikna verkligheten och kan därför endast göra en plausibel men noggrann beskrivning av den. Ett exempel på detta är ytterkarmen, där endast flöde i en dimension tas hänsyn till. P.g.a. programmets komplexitet kan utdata från datorberäkningen vara missvisande. Hänsyn bör tas till handberäkningarna för att göra en slutgiltig bedömning.

En annan sak som begränsar examensarbetet är att beräkningarna är gjorda för ett perfekt förhållande mellan de olika delarna i produkten samt produktens koppling till kringliggande element.

Bristen i sorptionsberäkningen är att endast plausibla fall behandlas. Den tar inte hänsyn till flöden över en längre tid d.v.s. om fukten ackumuleras eller ej, samt är den bara så noggrann som de potentiella fall som behandlas dvs. där skribenten tror att det kanske kan finnas en problematisk situation. Beräkningen tar bara upp en generell temperatur och relativ fuktighet för hela spalten medan luftskiktet närmast det bärande glaset kan skilja något från den övriga spalten. Dessutom är sorptionskurvan (*Figur 11*) som används i beräkningarna endast en förenklad kurva som generaliserar både absorption och desorption samt att den inte tar hänsyn till att om RF omväxlande ökar och minskar så kommer karmen ha en mindre fuktkapacitet än vad *Figur 11* visar.

Aktuella lagar och krav har inte beaktats i rapporten vilket leder till att slutsatsen kan avvika något från dem som t.ex. krav på minimal behandling av träytor.

5 Slutsats och Diskussion

5.1 Ytterkarmen

Dator- (avsnitt 3.2.3.1) och handberäkningarna (avsnitt 3.1.2) konvergerar då båda beräkningarna påvisar ett fuktigt förhållande. Datorberäkningarna konstaterar även att mängden vatten i ytterkarmen minskar över tiden (se *Figur 13*), vilket betyder att risken för röta elimineras.

Slutsatsen av båda beräkningarna är att mögelskydd krävs för att få ett fungerande system. Beroende på var produkten placeras i väggen, väljs intervallet mellan mögelskyddets underhåll. Mögelskyddet har inte något täthetskrav enligt *avsnitt 3.2.3.1*. Denna slutsats är endast baserad på beräkningar som utförts och som nämns i *avsnitt 4.4* kan den avvika från lagar, krav och normer.

Produktens placering i väggen är viktigt att beakta då täthet mellan byggelementen (*avsnitt 2.5*) och underhåll av mögelskyddet på ytterkarmen påverkas av detta. Värt att nämna är också vikten av tvåstegstätningen (*avsnitt 2.5.4*).

5.2 Innerkarm

Beroende på vilken åtgärd som vidtas för att minimera kondens påverkas risken för mögel på spaltens karmyta. Ett bra exempel på detta är *Bilaga 1 och 2* där kondens undviks på produkten utan att utföra någon åtgärd samtidigt som risken för mögel på spaltens karmyta är stor. Effekterna av den andre åtgärden 3.2.3.4, vilket är att sänka luftfuktigheten i karmen från 80- till 50 %, märks tydligt då mögelrisken på spaltens karmdel elimineras. Ur *avsnitt 3.2.3.2* syns det tydligt att mögel på innerkarmens insida inte kan uppstå.

5.3 Kondens

Vad som kan konstateras från utgångsfallet i *avsnitt 3.2.3.3* är att i Borlänge och Växjö finns en hög risk för kondens under vintern. Risk för kondens har minskat något men risken för mögelpåväxt på spaltens karmyta kvarstår efter att ha sänkt den relativa fuktigheten i luftspalten som är den första åtgärden. Den andra åtgärden (att minska fuktkvoten från 20 % till 12,5 % fuktkvot) har en mer positiv effekt på kondensationsproblemet då den i princip elimineras. För att minimera kondensen föreslås två tillvägagångssätt. Den ena lösningen är som åtgärd två d.v.s. att minska mängden vatten i ytterkarmen, den andra lösningen är att minska både mängden vatten i karmen och spalten. Denna andra lösning kan innebära att mängden fukt i innerkarmen inte behöver sänkas så drastiskt till 12,5 % fuktkvot. Läckage i systemet har inte tagits hänsyn till och kan göra att kondens bildas trots en annars noggrann ihopmontering samt placering på plats.

Enligt *avsnitt 3.1.3.4* kan det eventuella kondensproblemet lösas med att en tät film appliceras på spaltens träytor. Monteringen kräver noggrannhet och underhåll av filmen kan ej utföras då åtkomst till ytan efter montering är omöjlig. Filmen är även utsatt för stora fuktvariationer enligt *Tabell 15*. *Tabell 15* visar även att det är av stor vikt att tänka på i vilket fuktighetstillstånd som systemet försluts. Uppnås detta och tätningen håller som den ska kan detta vara en hållbar lösning.

6 Avslutning

Nedan följer en rad punkter som kan vara intressanta att arbeta vidare med

- 2D-beräkning
 - Minska intervallet i den andra åtgärden (80-50 %)
 - Beräkna i flera riktningar
 - Beräkna över en längre tid
 - Beräkna med fuktigt inomhusklimat
- Alternativa lösningar
- Lagar och krav
- Norra Sverige och utlandet

Slutligen bör även frågan tas upp om hur stramt tyglarna ska hållas på kondensen. Är det okej att där blir kondens på det bärande glasets insida en dag om året mitt i vintern?

7 Referenser

Litteratur

(FH)

Nevander LE och Elmarsson B. (1994) *Fukthandbok*. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm. Tredje utgåvan.

(BE)

Bokalders V och Block M. (2009) *Byggekologi*. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.

(Värme)

Claesson J, Nevander LE och Sandin K. (1984) *Värme*. Institutionen för byggnadsteknik, Tekniska Högskolan i Lund.

PC-program

(Wufi)

Wufi 5.1 < <http://www.wufi.se/Valkommen.html> >. Hämtat den 21 april 2012

Wufi®2D-3 < <http://www.wufi.se/Valkommen.html> >. Hämtat den 21 april 2012

(HEAT2)

HEAT2 < <http://www.buildingphysics.com/index.htm> >. Hämtat den 21 april 2012

(Parasol-LTH)

Parasol-LTH < <http://www.ebd.lth.se/program/parasol/> >. Hämtat den 21 april 2012

Epost

Lennart Nystedt. Nordisk Produktchef. Sika. Stockholm. Mejl 2011-08-09.

