

Fuktsäkra träkonstruktioner II

Vägledning för utformning
av träbaserade takkonstruktioner

S. Olof Mundt-Petersen

Rapport TVBH-3065 Lund 2016
Avdelningen för Byggnadsfysik, LTH



LUND
UNIVERSITY

Fuktsäkra träkonstruktioner II

Vägledning för utformning
av träbaserade takkonstruktioner

S. Olof Mundt-Petersen

Avdelningen för Byggnadsfysik
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund
Sverige

ISRN LUTVDG/TVBH--16/3065--SE(127)
ISSN 0349-4950
ISBN 978-91-88722-59-1
©2016 S. Olof Mundt-Petersen

Abstract

The aim of this report is to present general guidelines and examples of how moisture proof wood-framed roof constructions in Sweden can be built. Important factors affecting the moisture safety and risk of mould and moisture damages in roofs are presented. The report also aims to serve as a tool for Swedish timber manufacturers, the local building authority and specifications for new wooden constructions. The study only provides general solutions and does not describe detailed designs, which are also important to ensure moisture proof constructions.

The report briefly summarizes essential and new knowledge in the field. The study is carried out as a parametric study where normal Swedish wood-framed roof designs for new buildings are used as a basic design. Changes are made to the basic design and analyzed from a moisture proof perspective. The study is carried out by using the coupled heat and moisture calculation tool, WUFI 5.2. A list of factors that must be satisfied to limit the risk of mould and moisture related damages are presented.

The main conclusion of this study is that there is a risk of mould and moisture problems in well-insulation wood frame roofs. The risk can be reduced by implementing suitable designs in which a number of important factors affecting the moisture safety are taken into account. Such important factors are listed below:

- The main risk of mould and moisture related damage, based on northern European climate conditions, mainly occur in the northern oriented exterior part of the roofs.
- The occurrences of moisture-critical conditions and risk of mould and moisture related damage increase as the thickness of thermal insulation is increased. However, if the insulation thickness is more than 400 mm, the increased risk of damage does not become as significant with even thicker insulation as in the case of thinner insulation thicknesses.
- Possible higher heat and moisture capacity in cellulose fibre insulation has, in a context, a negligible positive influence compared to mineral wool.
- The roof construction is very sensitive to leakages. All types of moisture leakages have a major negative influence on the roof construction. Therefore it is of importance to design and build roofs with great care and without risk of future moisture leakages of any kind.
- The air flow in the air gap below the tongued and grooved wooden roof board shall be as low as possible but at the same time be so high that all moisture from leakages is removed. Since a high ventilation rate can increase the risk of damage, no leakages, from humid indoor air or outer water penetration, could be accepted.
- Roof colour, roofing material and other exterior roof surface properties influence the risk of damage in the roof construction. Dark colored roof tiles, compared to bright colored tiles and only roofing felt, limit the risk of damage. However, risk of damage is, in a context, limited compared to possible increased risk of damage caused by leakages.
- Exterior insulation, on top of the tongued and grooved wooden roof board, reduce the risk of moisture critical conditions. However, the effect of the reduced risk is not significant enough to ensure that no damage will occur.
- Insulation retaining boards in order to create ventilated air gaps have to be vapor-permeable to allow moisture transport and drying out through the ventilated air gap.
- A moisture safety fan and heating cable system controlled by the interior roof climate conditions and the exterior climate conditions may be needed in order to ensure moisture safe conditions for the whole life-span for the roof.

Sammanfattning

Rapporten avser att ge generella riktlinjer och exempel på hur fuktsäkra takkonstruktioner i trä kan byggas. En rad viktiga faktorer som påverkar fuktsäkerheten och risken för fukt- och mögelrelaterade skador presenteras. Rapporten avser även att fungera som ett verktyg och stöd för svenska trähustillverkare, statliga och kommunala tjänstemän som handlägger byggrelaterade ärenden samt byggherrar och konsulter. Studien presenterar endast generella lösningar och riktlinjer och går inte in på specifika detaljer, vilka också är av stor vikt för att erhålla en fuktsäker konstruktion.

Initialt sammanfattas befintlig kunskap och flera nya relevanta studier inom området. Denna studie är genomförd som en parameterstudie och utgår från ett utgångsfall med ett vanligt förekommande parallelltak. Studien bygger på en rad olika förändringar i takkonstruktionen och omgivande faktorer vilka sedan utvärderas och jämföras mot utgångsfall ur ett fukttekniskt perspektiv. Avslutningsvis presenteras en rad faktorer olika faktorer vilka måste beaktas för att undvika fukt- och mögelrelaterade skador. I praktiken är resultaten även tillämpbara för motsvarande takkonstruktion med ett kallt vindsutrymme. Studien är utförd med fukt- och värmeberäkningsprogrammet WUFI Pro 5.2.

Den övergripande slutsatsens är att det generellt sett föreligger en risk för fukt- och mögelrelaterade skador i välisolerade takkonstruktioner i trä. Risken för skador kan reduceras genom att en rad olika viktiga faktorer som påverkar fuktsäkerheten i takkonstruktionen beaktas, såsom att:

- Störst risk för fukt- och mögelrelaterade skador föreligger långt ut i takkonstruktionerna, företrädesvis insidan av råspons, och i tak eller del av tak orienterad mot norr.
- Risken för fukt- och mögelrelaterade skador ökar med ökad isolertjocklek. Vid ytterligare ökning av dagens isolertjocklekar, över cirka 400 mm, ökar dock inte risken för skador lika snabbt som om takkonstruktioner med initial tunnare isolertjocklek tilläggsisolerar.
- Teoretisk högre värme- och fuktkapacitet hos cellulosaisolering samt med detta ökad fuktbufferande förmåga har i ett tillämpat perspektiv en försumbar effekt jämfört mineralull.
- Takkonstruktioner är generellt sett mycket känsliga för alla typer av inläckage, såväl av regnvatten utifrån som av fuktig luft inifrån. Alla typer av inläckage måste förhindras för att säkerställa att konstruktionen inte drabbas av fukt- och mögelrelaterade skador.
- Luftflödet i luftspalten och på kallvinden under råsponsen skall vara så lågt som möjligt men samtidigt så pass högt att inträngande fukt, från inläckage utifrån eller i form av ånga från inomhusluften, ventileras ut. Eftersom en för hög ventilation även kan medföra ökad risk för skador kan inga inläckage, varken inifrån eller utifrån accepteras.
- Faktorer som utvändigt takmaterial och takkulör påverkar risken för fukt- och mögelrelaterade skador i takkonstruktionen. Tunga och mörka tak begränsar risken för skador något men är i jämförelse med risken för skador på grund av inläckage försumbar.
- Utvändig isolering, på utsidan av råsponsen, reducerar risken för skador i takkonstruktionen. Den positiva effekt som utvändig isolering medför är dock inte tillräcklig för att säkerställa att inga fukt- och mögelrelaterade skador uppstår.
- Skivmaterial i syfte att skapa en ventilerad luftspalt på insida råspons måste vara diffusionsöppna för att göra uttorkning till luftspalten möjlig och med detta bereda möjlighet för fuktig, uttorkande luft, att kunna diffundera till luftspalten för att därefter ventileras ut.
- För att säkerställa att takkonstruktionen inte drabbas av fukt och mögelrelaterade skador kan ett fläkt- och värmekabelsystem som styrs av utomhusklimatet samt klimatet på kallvinden eller i parallelltaketets luftspalt installeras.

Förord

Rapporten är del av projektet Fuktsäkerhetsanalys i tak som huvudsakligen finansierats av SBUF och genomförts vid Lunds Tekniska Högskola i samarbete med NCC.

Rapportens resultat har diskuterats och utvärderats med Lars-Erik Harderup på avdelningen för Byggnadsfysik vid Lunds Tekniska Högskola. Vidare har rapporten granskats och viktiga synpunkter erhållits från ett av delprojektens referensgrupp bestående av Stephen Burke, NCC teknik, Mattias Lindskog, AK-konsult och Tord Isaksson, Skanska Teknik. Ett varmt tack till Lilian Johansson som ritat figurerna.

Lund juni 2016



S. Olof Mundt-Petersen

Innehåll

Abstract	3
Sammanfattning	5
Förord	7
Innehåll	9
1 Inledning	11
1.1 Bakgrund	11
1.2 Syfte	11
1.3 Målgrupp	11
1.4 Metod	12
1.5 Avgränsningar	12
1.6 Felkällor	13
2 Sammanställning av angränsande studier	15
2.1 Fuktbelastning i takkonstruktioner med perforerad ångspärr	15
2.2 Fuktanalys av klimatvind	15
2.3 Problematiken isolering vindsbjälklag i uteluftsventilerade kallvindar	16
2.4 Fuktsäkerhet i kalla vindsutrymmen	17
2.5 Bygg fuktsäkra takkonstruktioner	19
2.6 Kartläggning av fuktförhållanden vid prefabricerat trähusbyggande	19
2.7 Fuktsäkra träkonstruktioner – Vägledning för utformning av träbaserade ytterväggar	20
3 Mögelpåväxt samt beskrivning och val av mögelmodell	23
3.1 Orsaker till mögelpåväxt samt beskrivning av mögelmodell	23
3.2 Val av mögelmodell	26
4 Sammanställning av genomförda beräkningar och jämförelser	29
4.1 Genomförda beräkningar och jämförelser	29
4.2 Tabeller över genomförda beräkningar och jämförelser	33
5 Utgångsfall och grundläggande förutsättningar	37
5.1 Utgångsfall	37
5.2 Fuktkritiska positioner	41

6	Parameterstudie – Olika randvillkor – Olika klimat.....	45
6.1	Påverkan av takriktning mot olika väderstreck.....	45
6.2	Omgivande utomhusklimat/ olika orter.....	46
6.3	Jämförelse mellan beräkning med av SMHI uppmätt klimat och WUFI:s befintliga klimatfiler	48
6.4	Omgivande inomhusklimat	51
7	Parameterstudie – Förändringar av yttertaket	57
7.1	Olika kulör på takpannor	57
7.2	Olika takbeklädnadsmaterial – Takpapp eller tegelpannor	62
7.3	Effekten av inläckage genom takpapp in i råspont	65
7.4	Olika takvinklar.....	67
7.5	Olika takvinklar och olika svarta takbeklädnadsmaterial – Takpapp eller tegelpannor	70
7.6	Extra isolering på utsida råspont.....	73
7.7	Extra isolering på utsida råspont och olika kulör på takpannor.....	80
7.8	Extra isolering på utsidan av råspont och olika svarta takbeklädnadsmaterial – Takpapp eller tegelpannor	82
7.9	Extra isolering på utsida råspont och olika takvinklar.....	83
8	Parameterstudie – Olika takkonstruktioner.....	87
8.1	Jämförelse mellan kallvind och parallelltak	87
8.2	Olika isolertjocklekar i tak	89
8.3	Olika ventilationsflöden i luftspalten under råsponten	94
8.4	Olika ventilationsflöden i luftspalten utan inläckage i råspont.....	100
8.5	Cellplast eller styv mineralull som luftspaltbildande skiva	104
8.6	Andra isolermaterial.....	106
9	Parameterstudie – Förändringar av innertaket.....	113
9.1	Olika inläckage genom ångspärren	113
9.2	Olika inläckage genom ångspärren och cellplast eller styv mineralull som luftspaltbildande skiva.....	114
10	Slutsatser	119
10.1	Huvudsakliga slutsatser.....	119
10.2	Förutsättningar och rekommendationer för att uppföra fuktsäkra takkonstruktioner i trä	120
11	Referenser	123

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Genom Boverkets byggregler, BBR, BBR – 12, kapitel 6.5, fastställdes den 1 juli 2006 regler och allmänna råd för hur frågor relaterat till fukt samt risk för fukt- och mögelskador ska beaktas och hanteras i samband med nyproduktion av hus. BBR har därefter uppdaterats ett antal gånger. Endast mindre redaktionella justeringar har dock gjorts i kapitel 6.5 som berör frågor rörande fukt och risker med fukt- och mögelrelaterade skador (BBR 12 – BBR 22).

Av regelverket framgår att ”Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, lukt eller mikrobiell växt som kan påverka hygien eller hälsa”. Vidare framgår att byggnadsdelar och byggnadsmaterial inte får överskrida kritiskt fukttillstånd vid vilket materialets avsedda egenskaper och funktion inte uppfylls. Vidare skall fukttillståndet beräknas med hänsyn taget till osäkerheter i använd beräkningsmodell. Av de allmänna råden framgår att kraven bör verifieras i projekteringskedet (BBR).

Efter att de nya reglerna fastställdes har projektörer och skadestredare indikerat att kunskap rörande fuktsäkerhet och fuktsäkerhetsprojektering är låg hos flera av byggsektorns aktörer. Vidare saknas lämpliga, verifierade och användarvänliga fuktberäkningsprogram för svenska förhållanden (Hägerstedt och Arfvidsson 2010; Mundt-Petersen 2012; 2013a). Projektörer och trähusbyggnadsföretag upplever även att konkreta riktlinjer och hänvisningar till hur de nya kraven ska uppfyllas saknas. Delar av svensk trähusindustri vittnar om både bristande kunskap och kontroll i fukt- och mögelrelaterade frågor hos bygglovhandläggare runt om i Sveriges kommuner. Tidigare studier visar vidare att oklarheter i ansvarsfördelningen mellan byggprocessens olika aktörer rörande fuktsäkerhetsfrågorna förekommer samt att byggsektorns företag själva anser att det finns förbättringspotential inom området (Arfvidsson och Sikander 2002).

Rapporten är en del av de Vinnova samt SBUF finansierade forskningsprojekten Framtidens trähus, WoodBuild samt Fuktsäkerhetsanalys i tak som genomförts i samverkan med en rad aktörer och företag verksamma inom svensk bygg- och trähusindustri. Ett av delmålen inom projekten var att ta fram riktlinjer för hur risken för fukt- och mögelrelaterade skador kan minska samt förslag till utformningar av konstruktioner för att uppfylla de krav som ställs i gällande regelverk, BBR 22. Vidare avsågs att verifiera, utvärdera och leta efter begränsningar i potentiella fuktberäkningsprogram (Framtidens trähus, WoodBuild, SBUF).

1.2 Syfte

Denna rapport syftar till att ta fram riktlinjer och vägledning till hur kraven på fuktsäkerhet i takkonstruktioner i trä kan uppfyllas i enlighet med BBR 22. Vidare avses att visa vilken inverkan en rad olika faktorer kan ha på fuktsäkerheten. Med detta avses påverkan i takkonstruktionen på grund av olika omgivande inne- och uteklimat samt olika materialval och utformning av takkonstruktioner.