Christina Stålhandske. Forskningsingenjör. Glafo. Växjö. Mejl 2011-06-10.

Internet

(Glafo 1)

Bakgrund, Glas och trä i samverkan. Glafo. Hämtat från

< <http://www.glafo.se/fou/2008/P80015.htm> >. Hämtat den 28 februari 2012.

(Glafo 2)

Hämtat från < <http://www.glafo.se/> >. Hämtat den 20 juni 2012

(Glafo)

6:e rapporten, Glas och trä i samverkan. Glafo. Hämtat från

<<http://www.glafo.se/projektinformation/11-1/P80015S6A.htm>>. Hämtat den 26 oktober 2011.

(Wufi.se)

Wufi.se. Hämtad från <<http://wufi.se/Valkommen.html>>. Hämtad den 3 januari 2012.

(FC)

Fuktcentrum, Lunds Tekniska Högskola, Arfvidsson J. Hämtad från <http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg_och_hjaelpmedel/pc_program/wufi/hur_vet_man_daa_att_en_wufi_simulering_aer_genomfoerd_paa_ett_bra_saett/>. Hämtad den 21 december 2011.

(HEAT)

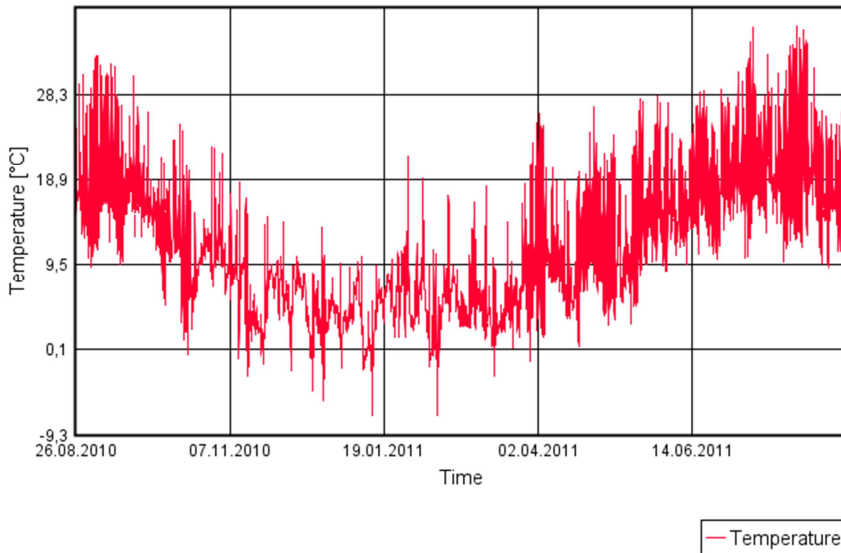
Hämtat från <http://www.buildingphysics.com/manuals/HEAT2_5.pdf>. Hämtat den 17 februari 2012