1.3 Målgrupp

Rapporten kan användas som ett verktyg och som ett hjälpmedel tidigt i projekteringsfasen för nyproduktion, vid framtagande och utveckling av byggsystem samt som hjälp och stöd till bygglovhandläggare vid bedömning huruvida studerade konstruktioner kan anses uppfylla kraven för fuktsäkerhet enligt BBR. Rapporten avser också att förmedla kunskap rörande riskerna för fukt- och

mögelrelaterade skador i träbaserade yttertakskonstruktioner. Delar av rapportens innehåll kan även användas som underlag för byggherrar vid upprättandet av kravspecifikation vid köp av nyproducerade hus eller energieffektivisering av befintliga byggnader med takkonstruktioner i trä.

1.4 Metod

Studien har genomförts och redovisas huvudsakligen i form av en parameterstudie. Initialt påvisas var i trätakskonstruktioner den mest fuktkritiska positionen finns. Detta görs för två utgångsfall med konstruktioner som bedöms ha stora likheter med de tak som den svenska bygg- och trähusindustrin idag har som standardkonstruktioner. Därefter varierar en rad olika förutsättningar och parametrar samt takkonstruktionernas uppbyggnad från utgångsfallet samtidigt som fuktkritiska positioner analyseras och utvärderas. I flera fall jämförs också den mest fuktkritiska positionen för respektive fall, efter förändring, med utgångsfallen. För enskilda fall utvärderas också andra positioner än de som initialt bedöms som fuktkritiska. Respektive parameter som förändras jämfört med utgångsfallet beskrivs under respektive rubrik där förändringen behandlas. Valet av parametrar som förändras baseras på tidigare erfarenheter, mätningar och beräkningar med beräkningsprogrammet WUFI Pro 5.2 (Hägerstedt 2012; Mundt-Petersen och Harderup 2013; 2015; Mundt-Petersen, Harderup och Arfvidsson 2013; Mundt-Petersen 2013b; 2013c; 2013d; 2013e; 2013f; 2013g) samt möjlighet till förändringar i produktions- och byggsystem hos ett urval av företag verksamma inom Svensk bygg- och trähusindustri.

I parameterstudien används det endimensionella beräkningsprogrammet WUFI Pro 5.2. Inom ramen för andra delmoment i projektet har programmet blint verifierats för Svenska förhållanden med godtagbara resultat för såväl väggar som tak (Mundt-Petersen och Harderup 2013; 2015; Mundt-Petersen 2013b; 2015; Hägerstedt och Arfvidsson 2010; Hägerstedt och Harderup 2010; 2011a; 2011b).

Samtliga randvillkor beskrivs i utgångsfallet för en vanligt förekommande taks konstruktion i trä. Om inget annat anges så gäller de randvillkor och förutsättningar som beskrivs i utgångsfallet.

För att bedöma om förutsättningar för mögelpåväxt finns i studerade konstruktioner refererar samtliga beräkningar av relativ fuktighet, RF, och temperatur till en tysk mögelmodell utformad av Sedlbauer och Sedlbauer m.fl. (2001; 2003) samt en vidareutvecklad visualisering av denna modell där varaktigheten av för höga RF samt RF över kritiska nivåer redovisas (Mundt-Petersen m.fl. 2012; Mundt-Petersen 2013b; 2015).

Utöver parameterstudien sammanfattas initialt andra nyligen publicerade studier som bedöms relevanta i sammanhanget samt nära angränsande för de områden som rapporten berör.

1.5 Avgränsningar

Rapporten behandlar takkonstruktioner som bedöms vanligt förekommande i Sverige, för svenska förhållanden, även om stora delar av resultaten bedöms tillämplbara i andra nordeuropeiska länder.

Takkonstruktionerna studeras i en dimension utan inverkan och hänsyn till detaljer och detaljfel, utförandefel, bristfällig materialhantering, produktionsförfarande, våtrum samt genomföringar, infästningar och anslutningar till andra byggnadsdelar och byggnader eller liknande. Med detaljer, infästningar och genomföringar avses bland annat anslutningar och genomföringar i studerad takkonstruktion, till exempel takfönster, el-dosor, skorstenar eller avluftning och ventilationsdon.

Med utförandefel avses felaktigt montage eller byggnation av taket som till exempel kan ha uppstått på grund av bristfällig kunskap eller undermåliga handlingar. Med bristfällig materialhantering avses till exempel att alltför fuktigt material byggs in då det utsatts för nederbörd eller väta vid transport, mellanlagring eller på byggarbetsplatsen. Med produktionsutförande avses de förutsättningar och förhållanden som ges under produktionen, till exempel att nederbörd skadar material som inte är möjligt att skydda på grund av omgivande produktionstekniska faktorer. Inverkan av våtrum behandlas inte vad avser såväl ytterligare invändiga tätskikt eller förändrat inomhusklimat.

Det är av stor vikt att beakta att alla byggnader och dess förutsättningar är unika. Omgivande topografi, terräng, vegetation och lokalt klimat kan ha stor påverkan på takkonstruktionen ur ett fukttekniskt perspektiv. Detta i kombination med det stora antalet ingående parametrar samt komplexiteten i dess samverkan gör att en fullständig felanalys inte är möjlig att presentera inom ramen för denna rapport. Även mindre skillnader i materialegenskaper mellan olika tillverkare och fabrikat kan påverka de fukttekniska förutsättningarna i en konstruktion.

Studien begränsas genom en parameterstudie där endast de vanligast förekommande materialen och dess mest relevanta materialparametrar används. I praktiken avgränsas studien av det utgångsfall som beskrivs initialt och de förändringar som därefter genomförs i takkonstruktionen eller dess randvillkor. Resultat i denna rapport får inte användas för att ersätta nödvändiga fuktsäkerhetsdimensioneringar som skall utföras inom ramen för den fuktsäkerhetsprojektering som alltid ska utföras för varje enskild byggnad (BBR). Rapporten avser att ge riktlinjer och vägledning. Trots begränsningarna är rapportens resultat och säkerheten i beräkningarna långt bättre jämfört med Glasermetoden som endast beaktar stationära förhållanden och fuktdiffusion vilket ger betydligt fler samt allvarigare fel och osäkerheter (Nevander och Elmarsson 2007). Vidare ger antalet studerade fall möjlighet att jämföra effekten och påverkan av olika förändringar i takkonstruktioner sinsemellan vilket är betydligt mer värdefullt jämfört med enskilda beräkningar för ett studerat fall.

1.6 Felkällor

Utöver exempel och konsekvenser av olika ansatta inomhus- samt utomhusklimat redovisas ingen detaljerad beskrivning av felkällor i denna rapport. En fördjupad beskrivning av möjliga felkällor redovisas i manualen till använd programvara (WUFI) samt av Mundt-Petersen (2013b; 2015).

2 Sammanställning av angränsande studier

Nedan sammanfattas sju nyligen presenterade studier som är relevanta i sammanhanget samt nära angränsande och av betydelse för de områden rapporten berör.

2.1 Fuktbelastning i takkonstruktioner med perforerad ångspärr

Rapporten är ett examensarbete utfört vid Lunds Tekniska Högskola av Georgsdottir och Sawirs (2012). Rapporten ger en grundläggande beskrivning av de bakomliggande faktorerna som kan orsaka fuktskador i tak. Vidare redovisas grundläggande principer för hur ventilerade parallelltak och kompakta varma tak fungerar. Rapporten presenterar en metod för hur fuktläckage från inomhusluft som tränger upp i taket kan beräknas beroende på hur omfattande hål som finns i den invändiga ångspärren. Vidare redovisas en parameterstudie som jämfört ett ventilerat parallelltak och ett kompakt tak, så kallat varmt tak. Studien fokuserar huvudsakligen på risken för skador inne i takkonstruktionen och inte på insidan av råsponten.

Resultaten visar att parallelltaket är att beakta som en säkrare lösning ur fuktsynpunkt jämfört med det kompakta så kallade varma taket. Orsaken är att fukt kan stängas in och ackumuleras mellan två täta skikt i det kompakta varma taket. Vidare konstateras att mindre hål, såsom skruvhål eller liknande, med en diameter mindre än 5 mm/m^2 kan accepteras i ett ventilerat parallelltak. Inläckage genom större hål orsakar normalt fukt- och mögelrelaterade skador. Det kompakta varmtaket klarar inga hål alls utan att fukt- och mögelrelaterade skador uppstår. Vidare framgår att en ångspärr med en varierad ångensläpplighet beroende på omgivande ånghalt fungerar något bättre jämfört en traditionell ångspärr av PE-folie eller motsvarande med ett konstant ångensläpplighetsmotstånd.

2.1.1 Slutsats – Fuktbelastning i takkonstruktioner med perforerad ångspärr

Kompakta tak, även kallade varma tak, med ett yttre och ett invändigt tätt skikt utan någon form av ventilerad spalt inte är att betrakta som fuktsäkra. Detta eftersom fuktig luft stängs in och ackumuleras mellan två täta skikt och orsakar skador. Fuktig luft som transporteras genom hål som uppstått i ångspärren kan orsaka omfattande skador i parallelltak. Detaljer, genomföringar eller annat som kan ge upphov till hål i ångspärren ska således, om möjligt, helt undvikas i takkonstruktioner. Vidare bör konstruktionen även utformas så att skador i ångspärren från eventuell håltagning av boende inte uppstår. I de fall där genomföringar, detaljer eller motsvarande måste göras skall dessa projekteras omsorgsfullt och byggas med stor noggrannhet och fokus på att inga inläckage i anslutning till genomföringen, detaljen mm uppkommer.

2.2 Fuktanalys av klimatvind

Rapporten är ett examensarbete vid Lunds Tekniska Högskola av Ingelsson och Olsson (2013).

Examensarbetet redovisar en parameterstudie för hur olika förutsättningar påverkar förhållanden på en kallvind med en hög fuktbelastning i Lund och i Luleå. Effekten av olika förutsättningar för bland annat tjockleken på isolering ovanpå råsponten, ventilations flöde och fuktlast på kallvinden, studeras.

Den höga fuktbelastningen som ansatts i beräkningsmodellen motsvarar att 1 % av det regn som träffar taket läcker in i råsponten under takpappen. Den stora fuktlasten från inträngande regn har en betydande påverkan på resultaten. Fuktlasterna, det vill säga inläckage från regn eller fukt som tränger igenom ångspärren, har också en stor betydelse så länge ventilationen på vinden är låg. Vid

en högre ventilation, vilken medför att inträngande fukt torkas ut i allt större omfattning minskar också, som förväntat, inläckagets påverkan.

Resultaten visar på bättre förhållanden på kallvinden i Luleå jämfört i Lund. Orsaken kan bero på den fuktbelastning om 1 % av regnet som antas läcka in och att det regnar oftare och mer i Lund jämfört Luleå. Ovanpåliggande isolering på utsidan av råsponen försämrar förhållandena på kallvinden i Lund vid den höga fuktbelastningen. Om fuktbelastningen minskas till 0,5 % av regnmängden börjar isolering på utsidan av råsponen ha en positiv inverkan på klimatet. I Luleå har cellplastisolering på utsidan av råsponen en positiv inverkan om ventilation på vinden är låg. Utanpåliggande cellplastisolering på råsponen gör att förhållandena blir bättre, det vill säga förutsättningarna för påväxt av mögel reduceras, under vintern. Under sommaren visar kallvinden på lägre risk för mögel om cellplastisolering inte finns.

2.2.1 Slutsats – Fuktanalys av klimatvind

Så kallade klimatvindar med utvändig isolering på utsidan av råsponen förbättrar förhållanden på kallvindar i främst norra Sverige. Under förutsättning att inläckage från regn samt andra fuktlaster begränsas kan även den utvändiga isoleringen på utsidan av råsponen ha en positiv inverkan på hus i södra Sverige. Inläckage från regn har i regel stor påverkan på förhållandena på kallvindar. Inte ens små mängder inträngande vatten kan accepteras. För att undvika byggfel med inläckage som följd krävs en omsorgsfullt utförd projektering med ett tydligt ritningsunderlag samt att konstruktionen är byggbar där enkla och robusta lösningar ökar förutsättningarna för en fackmannamässigt korrekt utförd konstruktion.

2.3 Problematiken isolering vindsbjälklag i uteluftsventilerade kallvindar

Rapporten är ett examensarbete utfört vid Byggingenjörprogrammet vid KTH Campus Haninge i samarbete med AK konsult (Hansson och Lundgren 2009). Examensarbetet redovisar de grundläggande faktorerna för fukt och fukttransport. Vidare redovisas de parametrar som huvudsakligen påverkar klimatet på kallvindar. Vidare redovisas förutsättningar för mikrobiell påväxt samt de i byggnader vanligaste förekommande olika sorters mögel.

Rapporten presenterar en parameterstudie som till vissa delar liknar denna rapport. Två olika konstruktioner studeras, en normal kallvind och en kallvind med 80 mm mineralullsisolering på utsidan av råsponen. I parameterstudien varieras ventilationsflödet på kallvinden för de båda konstruktionerna med;

1. Ingen ventilation/ inget flöde alls
2. Konstant ventilation/ konstant flöde om 2 oms/h
3. Styrd ventilation/ styrt flöde med ingen ventilation alls vintertid och 2 oms/h ventilation resten av året.

Huvudsakligen ansätts ett konstant fuktläckage om $2,4 \cdot 10^{-7}$ kg/s upp på kallvindarna i beräkningsmodellerna. Detta motsvarar ett fukttillskott om ca $0,3 \text{ g/m}^3$ vilket också överensstämmer med tidigare studier (Harderup och Arfvidsson 2008). Studien använder huvudsakligen Oslos klimatfil vid beräkningar. Studerade konstruktioner granskas i flera olika positioner på olika djup i taket. Risken för eller omfattningen av påväxt av mögel utvärderas med hjälp av WUFI Bio (Sedlbauer 2001; Sedlbauer m.fl. 2003).

Resultaten visar att en oventilerad kallvind är en riskfylld konstruktion eftersom inläckage från fukt genom ångspärren inte kan ventileras ut och därför skapar goda förhållanden för mögelpåväxt. Ett konstant flöde om 2 oms/h under hela året är en säkrare lösning jämfört med fallet där flödet varierar med ingen ventilation alls under vintern och 2 oms/h resten av året. Konstruktionen med 80 mm mineralullsisolering på utsidan av råsponen har en positiv inverkan, det vill säga en reducerad risk för mögelpåväxt, på insidan av råsponen. Resultaten visar dock att förutsättningarna för fukt- och mögelrelaterade skador ökar i bjälklagsisoleringen längre in i konstruktionen.

Av resultaten framgår vidare att fuktillskottet på kallvinden, i detta fall inläckage genom ångspärren även om det lika gärna skulle kunna vara inläckage från regn, har stor betydelse för klimatet på kallvinden. Desto mer isolering i taket desto viktigare är det att fuktillskottet på vinden reduceras genom bland annat en tät och väl fungerande ångspärr utan hål.