8 Bilaga

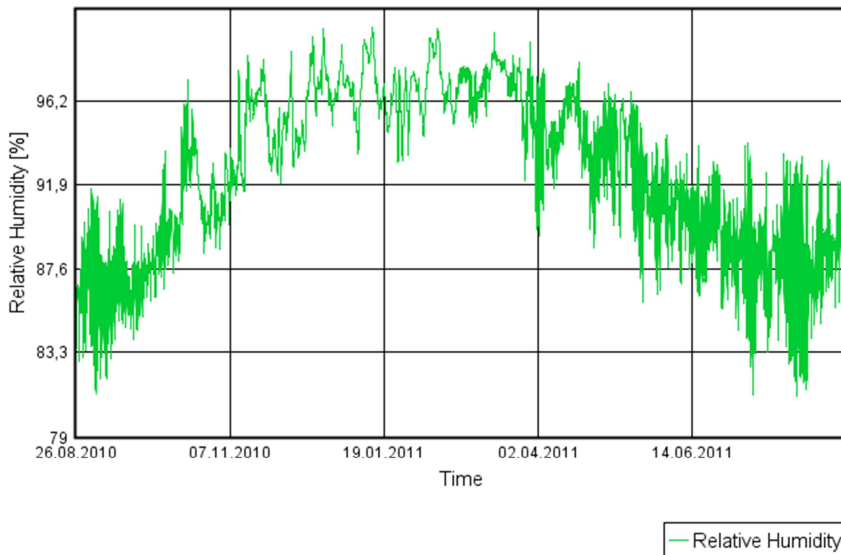
8.1 Utgångsfall

8.1.1 Lund

Temperature

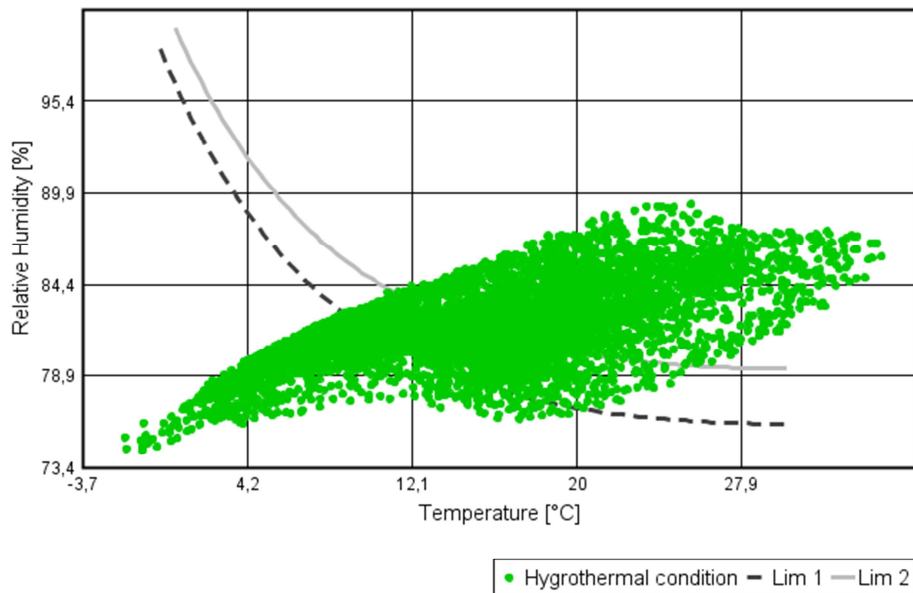


Relative Humidity

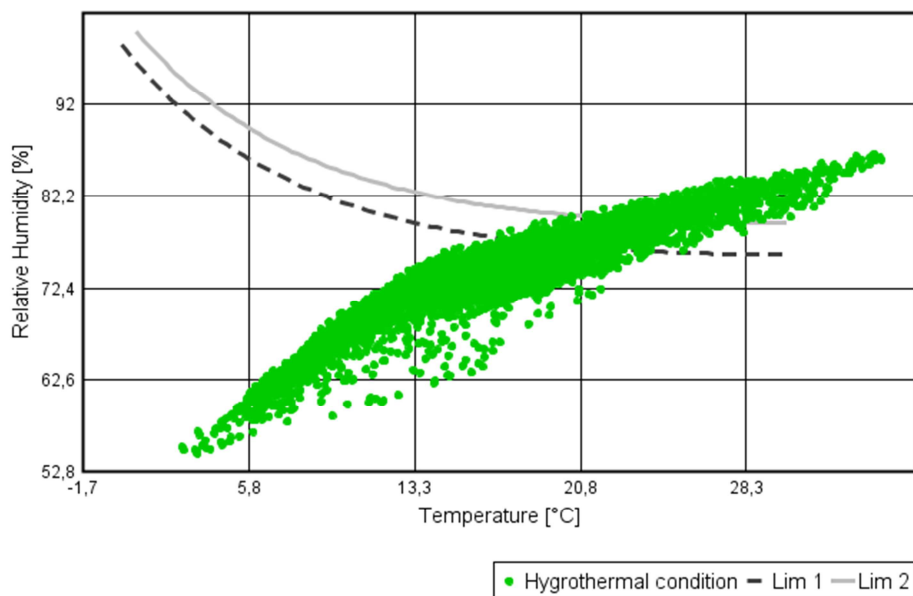


Bilaga 1. Temperatur och relativ fuktighet på det bärande glasets insida.

Isopleths

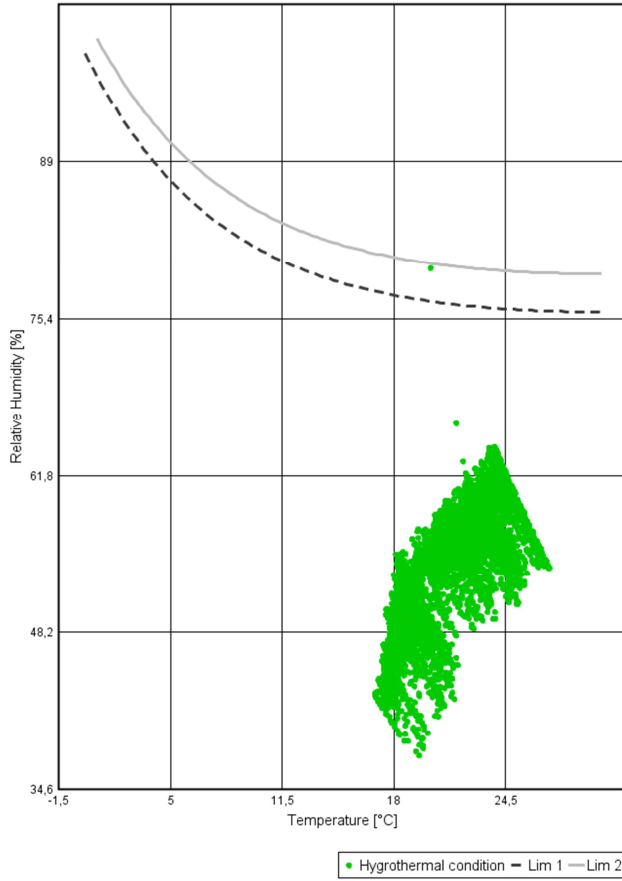


Isopleths



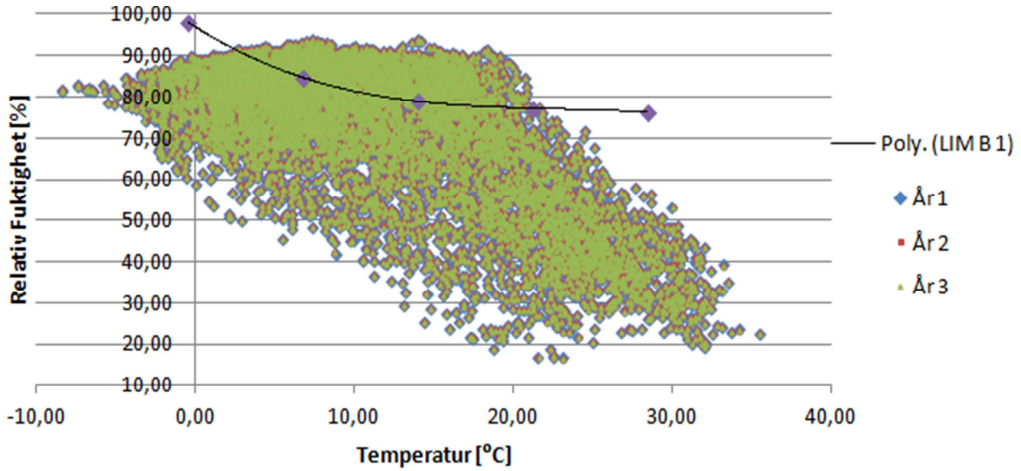
**Bilaga 2. Isopleter på spaltens karmyta. Överst, karmen närmast bärande glaset.
Underst, karmen som bär Isolerrutan.**

Isopleths



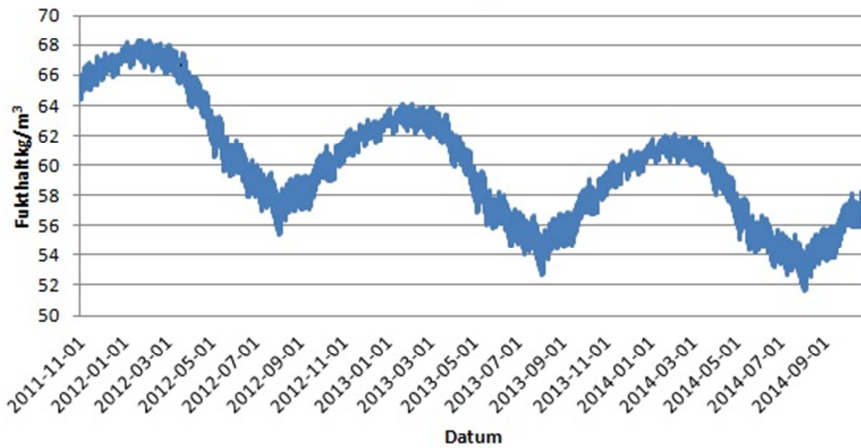
Bilaga 3. Isopleter på innerkarmens insida.