Det framgår också att vanliga takkonstruktioner orienterade mot norr har högre risk för fukt- och mögelrelaterade skador jämfört med tak orienterade mot söder under förutsättning att ingen isolering applicerats på utsidan av råsponen. I fall med isolering på utsidan av råsponen blir förhållanden på kallvinden snarlika oavsett vilket vädersträck taket är riktat emot. Vidare framgår att förhållanden på kallvindar i Lund är värre jämfört med förhållanden på kallvindar i Luleå, troligtvis beroende på det varmare och fuktigare klimatet i Lund.

2.3.1 Slutsats – Problematiken isolering vindsbjälklag i uteluftsventilerade kallvindar

Utvändig isolering på utsidan av råsponen har en positiv inverkan för klimatet på insidan av råsponen med en minskad risk för mögelpåväxt. Utvändig isolering på utsidan av råsponen kan dock skapa sämre förutsättningar med en ökad risk för mögelpåväxt i vindsbjälklaget längre in i takkonstruktionen.

En ventilerad kallvind är nödvändig för att föra bort den fukt som tränger in på kallvinden. Det är också viktigt att ha en helt tät ångspärr på insidan av takkonstruktionen för att i största möjliga mån begränsa fuktig inomhusluft att läcka in på kallvinden. Desto mer isolering som appliceras i vindsbjälklaget, desto viktigare är att inget fuktläckage föreligger.

2.4 Fuktsäkerhet i kalla vindsutrymmen

Rapporten redovisar resultatet från ett SBUF finansierat projekt utfört av Harderup och Arfvidsson (2008).

Studien baseras på mätningar och beräkningar av klimatförhållanden på fem olika kallvindar i fem olika hus. De olika kallvindarna är snarlika i sitt grundutförande och för fyra av dem är det endast medvetna justeringar som skiljer sig i konstruktionen. Designen på vindarna och de medvetna justeringarna som genomförts avser följande i de fem olika husen:

1. Tak och kallvind för ett referensfall med ett standardutförande på takkonstruktionen bestående av inre täcksikt och bjälklag, invändig ångspärr, lösullsisolering, kallvindsutrymme och råspons med utvändigt takpapp samt bär och ströläkt med ovanpåliggande betongpannor.
2. Kallvind med isolering i anslutning till råsponsen för att minska nattutstrålningen och skapa ett bättre klimat på kallvinden.
3. Kallvind där värmekälla om 200 W applicerats vilken aktiverats vintertid för att höja temperaturen och på så vis reducera den relativa fuktigheten.
4. Kallvind med reducerad ventilation.
5. Kallvind med reducerad ventilation och en diffusionsöppen underlagstäckning.

Luftflödet på kallvindarna har i beräkningsmodellen antagits vara konstant och ansatts till 2 oms/h i alla vindar utom i det fall där ventilationen aktivt reducerats varpå ett flöde om 0,2 oms/h istället använts. Beräkningsresultaten i jämförelse med mätresultat visar att antaganden om flödet på kallvindarna ser ut att stämma.

Mätresultaten visar att temperaturen så gott som alltid är högre på kallvindarna jämfört med utomhusklimatet, vilket också sänker den relativa fuktigheten.

Beräkningsmässig ger alla förändringar jämfört med referenshuset bättre förhållanden med lägre risk för mögelpåväxt på kallvinden. Beräkningsresultaten visar generellt på något högre relativ fuktighet jämfört med mätningar. Korttidsvariationer ser ut att underskattas i beräkningsmodellen, speciellt under vintern.

Mät- och beräkningsresultat visar att utvändigt isolering på utsidan av råsponsen ser ut att skapa bättre förhållanden, med lägre risk för mögelpåväxt, i kallvindar. Vidare visas att reducerad ventilation i kombination med en diffusionsöppen takpapp också ser ut att skapa bättre förhållanden och minska risken för mögelrelaterade skador. Reducerad ventilation bör dock inte tillämpas under produktionstiden eller innan all byggfukt torkats ut. Vidare bör utvändigt cellplastisolering på utsidan av råsponsen inte kombineras hur som helst med en diffusionsöppen takpapp eftersom cellplasten kan vara tätare än den diffusionsöppna takpappen och på så vis hindra fukten att diffundera utåt.

Genom att använda uppmätta värden har fukttillskottet på kallvindarna kunnat beräknas. Överlag visar månadsmedelvärdena på ett fukttillskott på 0,1 – 0,5 g/m³ under brukartiden, vilket får beaktas som lägre än förväntat. Under produktionstiden noteras betydligt högre fukttillskott på upp till 2,9 g/m³. Höga fukttillskott noteras speciellt vid tilläggsjutningar och andra åtgärder under produktionen som ger ett ökat fukttillskott. Det är således av yttersta vikt att åtgärder vidtas för att förhindra skador från byggfukt eller andra fukttillskott under produktionsfasen för att undvika fukt- och mögelrelaterade skador. I sammanhanget är det direkt olämpligt att ha ett reducerat ventilationsflöde på kallvindar under produktionen då byggfukt snabbt måste evakueras ut.

2.4.1 Slutsats – Fuktsäkerhet i kalla vindsutrymmen

Det fastställs att inläckageflöde in till kallvindar har stor betydelse för klimatet på vinden och följaktligen risken för skador. En tät ångspärr utan hål eller skador är en förutsättning för att undvika fukt- och mögelrelaterade skador i takkonstruktionen. Det är också viktigt att beakta byggfukt och att en tät ångspärr appliceras för att förhindra att fukttillskott från byggfukt orsakar skador på insidan av råsponsen.

Resultaten visar att en utvändig isolering på utsidan av råsponten förbättrar förhållandena, och minskar risken för fukt- och mögelrelaterade skador, på kallvinden. Efter att all byggfukt torkats ut kan förhållanden också förbättras av en reducerad ventilation och en diffusionsöppen takpapp.

2.5 Bygg fuktsäkra takkonstruktioner

Rapporten presenterar resultaten från ett SBUF finansierat projekt utfört av Persson Lindgren (2010).

Initialt ges en kortfattad historik om tak och takkonstruktioner och hur dessa har uppförts i Sverige under de senaste 120 åren. Vidare presenteras en sammanställning över huvudsakliga material som används i tak och takkonstruktioner, såväl isolermaterial som utvändiga takbeklädnadsmaterial och olika typer av ångspärrar presenteras kortfattat.

Huvudsakligen genomförs beräkningar där en rad olika takkonstruktioner utvärderas ur ett fuktsäkerhetsperspektiv. Beräkningar utförs med WUFI 4.2 och analyseras vidare i m-modellen (Togerö m.fl. 2009). Studien överensstämmer till vissa delar med denna rapport. Även konstruktioner utan traditionell råspont under underlagspappen studeras. De vanligast förekommande takkonstruktionerna presenteras baserat på en enkätundersökning. Studien redovisar även kostnadsberäkningar för olika typer av takkonstruktioner.

Resultaten visar att det generellt är en bra lösning, med lägre risk för skador i takkonstruktionen, om en isolering på utsidan av råsponten eller motsvarande används. Vidare redovisas att det finns oventilerade konstruktioner som uppfyller dagens krav på fuktsäkerhet. I sammanhanget ska nämnas att potentiella fukttillskott från inläckage in på kallvinden eller in i takkonstruktionen från inneluft eller utomhusklimat inte är inkluderade i studien. Byggfukten bedöms initialt ha en betydande roll för att takkonstruktionen över huvud taget inte ska drabbas av mögelrelaterade skador. Ett högt ventilationsflöde i syfte att ventilera ut all byggfukt under de första åren är att föredra för att sedan reducera flödet i luftspalten eller motsvarande. Ett uppförande under tält alternativ annan typ av "torrt" byggande där konstruktionerna inte utsätts för nederbörd rekommenderas.

2.5.1 Slutsats – Bygg fuktsäkra takkonstruktioner

Resultaten visar att det är av stor vikt att tillse så att initial byggfukt inte skapar några fukt- och mögelrelaterade skador. Detta görs företrädesvis genom en hög ventilation under byggnadens första år samt att mängden byggfukt reduceras så mycket som möjligt under produktionen. Ett sätt att minska mängden byggfukt är att bygga under tält eller i fabrik och anpassa husresning till dagar utan nederbörd.

Vidare fastställs att utvändig isolering på utsidan av råsponten eller motsvarande förbättrar klimatet inne i takkonstruktionen och minskar risken för mögelpåväxt.

Rapporten visar vidare att möjligheten till att bygga fungerande kompakta tak utan ventilation finns under förutsättning att inget inläckage av fukt förekommer, varken av fuktig luft från insidan genom hål i ångspärren eller från inträngande nederbörd eller motsvarande utifrån.

2.6 Kartläggning av fuktförhållanden vid prefabricerat trähusbyggande

Rapporten och bakomliggande studie är utförd av Olsson m.fl. (2010) och presenterar en rad produktionstekniska förutsättningar och förhållanden som måste beaktas för att säkerställa att fukt- och mögelrelaterade skador inte uppstår under eller på grund av faktorer i produktionskedet. Rapporten har presenterats tidigare i motsvarande rekommendationer och riktlinjer för uppförande

av träkonstruktioner och träregelväggar. Olsson (2014) har även presenterat en fördjupad studie inom området.

Resultaten visar att de förhållanden som råder under produktionstiden kan ha stor påverkan för byggnadens fuktsäkerhet och risken för mögelpåväxt. Av resultaten framgår att byggnadsdelar av trä som utsatts för fritt vatten har drabbats av mögelpåväxt. Det räcker med att trä i konstruktionerna utsätts för fritt vatten en gång under produktionsskedet för att mögelpåväxt ska uppstå. För att undvika mögelskador får därför trä inte utsättas för fritt vatten i form av regn eller på annat sätt. Resultaten stämmer även överens med de studier som visar att mögelpåväxt sker på blöta material även i en miljö med lågt omgivande RF, under 75 %, vid normal temperatur (Johansson m.fl. 2005).

För att undvika att träkonstruktionerna utsätts för fritt vatten så kan till exempel heltäckande väderskydd användas. Husmontage och husresning av prefabricerade element eller moduler kan också anpassas till dagar utan nederbörd i kombination med att tätt hus erhållas innan dagens slut. Transport av material, byggelement eller moduler måste ske väl väderskyddat från regn och annan nederbörd.

2.6.1 Slutsats – Produktionstekniska förutsättningar och förhållanden

Med hänvisning till studien dras slutsatsen att träkonstruktioner inte får utsättas för fritt vatten under produktionsskedet. Detta kan lösas genom att prefabricerade huselement monteras till tätt hus under en och samma dag då nederbörd inte förekommer. Alternativt måste huset byggas under heltäckande väderskydd. Lösvirkeshus kan inte byggas utan heltäckande väderskydd då de riskerar att utsättas för nederbörd eller dagg som i sin tur ger upphov till mögelpåväxt.

2.7 Fuktsäkra träkonstruktioner – Vägledning för utformning av träbaserade ytterväggar

Rapporten är utförd av Hägerstedt (2012) inom ramen för de Vinnova finansierade projekten Framtidens Trähus och WoodBuild (Framtidens Trähus; WoodBuild).

Studien är utförd som en parameterstudie och redovisar en rad olika förutsättningar och faktorer som måste beaktas vid uppförandet av träregelväggar för att konstruktionen inte ska drabbas av fukt- och mögelrelaterade skador. Rapportens struktur överensstämmer i stora drag med denna rapport med den väsentliga skillnaden att denna rapport avser tak.

Resultaten visar att fasader orienterade mot norr samt det mest slagregnsutsatta väderstrecket skall studeras i samband med fuktsäkerhetsprojekteringen. Av studien framgår vidare att inträngande slagregn har, jämfört andra fuktkällor, en dominerande påverkan för om träregelkonstruktionen ska drabbas av fukt- och mögelrelaterade skador. För att kraftigt reducera risken för negativ påverkan av inträngande slagregn krävs en väl ventilerad, dränerad och kapillärbrytande luftspalt innanför fasadskiktet för att säkerställa att träregelytterväggar inte drabbas av fukt- och mögelrelaterade skador. Av resultaten framgår vidare att fuktbeständiga diffusionsöppna isolerskivor som appliceras på utsidan av träregelstommen har en positiv inverkan på träregelstommen. För att säkerställa uttorkning av byggfukt och inträngande slagregn (Mundt-Petersen 2013b; 2015; Mundt-Petersen och Harderup 2013) så måste såväl utvändigt applicerade isolerskivor som andra delar i väggen vara diffusionsöppna och medge uttorkning utåt till den ventilerade luftspalten.

2.7.1 Slutsats – Fuktsäkra träkonstruktioner – Vägledning för utformning av träbaserade ytterväggar

Med hänvisning till studien konstateras att den viktigaste åtgärden för att undvika fukt- och mögelrelaterade skador i träregelväggar är att de utförs med en väl ventilerad, dränerad, tryckutjämnande och kapillärbrytande luftspalt bakom fasadskiktet för att inte drabbas av fuktskador. Vidare visas att diffusionsöppna fuktbeständiga isolerskivor som appliceras på utsidan av träregelstommen ytterligare reducerar risken för fukt- och mögelrelaterade skador i stommen.

3 Mögelpåväxt samt beskrivning och val av mögelmodell

3.1 Orsaker till mögelpåväxt samt beskrivning av mögelmodell

Studier visar att risken för mögelpåväxt beror av flera olika faktorer (Johansson m.fl. 2005; Johansson 2012; 2014; Nielsen m.fl. 2004). Idag finns en rad olika mögelmodeller som värderar och beaktar sannolikheten för mögelpåväxt. Dagens kända modeller överensstämmer i många avseenden rörande de faktorer för vilka mögelpåväxt sker. Däremot finns skillnader mellan modellerna i hur eventuell mögelpåväxt fortskrider, stannar eller avtar när de faktorer som styr påväxten förändras. (Sedlbauer 2001; Sedlbauer m.fl. 2003; Viitanen m.fl. 2010; Pietrzyk m.fl. 2011; Togerö m.fl. 2011; Thelandersson och Isaksson 2013).

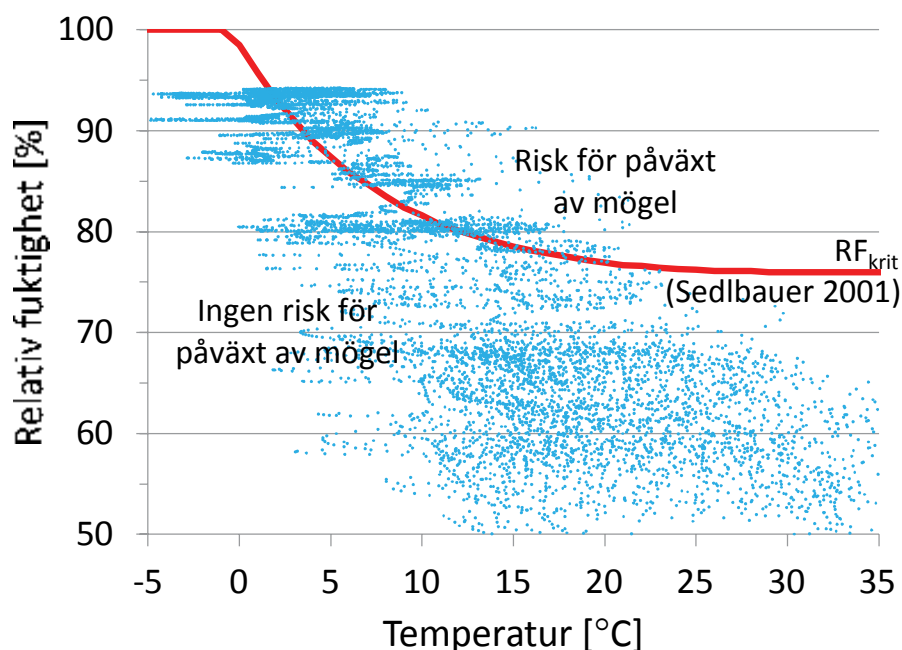
Gränsvärden för att undvika skador av fukt i träkonstruktioner är ännu inte helt fastställda för alla klimat, material och träslag, konstruktioner och specifika fall (Esping m.fl. 2005). En sammanställning för kritiska nivåer för mögelpåväxt på flera vanligt förekommande byggnadsmaterial är dock utförd av Johansson (2012; 2014).

De faktorer som huvudsakligen påverkar risken för påväxt av mögel, förutom vilket material det växer på, är den relativa fuktigheten och temperatur i kombination med varaktigheten, det vill säga under hur lång tid som rådande relativa fuktigheten och temperatur gör påväxt möjlig. Vid en hög RF i kombination med en hög temperatur, över ca 15 °C, sker påväxt på trä snabbare. En lägre temperatur kan tillåta en något högre relativ fuktighet utan att risk för påväxt föreligger (Johansson 2012; 2014).

BBR 22 föreskriver att det aktuella fukttillståndet skall vara under det högsta kritiska fukttillståndet så att aktuellt material inte skadas av fukt (BBR). Det högsta kritiska fukttillståndet för organiska material, såsom trä, definieras normalt för risken för mikrobiell påväxt. Detta innebär i praktiken att det högsta kritiska fukttillståndet för trä styrs av rådande relativ fuktighet i relation till temperatur i kombination med hur lång tid den relativa fuktigheten är över kritiska nivåer i anslutning till utvärderat material där mikrobiell påväxt, mögel, är möjlig. Vid lägre omgivande temperatur kan en högre relativ fuktighet tillåtas utan att påväxt är möjlig (Johansson 2012; 2014; Thelandersson och Isaksson 2013). Om det högsta kritiska fukttillståndet inte är känt skall 75 % relativ fuktighet användas som kritisk nivå (BBR).

I denna studie redovisas men beaktas inte tidsaspekten för när mikrobiell påväxt av mögel sker. Analysverktygets utformning avser istället att fokusera på vad som skapar risken för påväxt och vilka åtgärder som kan vidtas för att minska risken för mikrobiella skador. I analysverktyget definieras RF kritisk, RF_{krit} , som gränsen för när förutsättningar för att mögel kan gro och påväxt av mögel är möjlig enligt Figur 1. I praktiken avser detta de två första aspekterna, relativ fuktighet och temperatur, i de krav som anges i BBR. Eftersom det tar en viss tid för mögel att gro kan man således tillåta kortare perioder över RF_{krit} (röd) i valt analysverktyg. Definitionen av RF_{krit} i studien ska inte förväxlas med BBRs definition av kritiskt fukttillstånd.

Ett exempel på hur RF_{krit} (röd) kan variera beroende på temperatur (x-axel) och RF (y-axel) då risk för mögelpåväxt föreligger bortsett från inverkan av varaktighet, visas i Figur 1. Varje enskild punkt i diagrammet motsvarar förhållandena för temperatur och relativ fuktighet en specifik timme i en studerad position.



● RF i studerad position vid respektive timme — RF_{krit}

Figur 1. Sambandet mellan temperatur och RF för RF_{krit}. Turkosa punkter avser temperatur och RF vid ett specifikt tillfälle/ en specifik timme. Punkter över röd linje visar på tillfällen då risk för mögelpåväxt föreligger, bortsett inverkan av varaktighet. Turkosa punkter under röd linje anses som riskfria (Sedlbauer 2001).

Med varaktighet avses under hur lång period RF_{krit} överskrids. Anledningen till att påväxt av mögel ibland inte sker trots att RF_{krit} överskrids är att det krävs en viss varaktighet, tid, då RF (turkos) är högre än RF_{krit} (röd) för att påväxt av mögel ska ske. Är varaktigheten, tiden, kort hinner inte mögelsporer gro och således sker ingen påväxt. Längden på varaktighet för att påväxt ska ske varierar beroende på hur mycket RF överskrider RF_{krit}. Detta gör att enstaka korta perioder med höga RF över RF_{krit} inte behöver leda till påväxt, vilket till exempel sker i badrum inomhus vid vissa tillfällen.

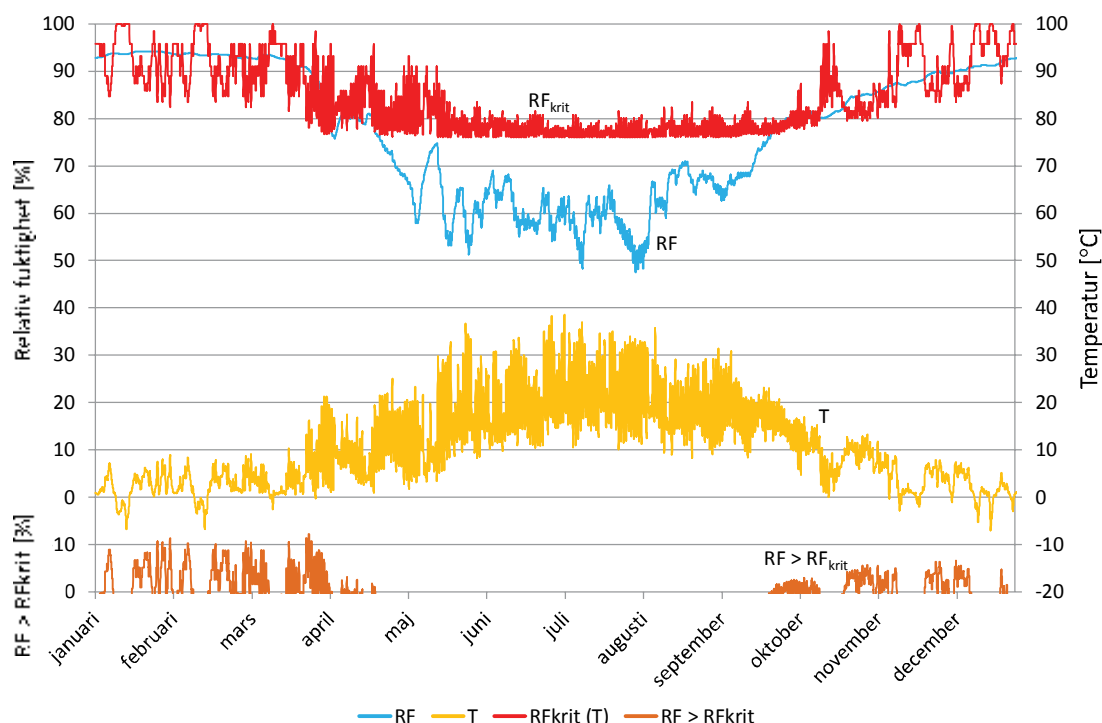
Med hjälp av digrammet i Figur 2 visas ett exempel på hur RF_{krit} (röd) varierar över ett år beroende av temperatur (gul). RF_{krit} (röd) är framräknad från aktuell temperatur (gul) vid respektive tidpunkt (x-axel) baserat på sambandet som redovisas i Figur 1. Genom att i samma Figur jämföra beräknad RF (turkos) mot RF_{krit} (röd) för en specifik position samt när och hur mycket RF (turkos) överskrider RF_{krit} (röd) visas hur under lång tid och hur mycket RF (turkos) överskrider RF_{krit} (röd). I diagrammet framgår samt ges möjlighet till jämförelse av hur mycket RF (turkos) ligger över RF_{krit} (röd). Detta redovisas längst ner i Figur 2 genom linjen RF över RF_{krit} (brun). Notera att RF_{krit} i detta sammanhang visar varaktigheten utan att ta ställning till dess påverkan på risken för mögelpåväxt. För att helt och hållet förhindra mögel från att gro, och på så vis även säkert undvika risk för mögel, krävs att RF (turkos) aldrig överskrider RF_{krit} (röd) vilket i sin tur också innebär att linjen RF över RF_{krit} (brun) inte ska synas. Det beskrivna sättet att betrakta sambandet mellan temperatur, RF, RF_{krit} och varaktighet kallas för Folosdiagram och används genomgående i rapporten (Mundt-Petersen m.fl. 2012).

Med hjälp av Folos diagrammet samt grundläggande fuktmeکانik, enligt ekvation 1, nedan går det att fastställa faktorer som orsakar förhållanden när mögelpåväxt är möjlig och i förlängningen även åtgärder för att minska eller helt begränsa tillstånd när mikrobiell påväxt kan ske. Detta görs baserat på sambandet mellan relativ fuktighet, temperatur och ånghalt enligt ekvation 1.

$$RF = \frac{v}{v_s} \quad (1)$$

Där RF är relativ fuktighet, v ånghalt och v_s mättnadsånghalten. Ånghalten (v) avser mängden fukt i luften och mättnadsånghalten (v_s) avser hur mycket fukt luften maximalt kan bära vid en given temperatur. Mättnadsånghalten (v_s) beror således av rådande temperatur. Den relativa fuktigheten kan minskas dels genom att minska ånghalten (v) eller öka temperaturen vilket i sin tur ökar mättnadsånghalten (v_s). Ånghalten (v) i ett slutet utrymme kan till exempel minskas genom ökad ventilation av torrare luft eller avfuktare. Vidare kan temperaturen höjas, varvid mättnadsånghalten (v_s) höjs och RF sjunker, i slutna utrymnen genom någon form av extern värmeförsel som till exempel en värmekabel. I ett tillämpat perspektiv innebär detta att fukt inuti en konstruktion kan ventileras bort av torrare luft. Vidare kan temperaturen, och där med mättnadsånghalten (v_s), i en konstruktion höjas med hjälp av en värmekabel eller genom ökad isolering mot den kallare sidan, vilket i Sverige är mot utsidan. I sammanhanget bör noteras att kall och torr luft som ventilerar bort fukt även kan sänka temperaturen inuti konstruktionen. I ett sådant fall har ventilationen både en positiv och negativ inverkan på fuktförhållandena.

Varaktighetens inverkan för om påväxt av mögel sker visas inte numeriskt i Folos diagrammet mer än att längden av tillstånd när $RF > RF_{krit}$ och samtidigt hur mycket RF överskrider RF_{krit} kan utläsas på x-axeln. Eventuell påväxt och omfattning av mögel räknas ut separat med hjälp av några av dagens mögelmodeller baserat på temperatur och relativ fuktighet i en specifik position (Thelandersson och Isaksson 2013). Hur mycket och i vilken omfattning mikrobiell påväxt sker i studerade fall i denna studie redovisas inte separat då studien primärt avser att visa vilka, och i vilken omfattning, specifika faktorer påverkar och förändrar förutsättningarna för påväxt av mögel.



Figur 2. Förhållandet mellan RF och RF_{krit} över tiden, inklusive varaktighet. Röd linje avser RF_{krit} beroende av temperatur enligt förhållande redovisat i Figur 1. Turkos linje avser RF. Gul linje avser temperatur och brun linje visar hur mycket samt under vilka perioder RF överskrider RF_{krit} . Samtliga värden avser en specifik position i ett studerat tak (Mundt-Petersen m.fl. 2012).

Utöver vilket specifikt material som studeras samt temperatur, RF och hur lång varaktigheten över RF_{krit} är så finns det ytterligare faktorer som påverkar risken för påväxt av mögel. En sådan faktor är om smuts förekommer på materialet, vilket ökar risken för påväxt. Vidare kan ett blött material drabbas av mögelpåväxt på ytan trots att omgivande klimat har en låg RF (Horner m.fl. 2001). För att undvika risk för påväxt av mögel skall således byggnadsmaterial hållas fria från smuts samt vara torra (BBR; Johansson m.fl. 2005). Vidare påverkar omgivande mikrobiella förhållanden risken för påväxt av mögel men detta är inget som berörs närmare i denna rapport (Johansson m.fl. 2005).

3.1.1 Slutsats – Orsaker till mögelpåväxt i träkonstruktioner

För att minska risken för mögelpåväxt i träkonstruktioner skall materialet vara torrt samt helt fritt från smuts. Vidare fastställs att risken för mögelpåväxt och således även högsta kritiska fuktillstånd i praktiken huvudsakligen beror av faktorerna temperatur, RF och varaktighet. För att undvika mögelpåväxt skall material förvaras och byggas in i konstruktioner så att högsta kritiska fuktillstånd inte överskrids. Mögelkänsliga material bör förvaras och byggas in så att höga RF undviks, speciellt i kombination med temperaturer över 15°C. Lägre temperaturer i kombination med en hög ånghalt kan också göra att RF överskrider RF_{krit} och mögelpåväxt är möjlig.

3.2 Val av mögelmodell

Redovisningen av resultat och gränsvärden av risk för mögelpåväxt i denna studie redovisas i Figur 1 och baseras på en av de modeller som finns i programvaran WUFI (Sedlbauer 2001; Sedlbauer m.fl. 2003; WUFI). För att redovisa förloppen över året samt att redovisa varaktigheten har modellen visualiserats i Figur 2 (Mundt-Petersen m.fl. 2012; Mundt-Petersen 2013b; 2015). Modellen och dess värde för RF_{krit} avser organiska material som är känsliga för mögelpåväxt och börjar skadas vid 76 % RF. Modellen beaktar inverkan av olika risk för skador beroende av rådande temperatur. RF_{krit} i Folos diagrammet baseras på RF och T enligt Figur 1 utan inverkan av varaktighet. Tiden under vilken $RF > RF_{krit}$, det vill säga varaktigheten, redovisas dock i flera studerade fall enligt exemplet i Figur 2. Valet av mögelmodell baseras också på att BBR 22 föreskriver att osäkerheter i beräkningsmodellen till kritiskt fuktillstånd ska beaktas (BBR).