Utsida



Bilaga 4. Isopleter på ytterkarmens utsida.

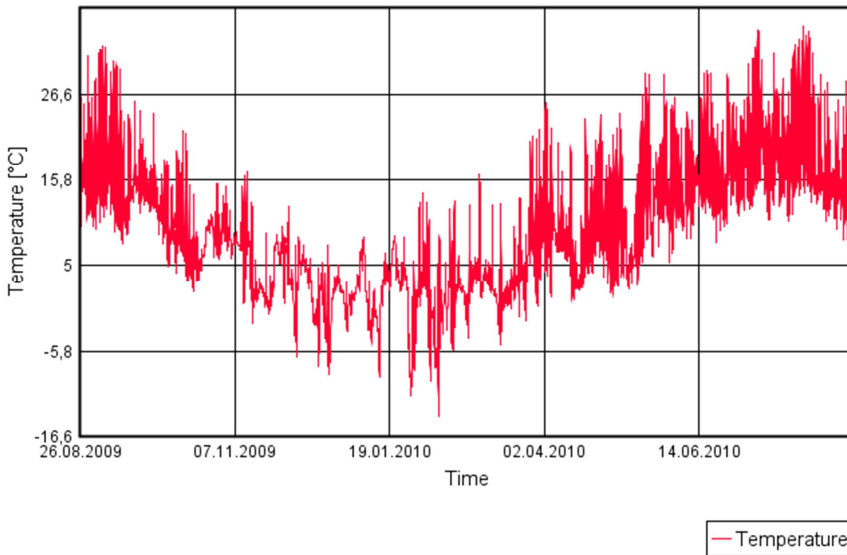
Vatteninnehåll i ytterkarmen



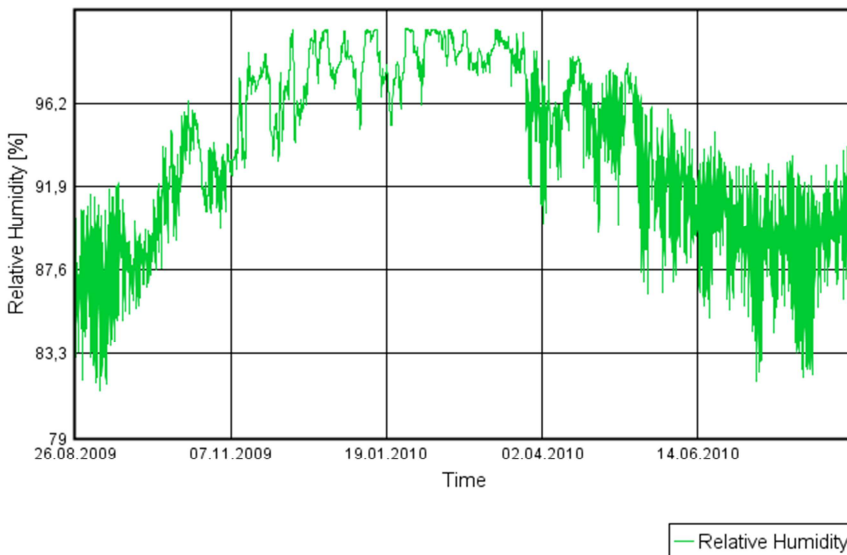
Bilaga 5. Vatteninnehåll i ytterkarmen.