Diagram i respektive figur som används för visualisering och val av mögelmodell baseras på att resultatet från beräknad temperatur, RF och RF_{krit} samtidigt som varaktighet redovisas. Av diagrammet i respektive figur framgår när, hur och vilka av faktorerna temperatur, RF och varaktighet som påverkar risken för mögelpåväxt vid olika tillfällen och i olika sammanhang. Folos diagrammet ger också utrymme att jämföra olika positioner med varandra (Mundt-Petersen m.fl. 2012; Mundt-Petersen 2013b; 2015). Mögelmodellen enligt Figur 1 visar sambandet mellan temperatur och RF samt har RF_{krit} nivå 76 % vid temperatur över 28 °C (Sedlbauer 2001; Sedlbauer m.fl. 2003; WUFI). RF_{krit} 76 % ligger nära det svenska regelverket som anger att RF inte får överskrida 75 % om materialets fuktegenskaper/ fuktkänslighet inte är kända (BBR). WUFI Pro 5.2 är den programvara som använts för beräkningar i redovisad parameterstudie.

Modeller med endast ett mögelindex samt när och hur mycket mögelindex överskrids har medvetet undvikits då faktorerna temperatur och RF vilka huvudsakligen påverkar förutsättningarna för om påväxt uppstår inte redovisas i dessa. Av mögelmodellerna som endast redovisar mögelindex framgår inte heller nivåer för RF_{krit} och hur de bakomliggande faktorerna påverkar detta samt hur nära RF ligger RF_{krit} vid olika tidpunkter. Diagrammet som används för visualisering, Figur 2, visar inte bara när risk för mögelpåväxt föreligger utan också hur olika faktorer, som till exempel temperaturen,

påverkar risken. Grundläggande kunskaper i byggnadsfysik enligt sambandet i ekvation 1 samt visualisering enligt Figur 2 gör det möjligt att utvärdera vilka åtgärder som kan vidtas för att begränsa eller helt undvika att RF_{krit} överskrids.

4 Sammanställning av genomförda beräkningar och jämförelser

Undersökningen har genomförts som en parameterstudie. Alla angivna värden och resultat baseras på beräkningar utförda i WUFI Pro 5.2. Initialt modelleras ett utgångsfall som avser att motsvara en i Sverige vanligt förekommande trätaks konstruktion i nyproducerade bostäder. Modellen för utgångsfallet kan antas motsvara förutsättningarna för både ett parallelltak och en takkonstruktion med kallvind med motsvarande uppbyggnad, isolertjocklek, takbeklädnadsmaterial mm (Mundt-Petersen 2015; Mundt-Petersen och Harderup 2015). I utgångsfallet redovisas konstruktion, material och randvillkor för yttre och inre klimat. För utgångsfallet genomförs initialt beräkningar för att påvisa var i takkonstruktionen RF_{krit} överskrids som mest. Därefter genomförs förändringar av utgångsfallet rörande till exempel yttre- och inre randvillkor, takbeklädnad, konstruktion, isolertjocklekar mm. Vartefter förändringar genomförs studeras, utvärderas och jämförs förhållandena i det området med högst RF, det vill säga den mest kritiska positionen ur ett fukttekniskt perspektiv. I enstaka sammanhang studeras även andra positioner vilka bedöms som intressanta vid specifika förändringar av takkonstruktionen.

4.1 Genomförda beräkningar och jämförelser

Nedan redovisas uppställningen för parameterstudien samt respektive förändringar. Varje förändring benämns "fall" och beskrivs närmare under respektive kapitel.

5 Utgångsfall och grundläggande förutsättningar.

Utgångsfallet och dess grundläggande förutsättningar samt indata specificeras.

5.1 Utgångsfall.

- Modell av utgångsfall.
- Tvärsnitt av en takkonstruktion som avser att motsvara ett i Sverige vanligt förekommande tak modellerat i en dimension.
- Redovisning beträffande konstruktion, material, randvillkor för yttre och inre klimat samt övriga randvillkor och förutsättningar.
- Redovisning av ett alternativt utgångsfall med kallvind som är applicerbart på aktuella beräkningsmodeller.

5.2 Fuktkritiska positioner.

- Beräkningar för att fastställa positioner i konstruktionen som är mest kritiska, det vill säga där RF är som högst eller överskrider RF_{krit} . Med positioner avses olika djup i studerade takkonstruktionen då studien genomförs i en dimension.
- Visar kritiska förhållanden för olika positioner i studerat parallelltak/ utgångsfallet i förhållande till varandra.

6 Parameterstudie – Olika randvillkor – Olika klimat.

Olika förändringar i randvillkor och klimat, jämfört med utgångsfallet, görs baserat på tidigare erfarenheter från produktionen, mätningar samt tidigare beräkningar med programvaran WUFI (Hägerstedt 2012; Mundt-Petersen 2013b; 2013c; 2013d; 2013e; 2013f; 2013g; 2015). RF i fuktkritiska positioner för respektive förändring/ fall beräknas och jämförs mot RF_{krit} samt med utgångsfallet.

6.1 Påverkan av takriktning mot väderstreck.

- RF beräknas och jämförs mot RF_{krit} med takriktning mot norr som i utgångsfallet samt med söder. I detta fall har norr och söder valts eftersom de bedöms utgöra ytterligheterna för när en takkonstruktions yttre delar är som kallast och som varmast.

6.2 Omgivande utomhusklimat/ olika orter.

- Påverkan av olika omgivande utomhusklimat.
- RF beräknas och jämförs mot RF_{krit} för några olika representativa orter/ städer med olika klimat i Sverige.

6.3 Jämförelse mellan beräkning med av SMHI uppmätt klimat och WUFI:s befintliga klimatfiler.

- RF beräknas med klimatfiler baserat på SMHI uppmätt klimat och jämförs sedan med motsvarande beräkningar med WUFI:s befintliga klimatfiler.

6.4 Omgivande inomhusklimat.

- Påverkan på takkonstruktionen av invändigt inomhusklimat.
- RF beräknas och jämförs med RF_{krit} för relevanta studerade positioner i takkonstruktionen efter det att inomhusklimatet förändrats med avseende på temperatur och fuktlast/ fuktillskott.

7 Parameterstudie – Förändringar av yttertaket.

Påverkan på fuktförhållanden av olika förändringar av takkonstruktionens yttre delar studeras enskilt och i olika kombinationer. Studerade förändringar avser bland annat olika takbeläggingsmaterial, kulör på takbeklädnadsmaterial, inläckage i råspons, takvinklar och extra isolering på utsidan av råsponsen. Valet av studerade förändringar baseras på tidigare erfarenheter, tidigare genomförda beräkningar med WUFI samt olika utformning av förekommande takkonstruktioner i Sverige (Hägerstedt 2012; Mundt-Petersen 2015). RF i fuktkritiska positioner för respektive förändring/ fall beräknas och jämförs mot RF_{krit} och utgångsfallet eller andra relevanta fall.

7.1 Olika kulör på takpannor.

- RF beräknas och jämförs för olika kulörer på takpannor samt mot RF_{krit} .

7.2 Olika takbeläggingsmaterial – Takpapp eller tegelpannor

- RF beräknas och jämförs för olika takbeläggingsmaterial samt mot RF_{krit} .
- Primärt jämförs tegelpannor och takpapp. Det bör dock noteras att i ett generellt och tillämpat perspektiv är resultaten för tegelpannor liknande de resultat som erhålls för betongpannor. Vidare kan ur ett generellt och tillämpat perspektiv resultaten för takpapp anses likna motsvarande beräkningar utförda med plåttakt i samma kulör.

- 7.3 Effekten av inläckage genom takpapp in i råspons.
- Påverkan på fuktförhållanden beräknas och jämförelse mot RF_{krit} för tre olika fall med inläckage in genom takpapp in i råsponsen samt ett fall utan inläckage.
- 7.4 Olika takvinklar.
- RF beräknas och jämförs för olika takvinklar samt mot RF_{krit} .
- 7.5 Olika takvinklar och olika svarta takbeklädnadsmaterial – Takpapp eller tegelpannor.
- Inverkan på fuktförhållanden av de två olika parametererna, takvinklar och takbeklädnadsmaterial studeras och jämförs mot såväl RF_{krit} som de två enskilda faktorerna.
 - För att begränsa studien och göra den relevant i ett sammanhang studeras endast svarta takbeklädnadsmaterial mot bakgrund av att takpapp normalt sett är svart.
- 7.6 Extra isolering på utsida råspons.
- Inverkan på fuktförhållanden studeras och jämförs mot utgångsfallet och RF_{krit} för fall där olika tjocklekar av extra isolering på utsidan av råsponsen applicerats.
- 7.7 Extra isolering på utsidan av råspons och olika kulör på takpannor.
- Inverkan på fuktförhållanden studeras och jämförs för kombinationer av extra isolering på utsidan av råsponsen och olika kulör på takpannorna.
 - Jämförelsen görs mot såväl RF_{krit} , som de tidigare studerade enskilda fallen samt kombinationen av de två specifikt studerade faktorerna.
- 7.8 Extra isolering på utsidan av råsponsen och olika svarta takbeklädnadsmaterial – Takpapp eller tegelpannor.
- Inverkan på fuktförhållanden för kombinationen av extra isolering på utsidan av råsponsen och olika takbeklädnadsmaterial studeras.
 - Jämförelsen görs mot såväl RF_{krit} , som de tidigare studerade enskilda fallen samt kombinationen av de två specifikt studerade faktorerna.
 - För att begränsa studien och göra den relevant i ett sammanhang studeras endast svarta takbeklädnadsmaterial mot bakgrund av att takpapp normalt sett är svart.
- 7.9 Extra isolering på utsidan råsponsen och olika takvinklar.
- Inverkan på fuktförhållanden för kombinationen av extra isolering på utsidan av råspons och olika takvinklar studeras.
 - Jämförelsen görs mot såväl RF_{krit} , som de tidigare studerade enskilda fallen samt kombinationen av de två specifikt studerade faktorerna.

8 Parameterstudie – Olika takkonstruktioner

Påverkan på fuktförhållanden beroende av förändringar inne i takkonstruktionen studeras. Inne i takkonstruktionen avser i detta sammanhang förändringar inne i konstruktionen från utsida ångspärr upp till insida råspont. Valet av studerade förändringar baseras på tidigare erfarenheter, tidigare genomförda beräkningar med WUFI samt olika utformning av förekommande takkonstruktioner i Sverige (Hägerstedt 2012; Mundt-Petersen 2015). RF i fuktkritiska positioner för respektive förändring/ fall beräknas och jämförs mot RF_{krit} och utgångsfallet eller andra relevanta fall.

8.1 Jämförelse mellan kallvind och parallelltak.

- Två olika beräkningsmodeller, en som motsvarar ett parallelltak och en som motsvarar en kallvind, jämförs sinsemellan och mot RF_{krit} .
- Beräkningsmodellen för parallelltaket avser utgångsfallet.

8.2 Olika isolertjocklekar i tak.

- Fuktförhållanden studeras för olika isolertjocklekar i taket.
- Isolertjocklekarna 200 mm, 300 mm, utgångsfallet med 400 mm samt 600 mm isolering jämförs sinsemellan och mot RF_{krit} .

8.3 Olika ventilationsflöden i luftspalten under råsponten.

- Påverkan på fuktförhållanden beroende av olika ventilationsflöden i luftspalten på insidan av råsponten studeras och jämförs mot RF_{krit} .

8.4 Olika ventilationsflöden i luftspalten utan inläckage i råsponten.

- Påverkan på fuktförhållanden beroende av olika ventilationsflöden i luftspalten på insidan av råsponten studeras och jämförs mot RF_{krit} under förutsättningen att inget inläckage in genom takpappen förekommer.
- Notera att ett inläckage om 0,2 % av regnmängden som träffar taket antas läcka in i råsponten i grundfallet och övriga fall där inget annat anges.
- Beräkningarna utförs utan det begränsade antagna inläckage in genom takpappen in i den underliggande råsponten vilket är ansatt i utgångsfallet.

8.5 Cellplast eller styv mineralull som luftspaltbildande skiva.

- Påverkan på fuktförhållanden i olika positioner om den träfiberskiva som är ansatt för att skapa den ventilerade luftspalten på insidan av råsponten ersätts med en mer diffusionstät cellplastskiva alternativt en mer diffusionsöppen mineralullsskiva studeras och jämförs sinsemellan och mot RF_{krit} .

8.6 Andra isolermaterial.

- Möjligheten att använda andra isolermaterial såsom cellulosafiber och EPS-isolering, studeras.

9 Parameterstudie – Förändringar av innertaket.

Påverkan och konsekvenser av förändringar på takkonstruktionens insida studeras. Takkonstruktionens insida avser i detta sammanhang huvudsakligen förändringar i konstruktionens ångspärr. Valet av studerade förändringar baseras på tidigare erfarenheter samt tidigare genomförda beräkningar med WUFI (Hägerstedt 2012; Mundt-Petersen 2015). RF i fuktkritiska positioner för respektive förändring/ fall beräknas och jämförs mot RF_{krit} och utgångsfallet eller andra relevanta fall.

9.1 Olika inläckage genom ångspärren.

- Påverkan på fuktförhållanden i takkonstruktionen med olika stora hål i den invändiga ångspärren och följaktligen olika stora inläckage av fuktig luft in genom ångspärren studeras och jämförs sinsemellan samt mot RF_{krit} .

9.2 Olika inläckage genom ångspärren och cellplast eller styv mineralull som luftspaltbildande skiva.

- Påverkan på fuktförhållanden i takkonstruktionen med olika stora hål i den invändiga ångspärren och följaktligen olika stora inläckage av fuktig luft in genom ångspärren i kombination med olika material på den luftspaltbildande skivan studeras och jämförs sinsemellan samt mot RF_{krit} .

Studien är genomförd i en dimension. Konstruktionerna behandlas endast som en helhet och beaktar inte detalj-, utförandefel eller fuktskadat material etc. Eventuella skador i ångspärr, inläckage vid anslutningar och byggfukt är således exempel på faktorer som inte studeras.

4.2 Tabeller över genomförda beräkningar och jämförelser

I Tabell 1 och 2 nedan redovisas genomförda beräkningar och jämförelser. Nummer i Tabell 1 och 2 visar i vilken figur aktuell beräkning redovisas. Fall/ rutor utan nummer avser beräkningar som inte är genomförda. Färgmarkerade rutor indikerar att även utgångsfallet finns med för direkt jämförelse i aktuell figur.

Tabell 1. Sammanställning av genomförda beräkningar och jämförelser. Numrerade rutor anger att det finns en beräkning för aktuellt fall och i vilken figur beräkningen redovisas. Färgmarkering, gul, grön eller orange, indikerar att utgångsfall finns med för jämförelse i aktuell figur.