8.1.2 Växjö

Temperature

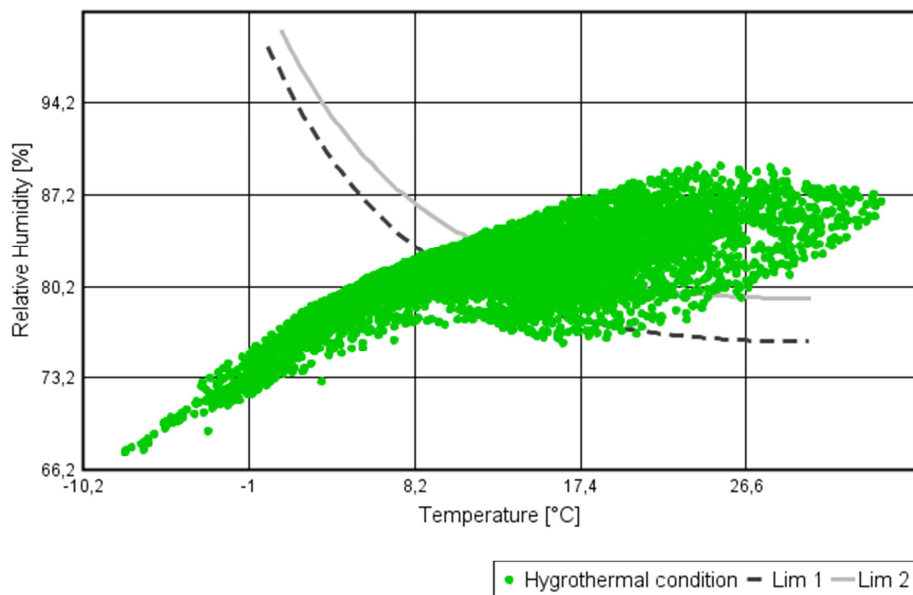


Relative Humidity

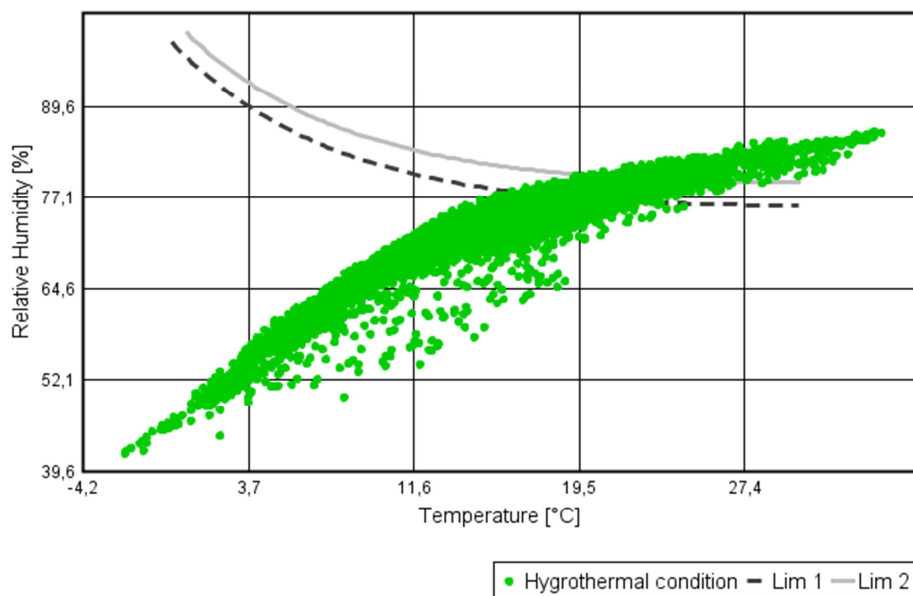


Bilaga 6. Temperatur och relativ fuktighet på det bärande glasets insida.

Isopleths

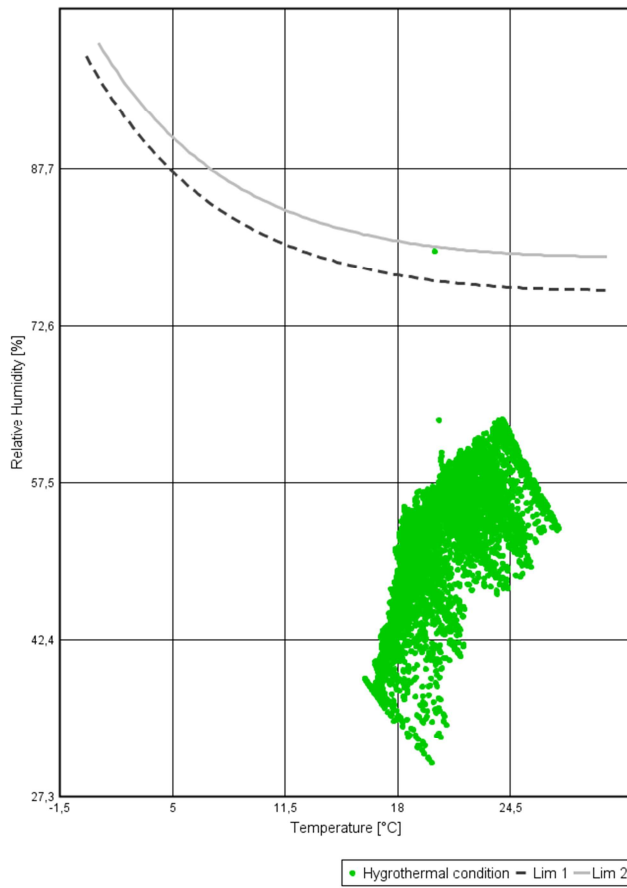


Isopleths



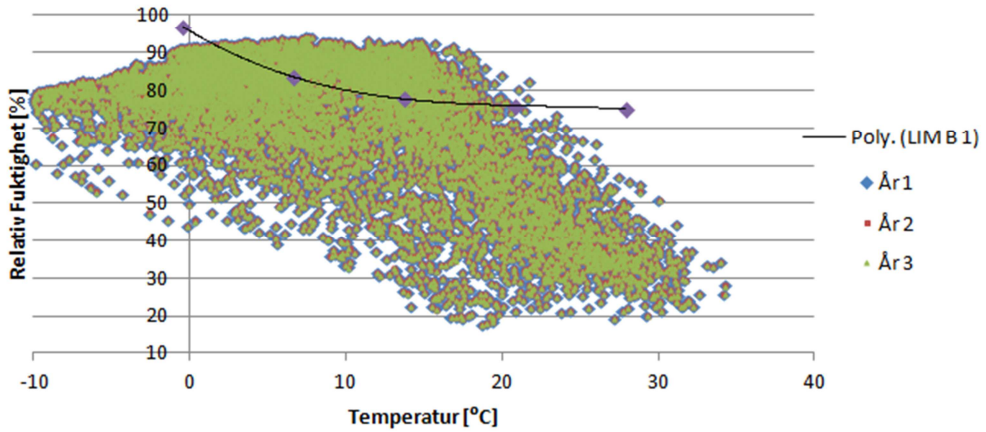
Bilaga 7. Isopleter på spaltens karmyta. Överst karmen närmast bärande glaset. Underst karmen som bär Isolerrutan.

Isopleths



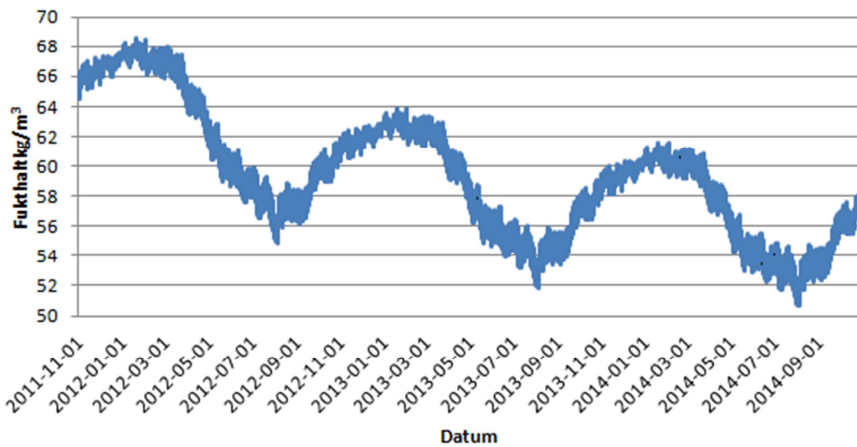
Bilaga 8. Isopleter på innerkarmens insida.