		Stad	Lund				Stockholm	Borlänge	Luleå
			Position	Pos A	Pos B	Pos C			
	Utgångsfall		6, 7, 8	6, 8	6	6			
Olika randvillkor – Olika klimat	Olika vädersträck	Nord	10						
		Syd	10						
	Omgivande utomhusklimat/ olika orter		13				14	15	16
	WUFI standard klimat jmf SMHI klimat	WUFI	18				20	22	24
		SMHI	19				21	23	25
	Omgivande inomhusklimat	Ökad fuktlast & sänkt T	29	30		31			
Endast sänkte T					32				
Förändringar av yttertaket	Takkulör	Svart tegel jmf. rött tegel	34				36		38
		Vitt tegel jmf. rött tegel	35				37		39
	Takbeklädnadsmaterial	Svart tegel jmf. svart takpapp	41, 60				42		43
	Inläckage in genom takpapp in i råspons	inget inläckage	45						
		0,2 % inläckage	46						
		0,5 % inläckage	47						
		1 % inläckage	48						
	Olika takvinklar	14 jmf. 27 graders takvinkel	49, 55				51		53
		27 jmf. 45 graders takvinkel	50, 56				52		54
	Olika takvinklar och olika svarta takbeklädnads-material	Takpapp & 14 jmf. 27 g. takvinkel	57						
		Takpapp & 25 jmf. 45 g. takvinkel	58						
		14 g. takvinkel & takpapp jmf. Tegel	59						
		27 g. takvinkel & takpapp jmf. Tegel	41, 60						
		45 g. takvinkel & takpapp jmf. Tegel	61						
	Extra isolering utsida råspons	25 mm	63				67		69
		50 mm	64				68		70
75 mm		65							
100 mm		66							
50 mm isolering utsida råspons och olika takkulör	Svart tegel jmf. rött tegel	71							
	Vitt tegel jmf. rött tegel	72							
50 mm isolering utsida råspons och svart tegel jmf. svart takpapp		73							
50 mm isolering utsida råspons och olika takvinklar	14 jmf. 27 graders takvinkel	74							
	27 jmf. 45 graders takvinkel	75							

Tabell 2. Sammanställning (fortsättning) av genomförda beräkningar och jämförelser. Numrerade rutor anger att det finns en beräkning för aktuellt fall och i vilken figur beräkningen redovisas. Färgmarkering, gul, grön eller orange, indikerar att utgångsfallet finns med för jämförelse i aktuell figur.

		Lund				Stockholm	Borlänge	Luleå
Stad		Pos A	Pos B	Pos C	Pos D	Pos A	Pos A	Pos A
Position								
Olika takkonstruktioner	Kallvind jmf. parallelltak (utgångsfallet)	78						
	Olika isolertjocklekar i tak jmf. med utgångsfallet om 400 mm	200 mm	80			83		85
		300 mm	81					
		600 mm	82			84		86
	Olika ventilationsflöden i luftspalten under råsponten	3 oms/h	88, 94			89		
		30 oms/h	90			91		
		300 oms/h	92, 95	96		93		
	Olika ventilationsflöden i luftspalt under råsponten med och utan inläckage i råspont	3 oms/h med och utan inläckage	98	99				
		30 oms/h med och utan inläckage	100	101				
		300 oms/h med och utan inläckage	102	103				
		3 oms/h utan inläckage	104	104				
		30 oms/h utan inläckage	105	105				
		300 oms/h utan inläckage	106	106				
	Cellplast eller mineralull som luftspaltbildande skiva	Cellplast jmf. träfiberskiva		108				
	Styv mineralull jmf. träfiberskiva		109					
Andra isolermaterial	Cellulosafiber jmf. mineralull	111	113		115			
	Cellplast jmf. mineralull	112	114		116			
Förändringar av innertaket	Olika inläckage genom ångspärren jmf. utgångsfallet	Håldiameter 2 mm/m ² jmf. 5 mm/m ²		118				
		Håldiameter 2 mm/m ² jmf. 12 mm/m ²		119				
	Olika inläckage genom ångspärren och mineralull, träfiber eller cellplast som luftspaltbildande skiva	Minull. & 2 mm/m ² jmf. 5 mm/m ² hål		121				
		Minull. & 2 mm/m ² jmf. 12 mm/m ² hål		122				
		Träfib. & 2 mm/m ² jmf. 5 mm/m ² hål		123				
		Träfib. & 2 mm/m ² jmf. 12 mm/m ² hål		124				
		Cellplast & 2 mm/m ² jmf. 5 mm/m ² hål		125				
	Cellplast & 2 mm/m ² jmf. 12 mm/m ² hål		126					

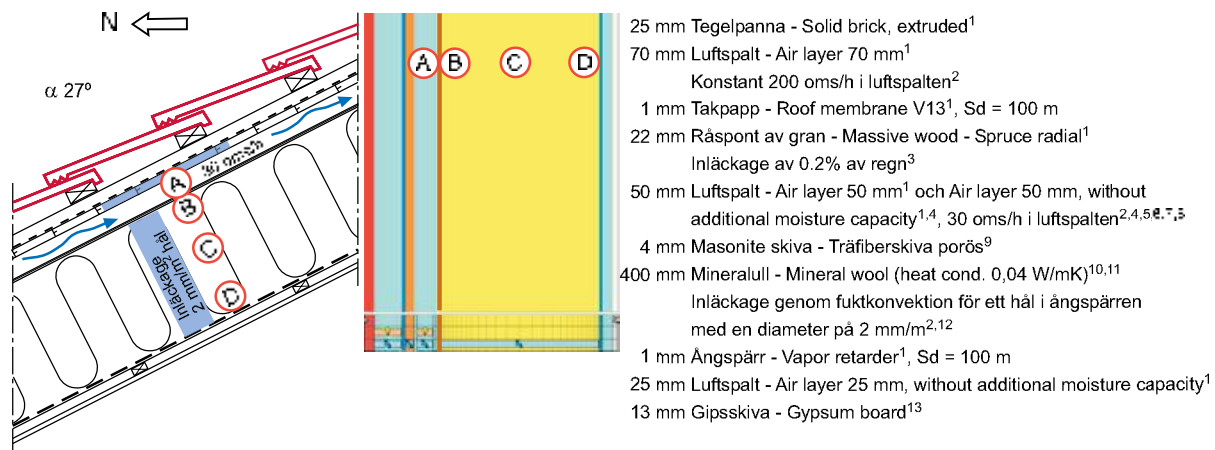
5 Utgångsfall och grundläggande förutsättningar

5.1 Utgångsfall

Nedan beskrivs förutsättningar för beräkning avseende utgångsfallet. Beskrivningen avser såväl konstruktion som material och randvillkor för inne- och utomhusklimat. Om inget annat anges under respektive förändring så gäller de förutsättningar som gäller för utgångsfallet vilka beskrivs enligt nedan.

5.1.1 Konstruktion

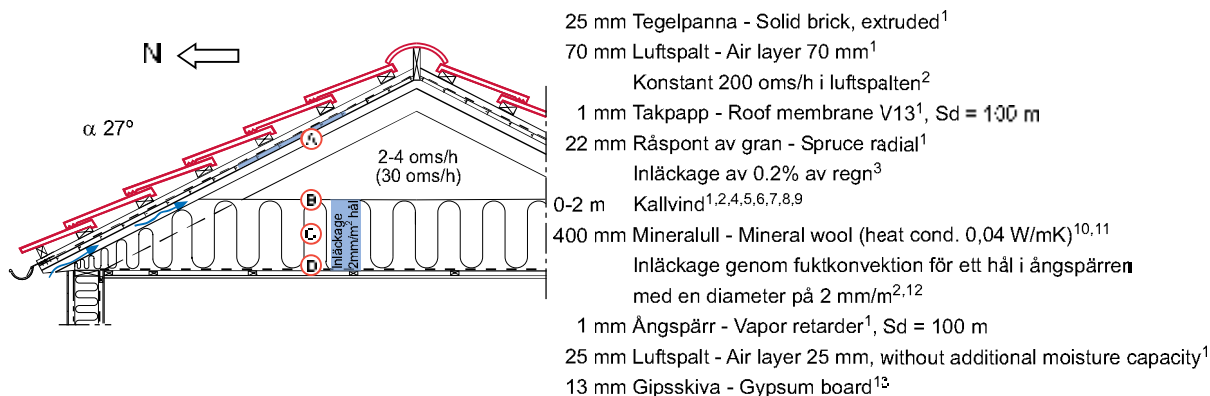
Konstruktionen för utgångsfallet avser att efterlikna en vanligt förekommande takkonstruktion av trä för bostäder i Sverige. Beräkningsmodellen baseras på erfarenheter från tidigare blind verifiering av programvaran (Mundt-Petersen 2013c; 2013d; 2013e; 2013f; 2013g; Mundt-Petersen 2015). I och med att beräkningarna genomförs i en dimension har skikt med blandade material förenklats. I beräkningsmodellen innebär det att skikt med mineralullsisolering och till exempel takstolar i trä endast utgörs av mineralullsisolering och luftspalter med läkt eller glespanel endast utgörs av luft. I beräkningsmodellerna förekommer både ventilerade och oventilerade luftspalter med läkt eller glespanel enligt redovisat i varje specifikt fall. I de fall där ventilation förekommer i en luftspalt är denna alltid konstant i beräkningsmodellen. Luftspalter i den yttre delen av takkonstruktionen är uppbyggda av flera olika skikt i syfte att beräkningsmodellen ska kunna hantera tillfälliga utfällningar av kondens (Mundt-Petersen 2013; 2015). Träreolar som i verkligheten förekommer i konstruktionen är endast i vissa fall fint utritade i sektionsritningar och då för att påvisa eventuella skillnader jämfört använd endimensionell beräkningsmodell. Homogena skikt av trä är alltid utritade och inkluderade i beräkningsmodellen, såsom till exempel råspont.



Figur 3. Utgångsfall. Sektionsritning av ett vanligt förekommande parallelltak i Sverige och en beräkningsmodell av densamma samt materialval för utgångsfallet. (1. WUFI) (2. Falk 2010) (3. Wallentén 2014) (4. Mundt-Petersen 2013b; 2015) (5. Hägerstedt 2011b) (6. Mundt-Petersen 2013b) (7. Mundt-Petersen 2013d) (8. Mundt-Petersen 2013e) (9. Hedenblad 1996) (10. IEA Annex 24 1996) (11. Paroc 2002) (12. Georgsdottir och Sawirs 2012) (13. Krus 1996).

5.1.2 Alternativt utgångsfall med kallvind

Av studier samt jämförelser mellan mätningar och blinda beräkningar framgår att den endimensionella beräkningsmodellen med en ventilerad luftspalt enligt redovisat i Figur 3 även kan användas för takkonstruktioner med kallvind enligt Figur 4 (Mundt-Petersen 2013c; 2013d; 2013e; 2013f; 2013g; Mundt-Petersen 2015).



Figur 4. Takkonstruktion med kallvind vilken ur ett generellt perspektiv även kan appliceras på använd beräkningsmodell enligt Figur 3. (1. WUFI) (2. Falk 2010) (3. Wallentén 2014) (4. Mundt-Petersen 2015) (5. Mundt-Petersen 2013b) (6. Mundt-Petersen 2013d) (7. Mundt-Petersen 2013e) (8. Mundt-Petersen 2013f) (9. Mundt-Petersen 2013g) (10. IEA Annex 24 1996) (11. Paroc 2002) (12. Georgsdottir och Sawirs 2012) (13. Krus 1996).

Resultaten från endimensionella beräkningsmodeller med en ventilerad luftspalt kan även i ett större perspektiv generellt sett appliceras på takkonstruktioner med en ventilerad kallvind. Resultat baserade på beräkningsmodeller för parallelltak med ventilerade luftspalter i denna rapport kan således även i ett generellt perspektiv användas för utvärdering av motsvarande takkonstruktioner med en kallvind istället för en ventilerad luftspalt (Mundt-Petersen 2013c; 2013d; 2013e; 2013f; 2013g; Mundt-Petersen 2015).

Utöver ovan redovisat och referenser där jämförelser mellan mätningar och beräkningar kan studeras jämförs beräkningsmodeller för de två principiellt olika takkonstruktionerna med kallvind respektive parallelltak med en ventilerad luftspalt i kapitel 8.1 Jämförelse mellan kallvind och parallelltak.

5.1.3 Utomhusklimat

Utomhusklimat för utgångsfallet avser klimat för Lund och är hämtat från WUFI:s standardklimatfiler för svenska orter (WUFI). Valet av Lund för utgångsfallet baseras på att det är en region där det byggs mycket och erfarenhetsmässigt kan vara svårt att klara BBR krav med avseende på fukt och risken för påväxt. Vidare finns god tillgång på klimatdata för tester med annat klimat än WUFI standardklimat.

WUFI:s befintliga klimatfiler baseras på svenskt klimat som justerats i syfte att skapa ett "normalår" utan perioder som varit extremt varma, kalla, fuktiga eller torra för perioden 1995-2005. Under verkliga år kan olika former av extrema perioder förekomma, vilket också måste beaktas vid dimensionerande beräkningar eftersom det normalt medför sämre förutsättningar med större risk för påväxt av mögel (Hägerstedt 2012).

5.1.4 Inomhusklimat

Inomhusklimatet för utgångsfallet är baserat på standard EN 13788 (EN 13788 2001).

Inomhustemperaturen är satt till 20 °C enligt WUFI standardvärde. Fuktklass 2 är använd med avseende på fukttillskott. Detta motsvarar ett fukttillskott om 4 g/m³ vid utomhustemperaturer under 0 °C. Notera att fukttillskottet varierar beroende av brukaren. I både en- och flerbostadshus är fukttillskottet normalt lägre än 4 g/m³ men betydligt högre kan förekomma i enskilda fall (Boverket 2009; Bagge 2011).

5.1.5 Läckage in i taket

Två olika inläckage har ansatts i beräkningsmodellen. Ett från utsidan in genom yttertak och ett från insidan in genom den inre ångspärren. Båda inläckagen syftar till att skapa dimensionerande förutsättningar med en extra fuktbelastning som är högre jämfört ett normalfall, men för den sakens skull inte orealistiskt hög.

Läckaget från utsidan motsvarar 0,2 % av det regn som träffar taket. Inläckaget avser att motsvara den mängd fukt som kan tränga in igenom bland annat spikhål som uppstår i takpappen när ströläkten spikas fast i råsponten som ligger under takpappen. Vidare avser inläckaget att motsvara andra eventuella håligheter som kan tänkas uppstå vid infästning av takpappen eller runt genomföringar. I praktiken är inläckaget mycket litet. Inläckaget har placerats på utsidan av råsponten precis innanför takpappsskiktet i beräkningsmodellen.