Utsida



Bilaga 9. Isopleter på ytterkarmens utsida.

Vatteninnehåll i ytterkarmen

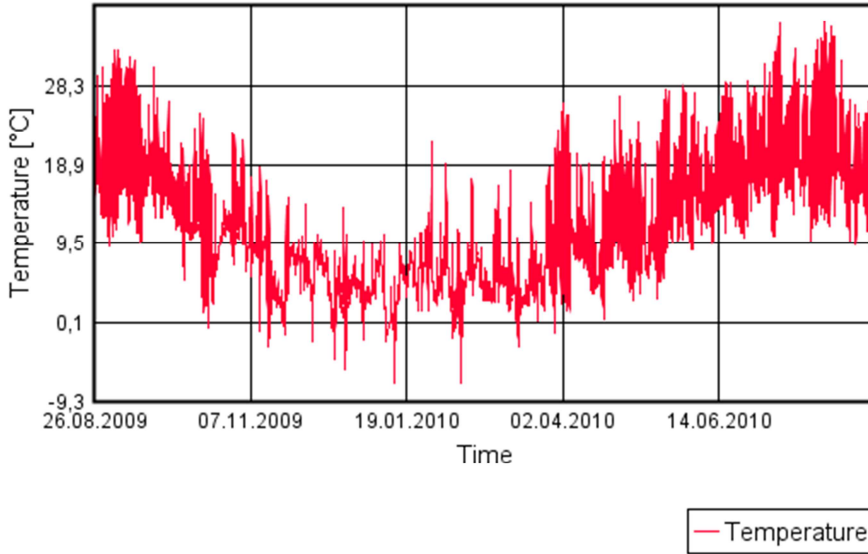


Bilaga 10. Vatteninnehåll i ytterkarmen.

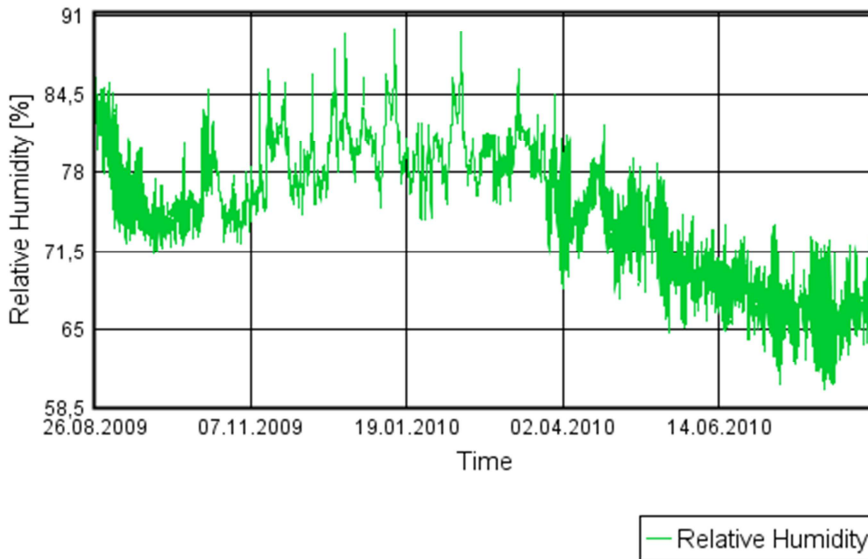
8.2 Åtgärd 2: Sänkt relativ fuktighet i innerkarmen