Läckaget från insidan avser fukt från inomhusluften som tränger in i takkonstruktionen genom hål i ångspärren. I utgångsfallet antas hålen i ångspärren motsvara ett hål med diametern 2 mm per kvadratmeter takarea. Verkligt inläckageflöde varierar givetvis med de förutsättningar som ges för att montera ångspärren under produktionen samt beroende på hur lättmonterad ångspärren är baserat på konstruktionens utformning. I slutändan handlar det även om hantverkarnas professionalism, yrkesskicklighet och färdigheter för att konstruktionen ska erhålla en tät ångspärr. Med hantverkarna avses i detta fall inte bara de som monterar den aktuella ångspärren utan även de yrkesgrupper som kan behöva ta hål på ångspärren och på så vis kan skapa inläckage såsom till exempel genomföringar för kabel- och rördragning.

Fuktflödet igenom hål i ångspärren baseras på tryckskillnader dels från termiska drivkrafter och dels för tryckskillnader skapade av vind. Vid beräkningar av den termiska drivkraften har byggnadens höjd antagits vara 8 m. För beräkning av tryckskillnader på grund av vind antas takvinkeln till 27 grader vilket ger en yttre formfaktor på -0,5. I syfte att erhålla dimensionerande förhållanden har en invändig formfaktor om 0,2 antagits. Fuktflödet genom hål orsakat av termiska drivkrafter och vind har beräknats timme för timme beroende på omgivande klimat för utgångsfallet. Samma inläckage har därefter använts genom hela studien om inget annat anges. Den luft som tränger in i takkonstruktionen antas tränga ut lika stor luftvolym från beräkningsmodellens vindsbjälkag (Georgsdottir och Sawirs 2012; Nevander och Elmarsson 2007).

5.1.6 Övriga randvillkor och förutsättningar för beräkningsmodell

Nedan redogörs för förutsättningar och värden som används som indata i beräkningsmodellen i WUFI Pro 5.2, utöver det som redovisats i föregående rubriker. Förutsättningarna redovisas i punktform med eventuell efterföljande kommentar. Se även ytterligare information i WUFI Pro 5.2 manual (WUFI).

- Väderstreck – Norr.
Normalt är takriktningar mot norr dimensionerande väderstreck då dessa utsätts för minst solstrålning och därför också blir kallast. Den lägre temperaturen skapar en högre RF enligt sambandet som redovisas i ekvation 1.
- Takvinkel – 27 grader.
- Regnbelastning – $R1 = 1$, $R2 = 0$ s/m.
Visar att allt regn träffar taket. WUFI standardvärden (WUFI).

- Värmeövergångsmotstånd yttre yta – Vindberoende.

- $\alpha_{\text{conv}} = 4,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- $\alpha_{\text{rad}} = 6,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- $f_{\text{lovert}} = 1,6 \text{ Ws/m}^3\text{K}$.
- $f_{\text{läsida}} = 0,33 \text{ Ws/m}^3\text{K}$.

WUFI standardvärden (WUFI). Motsvarande värde för stationära beräkningar i svenska förhållanden är $R_{\text{se}} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ (EN 13789, 2007).

- Sd-värde för utvändig yta – 2 m.

Motståndet, det vill säga Sd-värdet 2 m, motsvarar motstånd för takpannor (WUFI).

Sd-värde anger hur ångtätt ett material är och anges i enheten meter. Andra enheter på ångtäthet förekommer, bland annat μ [-], Z [s/m] och δ [m^2/s].

- Absorptionstal för kortvågig strålning mot utvändig yta = 0,68.

0,68 avses motsvara röd kulör. Motsvarande värde för silvergrå och obehandlad/ ofärgad betong är 0,7 respektive 0,65. Absorptionstal för kortvågig strålning för vitt glaserat tegel är 0,26. Svart tegels absorptionstal för kortvågig strålning är 0,91.

- Emissionstal för långvågig strålning = 0,9.

WUFI standardvärde (WUFI).

- Explicit strålningsbalans – på.

- Terräng långvågig emissivitet = 0,9.
- Terräng långvågig reflektion = 0,1.
- Molnindex = 0,66.

WUFI standardvärden (WUFI) vilka även motsvarar SMHIs angivna molnighetsindex (SMHI).

- Terräng, kortvågig reflektionsgrad = 0,2

WUFI standardvärde (WUFI).

- Absorptionstal för regnvatten = 1. Enligt konstruktionens lutning.

WUFI standardvärde (WUFI).

- Värmemotstånd inre yta = $0,125 \text{ m}^2\text{K/W}$.

WUFI standardvärde, som även ligger nära svenska standardvärdet R_{si} för tak = $0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$ (WUFI; EN 13789 2007).

- Sd-värde invändig yta = 0 m.

Inverkan av invändigt ytskikt, tapet eller målarfärg, bedöms försumbar då badrum eller andra våtrum inte studeras.

- Begynnelsestemperatur i byggnadsdelar = $17 \text{ }^\circ\text{C}$.

Resultaten är fem år från start vilket i praktiken negligerar inverkan av begynnelsevillkor.

- Begynnelseförhållanden för vatteninnehåll i respektive skikt är angett genom funktionen: Ange typiskt värde för byggfukt.

Använda standardvärden är angivna i WUFI:s materialdatabas (WUFI). Resultaten avser år fem från start vilket gör att inverkan av begynnelsevillkor i praktiken har upphört.

- Beräkningen genomförs för en period om fem år med beräkningsstart i januari. För WUFI:s befintliga klimatfiler upprepas klimatet således fem gånger. Det femte året redovisas och utvärderas i studien. Syftet är att konstruktionen inte ska påverkas av begynnelsevillkor samt ge en möjlighet att upptäcka eventuell fuktlagring på årsbasis. För det enstaka fallet med SMHI uppmätt klimatdata är varje år unikt.

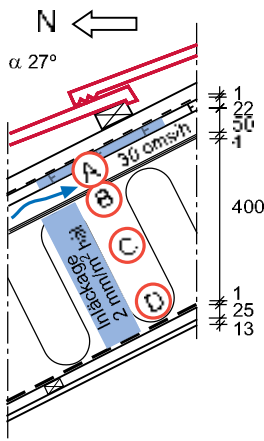
- Numeriska parametrar enligt WUFI standardinställningar samt adaptiv tidstegs kontroll med 3 steg, max 5 steg (WUFI).

5.2 Fuktkritiska positioner

För att verifiera vilken eller vilka positioner, det vill säga vilka djup i konstruktionen, som är mest fuktkritiska och överskrider RF_{krit} , genomförs en beräkning för flera olika positioner i utgångsfallet. För att begränsa studiens omfattning fokuseras därefter på de positioner som överskrider eller är nära att överskrida RF_{krit} . Positionerna benämns fortsättningsvis RF kritisk position. I vissa konstruktioner, där det anses nödvändigt, utvärderas även andra positioner som bedöms kunna vara kritiska i ett fuktsäkerhetsperspektiv.

Fyra positioner för utgångsfallet studeras. Positioner utanför takpappen på utsidan av råsponten studeras inte närmare eftersom RF_{krit} bedöms få överskridas i dessa områden (BBR). Detta innebär att mögelpåväxt accepteras i och utanför takpappen. Studerade positioner specificeras enligt nedan och redovisas i Figur 5. Observera att inverkan av träreglar inte beaktas i beräkningsmodellen.

- Insidan av råspont – i råsponten långt ut i konstruktionen, på utsidan av den ventilerade luftspalten.
- Utsidan av mineralull – långt ut i konstruktionen där även utsida takstolens överram ligger.
- Mitt i mineralull – mitt i konstruktionen där även mitten på takstolens överram ligger.
- Långt in i mineralull – på utsidan av ångspärren, långt in i konstruktionen där även insidan av takstolens överram ligger.

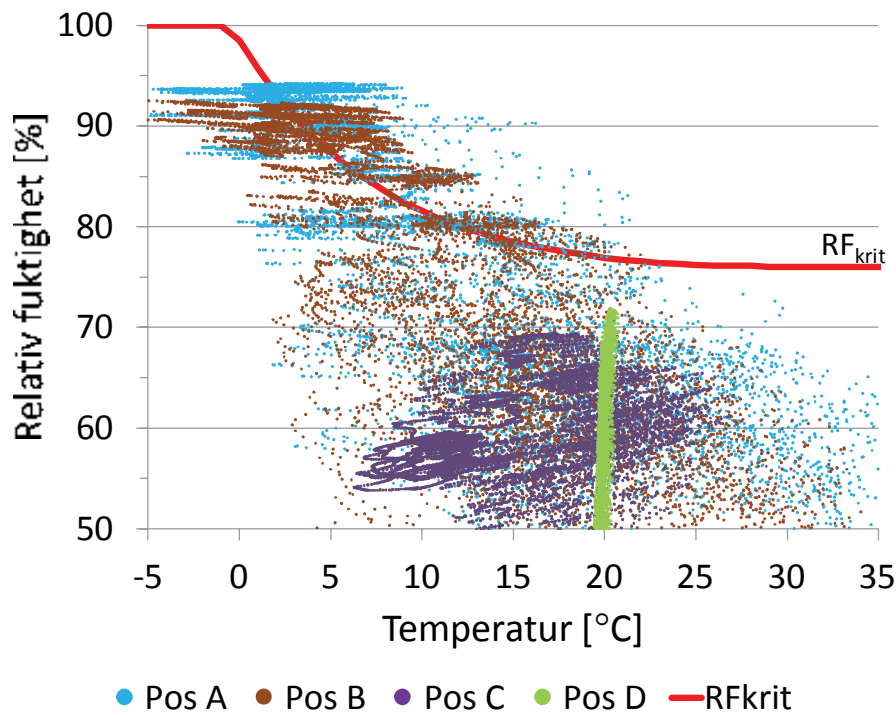


Figur 5. Position A, B, C och D utgör studerade platser/djup för att se vilka av dessa som är eller kan anses vara kritiska ur ett fukttekniskt perspektiv.

5.2.1 Resultat – fuktkritiska positioner

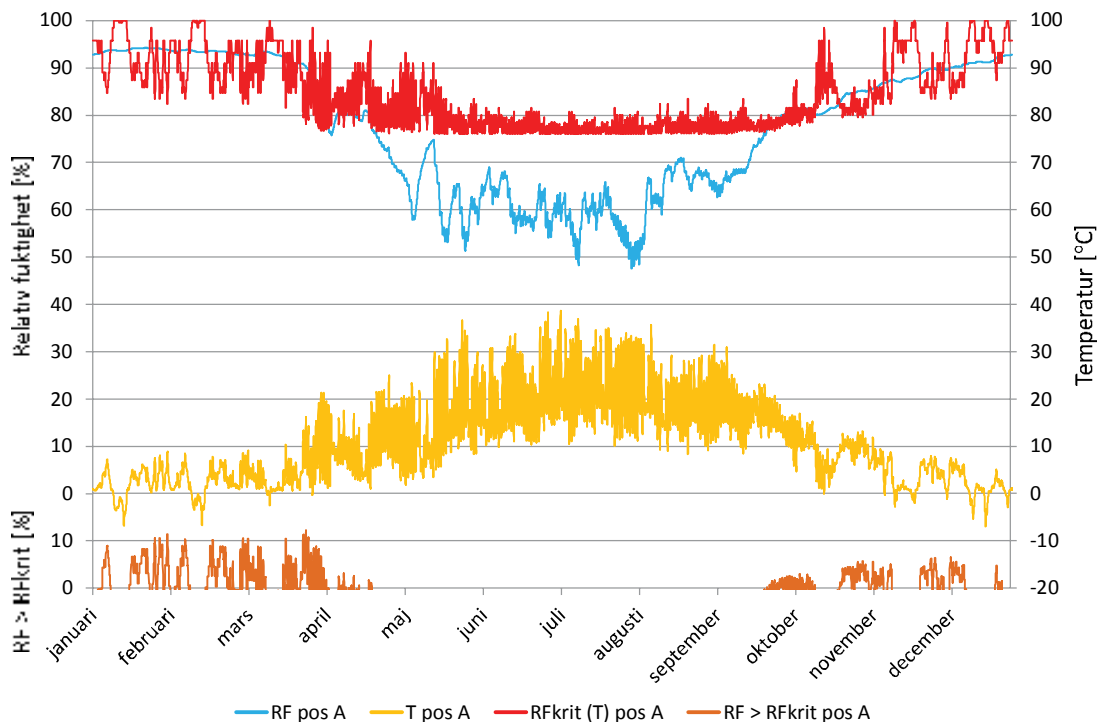
Figur 3 redovisar beräknad RF för utgångsfallet i position A, B, C och D samt RF_{krit} . Figur 4 redovisar beräknad RF i utgångsfallet för position A och B samt hur mycket RF överskrider RF_{krit} vid respektive tidpunkt. I diagram 4 redovisas också temperatur i position A och B samt dess varaktighet.

RF i positionerna A, B, C och D



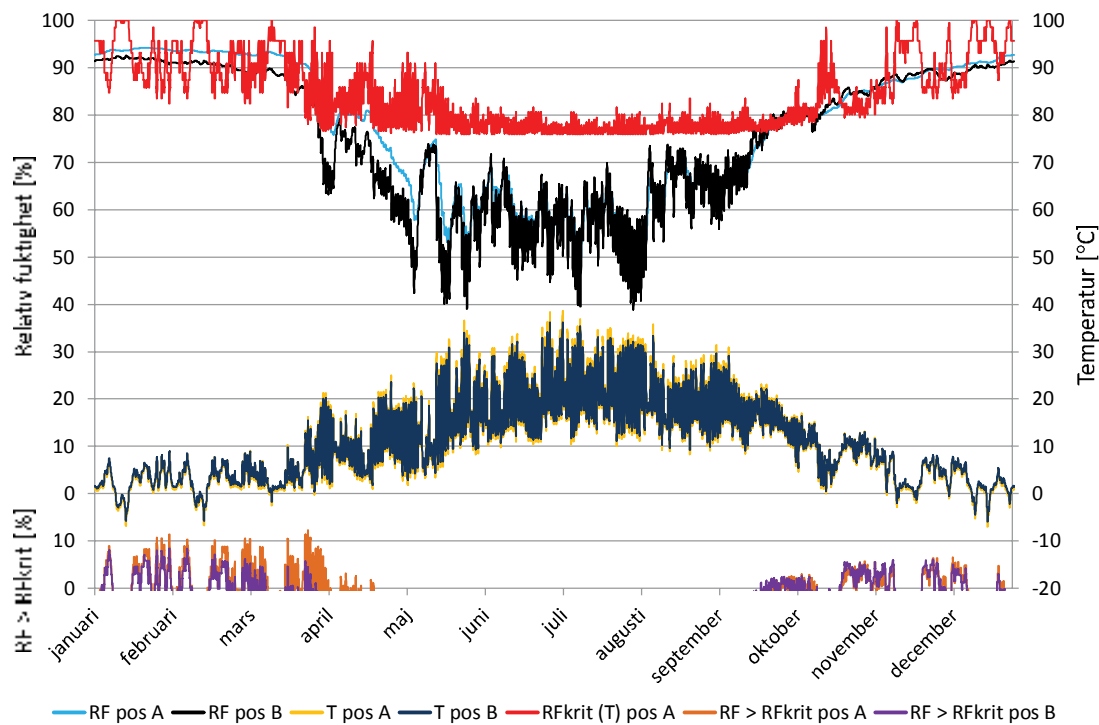
Figur 6. RF jämfört med RF_{krit} för position A, B, C och D. RF för position A (turkos), position B (brun), position C (lila), position D (grön) samt RF_{krit} (röd).