8.2.1 Lund

Temperature

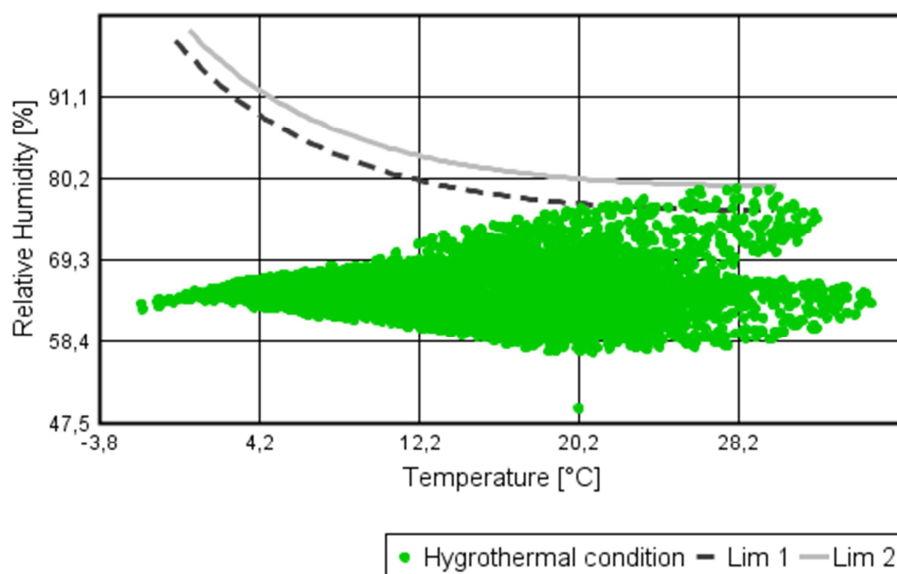


Relative Humidity

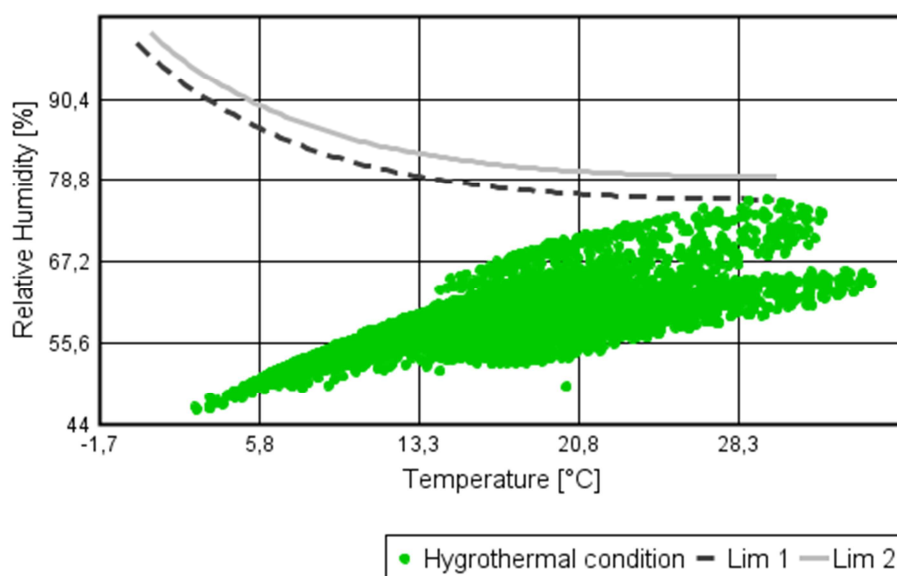


Bilaga 11. Temperatur och relativ fuktighet på det bärande glasets insida med sänkt relativ fuktighet i innerkarmen (RF 50 %).

Isopleths



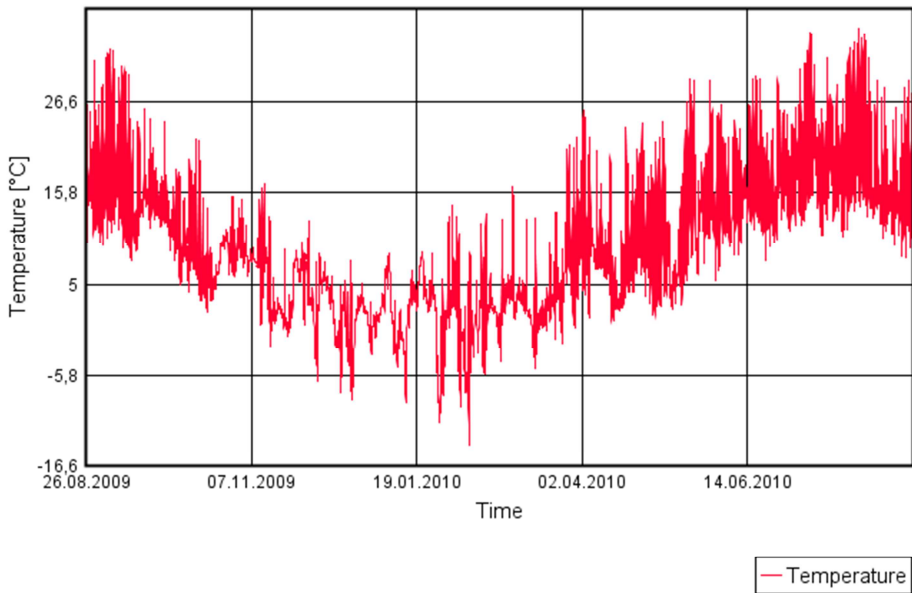
Isopleths



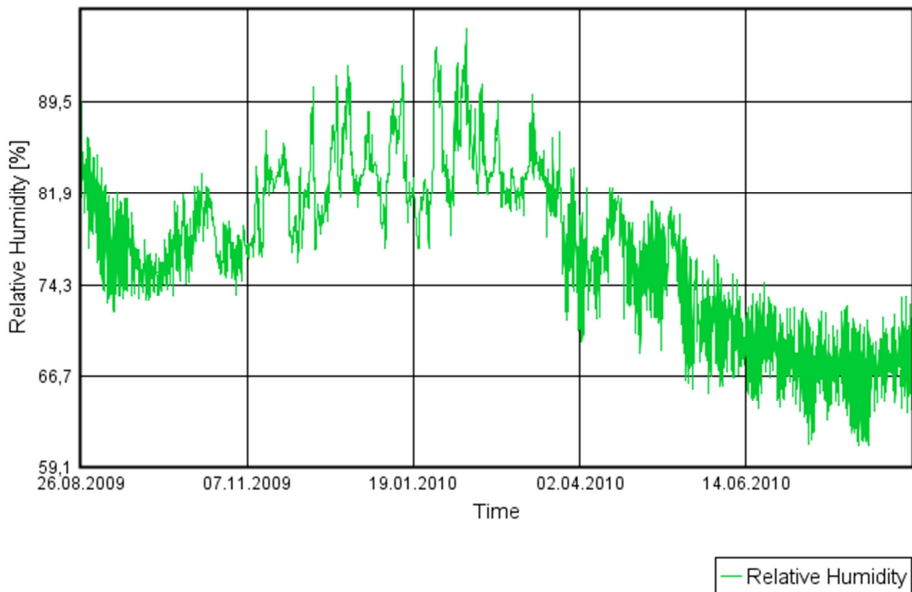
**Bilaga 12. Isopleter på spaltens karmyta. Överst karmen närmast bärande glaset.
Underst karmen som bär Isolerrutan. Innerkarmen RF 50 %.**

8.2.2 Växjö

Temperature

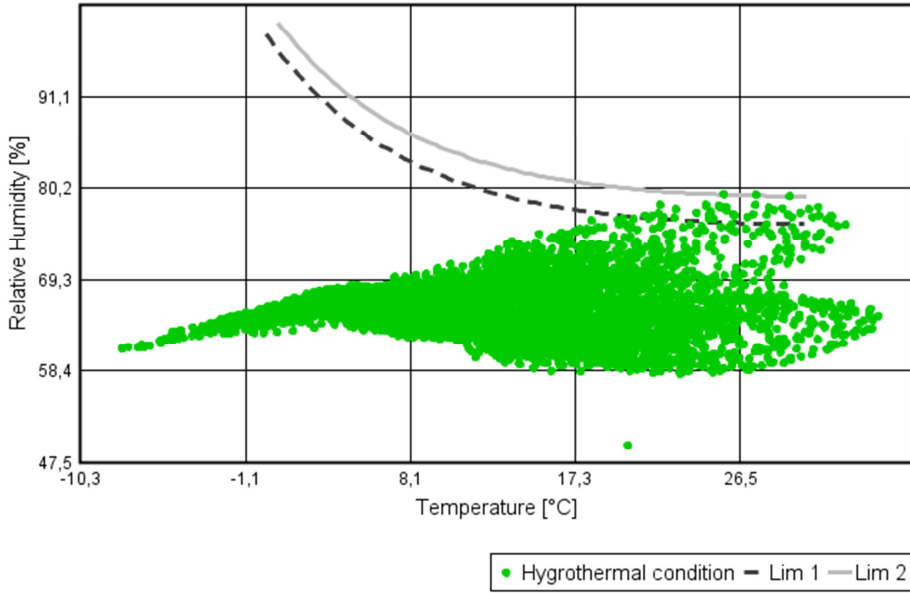


Relative Humidity

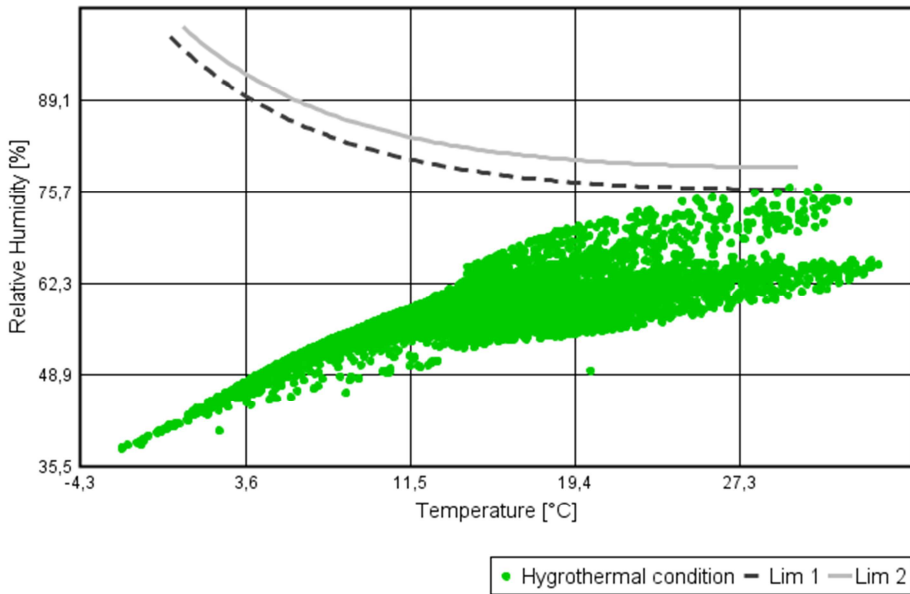


Bilaga 13. Temperatur och relativ fuktighet på det bärande glasets insida med sänkt relativ fuktighet i innerkarmen (RF 50 %).

Isopleths

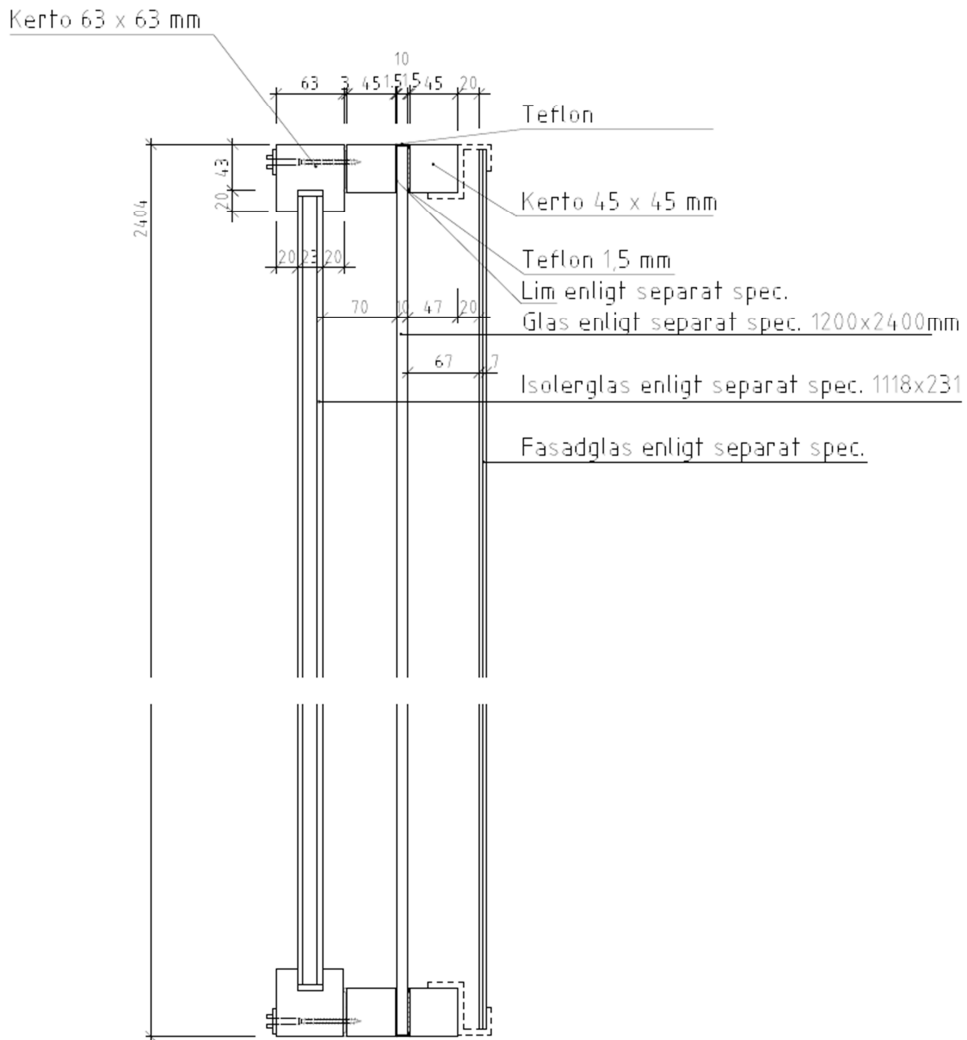


Isopleths



**Bilaga 14. Isopleter på spaltens karmyta. Överst karmen närmast bärande glaset.
Underst karmen som bär Isolerrutan. Innerkarmen RF 50 %.**

8.3 Övrigt



Bilaga 15. Tvärsnittsritning