RF position A



Figur 7. RF jämfört med RF_{krit} i position A. Beräknad RF (turkos), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), temperatur (gul), RF över RF_{krit} (brun).

Jämförelse mellan RF och RF_{krit} för position A och B



Figur 8. RF jämfört med RF_{krit} i position A och B. RF i position A (turkos), RF i position B (brun), RF_{krit} beroende av temperaturen i position A (röd), temperatur i position A (gul), temperatur i position B (mörkblå), RF över RF_{krit} i position A (brun), RF över RF_{krit} i position B (lila).

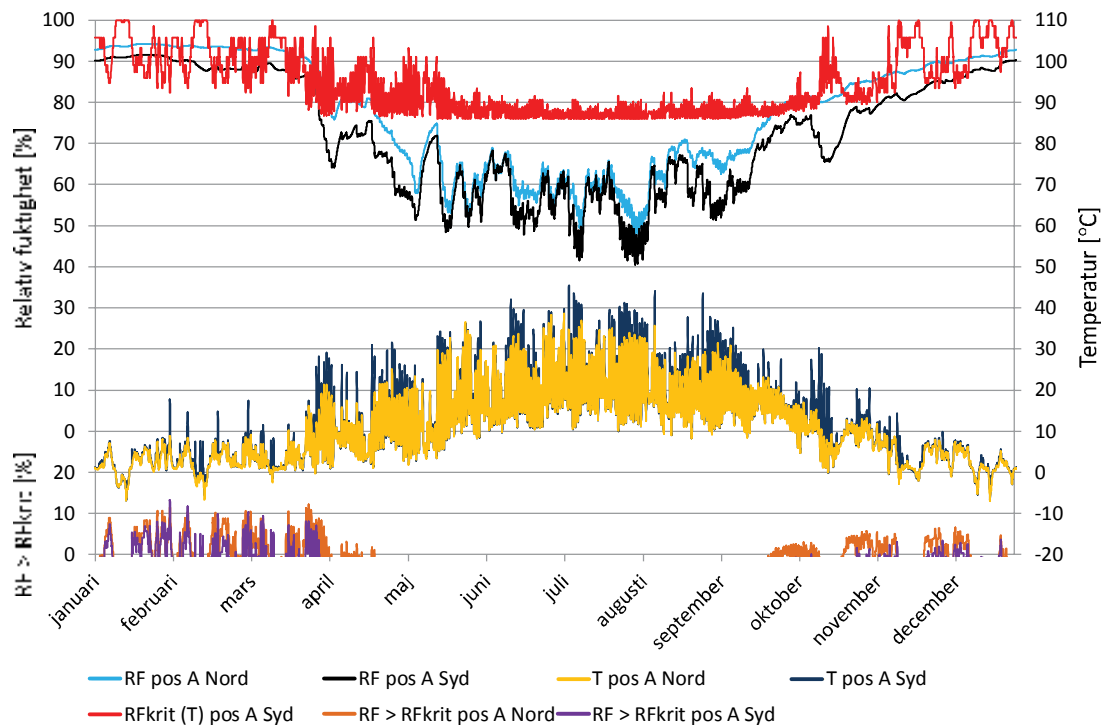
5.2.2 Analys – Fuktkritiska positioner

Utvärdering av de fyra positionerna enligt ovan visar att position A och B, långt ut i klimatskalet, är två positioner där RF överskrider RF_{krit} . Enligt Figur 7 och 8 sker detta också under längre perioder i de båda positionerna under de kallare perioderna av året. Figur 8 visar vidare att värre kritiska förhållanden förekommer i råsponten i position A jämfört med insidan av träfiberskivan i position B.

Det kritiska förhållandet uppstår i anslutning till de platser i taket där det finns trä eller annat organiskt material. Mineralull har normalt högre tålighet mot mögelpåväxt jämfört med träbaserade material (Johansson m.fl. 2005; Johansson 2014). Det organiska materialet utgörs i detta fall av råspont och träreglor i position A samt träfiberskiva och reglar i position B. Om reglarna är genomgående så utgör de en köldbrygga varför ett mindre gynnsamt klimat för mögel kan antas förekomma i direkt anslutning till regelns utsida under de kalla delarna av året. Genomgående reglar som utgör köldbryggor försämrar dock konstruktionens energiprestanda och bör därför undvikas. I dagens högisolerade konstruktioner är det också relativt ovanligt med helt genomgående reglar. Om konstruktionen har någon form av lättreglar eller korsreglar som gör att det uppstår ett skikt som bryter köldbryggan kommer utsidan av regeln att utsättas för ett klimat som ökar risken för mögelpåväxt. Detta då den blir kallare och den lägre temperaturen gör att RF blir högre jämfört med en takkonstruktion med genomgående reglar. RF i en konstruktion med lättreglar kommer därför att överskrida RF_{krit} i större utsträckning jämfört konstruktioner med genomgående reglar. I praktiken innebär detta att mer välisolerade konstruktioner där köldbryggor eliminerats har en högre risk för att drabbas av fukt och mögelrelaterade skador i konstruktionens utsida.

I fallet med råspont och träfiberskiva så är detta helt homogena skikt som inte nämnvärt påverkas, varken positivt eller negativt, av de köldbryggor som eventuella genomgående reglar ger upphov till. Avsaknaden av köldbryggor ger i sin tur en lägre temperatur och med detta en högre RF och således större risk för mögelpåväxt. Notera att den något högre RF_{krit} som erhålls vid lägre temperaturer är försumbar i jämförelse med den högre RF som skapas genom en temperatursänkning.

RF position A i ett parallelltak riktat mot norr och mot söder



Figur 10. RF jämfört med RF_{krit} i position A i parallelltak riktat mot norr och mot söder. RF i position A i parallelltak mot norr (turkos) och mot söder (svart), RF över RF_{krit} beroende av temperaturen i position A i parallelltaket riktat mot norr (röd), temperatur i position A i parallelltak mot norr (gul) och mot söder (mörkblå), RF över RF_{krit} i position A i parallelltaket mot norr (brun) och mot söder (lila).

6.1.2 Analys – Påverkan av takriktning mot olika vädersträck

Resultaten i Figur 10 visar att taket riktat mot söder har färre, kortare och mindre perioder med risk för mögelpåväxt. Risken för skador i ett parallelltak riktat mot söder är således något lägre jämfört med risken för skador i ett parallelltak riktat mot norr. Av Figur 10 framgår också att det är den högre temperaturen, orsakad av solstrålning, som minskar risken för mögelpåväxt.

6.1.3 Slutsats – Påverkan av takriktning mot olika väderstreck

Tak som är orienterade mot norr eller är utsatta för omfattande skuggning av kringliggande vegetation eller andra byggnader har större risk för skador jämfört andra väderstreck. Nordorienterade tak blir således normalt sett dimensionerande i samband med fuktsäkerhetsprojektering.

6.2 Omgivande utomhusklimat/ olika orter

För att undersöka påverkan av yttre omgivande klimat på en takkonstruktion och skillnader på grund av olika yttre omgivande klimat redovisas beräkningar för grundfallets position A i Lund jämfört med resultat från position A i motsvarande takkonstruktion i Stockholm, Borlänge och Luleå.

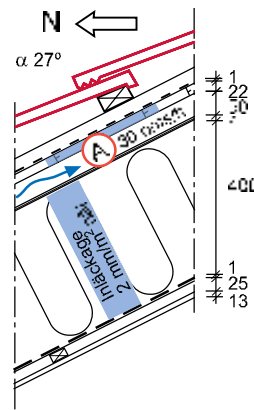
En analys över potentiella lokala faktorer som kan påverka en konstruktion är nödvändig i varje enskilt fall. Lokalt klimat samt omgivande topografi och vegetation kan ha stor betydelse för hur konstruktionen påverkas. En byggnad som ligger skyddad av omgivande vegetation eller topografi har normal bättre förutsättningar då omfattningen av till exempel vind, regn och slagregn begränsas. Å andra sidan kan hög omgivande vegetation och byggnader minska mängden solstrålning mot ett tak vilket normalt försämrar förhållandena.

Antal orter begränsas av tillgången på klimatdata. Val av orter avser att återspegla en spridning av olika klimat som finns i Sverige enligt nedan specificerat.



Figur 11. Lokalisering av studerade orter.

Luleå – Norra Sverige, kustklimat
 Borlänge – Norra Mellansverige, inlandsklimat
 Stockholm – Östra Mellansverige, kustklimat
 Lund – Södra Sverige, samma som utgångsfallet

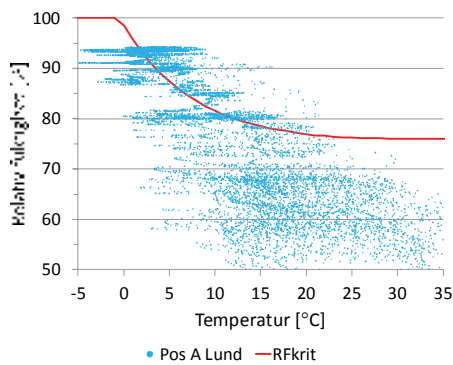


Figur 12. Studerad position, position A.

6.2.1 Resultat – Omgivande utomhusklimat/ olika orter

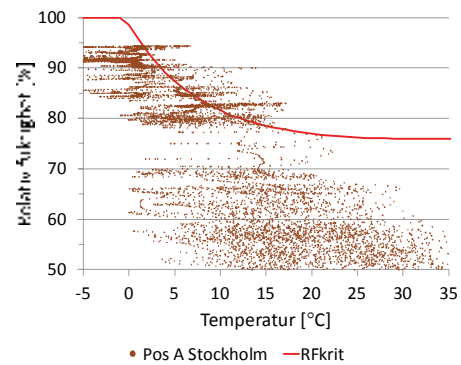
Samtliga resultat avser position A och är utförda för ett tak riktat mot norr i respektive stad.

Lund



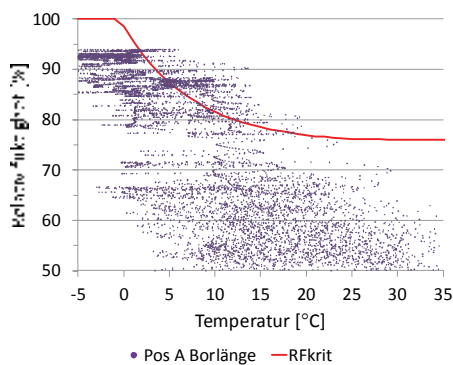
Figur 13. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Lund (turkos) och RF_{krit} (röd). Utgångsfallet.

Stockholm



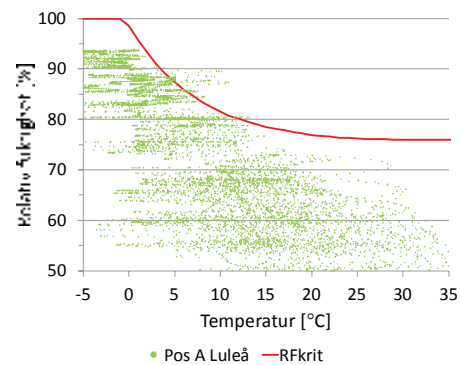
Figur 14. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Stockholm (brun) och RF_{krit} (röd).

Borlänge



Figur 15. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Borlänge (lila) och RF_{krit} (röd).

Luleå



Figur 16. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Luleå (grön) och RF_{krit} (röd).

6.2.2 Analys – Omgivande utomhusklimat/ olika orter

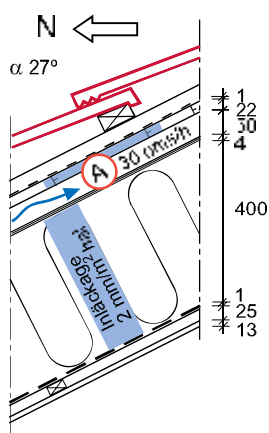
Utomhusklimatet för olika orter påverkar förhållandena i den fuktkritiska positionen A och RF i position A i studerat tak överskrider RF_{krit} på flera orter. Konstruktioner liknande den som studeras i utgångsfallet bör därför särskilt kontrolleras som en del av en fuktsäkerhetsprojektering och eventuellt förändras för att säkerställa att de inte drabbas av fukt- och mögelskador oavsett ort i Sverige. Vid jämförelse mellan Figurerna 13 till 16 framgår det att Lund är den stad där RF överskrider RF_{krit} i störst omfattning och därmed även högst risk för påväxt av mögel föreligger. Det bör dock påtalas att Figur 13 till 16 indikerar att det även finns en betydande risk för skador i takkonstruktioner lokaliserade i Stockholm och Borlänge samtidigt som en något lägre risk för skador tycks föreligga i Luleå.

6.2.3 Slutsats – Omgivande utomhusklimat/ olika orter

Förutsättningarna för att överskrida RF_{krit} i de yttre kritiska delarna av konstruktionen varierar mellan olika orter i Sverige. Detta i kombination med att även lokalt klimat samt topografi och vegetation kan ha betydelse för konstruktionens förutsättningar för att inte skadas gör att en specifik analys är nödvändig för varje enskilt fall. Resultaten i Figur 13 till 16 indikerar att risken för fukt och mögelrelaterade skador är något lägre i norra Sverige och i stort sett likvärdig för landets mellersta och södra delar med en något högre risk i Skåne.

6.3 Jämförelse mellan beräkning med av SMHI uppmätt klimat och WUFI:s befintliga klimatfiler

WUFI:s klimatfiler utgörs av ett normalår utan extremvärden enligt tidigare redovisat. Fastställande av dimensionerande klimat för respektive konstruktion ska göras vid beräkningar inom ramen för fuktsäkerhetsprojekteringar (BBR). I samband med fuktsäkerhetsprojekteringen kan även tidigare uppmätt klimat för den aktuella orten användas i syfte att få mer rättvisande förutsättningar. Uppmätt klimat kan bland annat erhållas från SMHI för en rad olika orter i Sverige. Oavsett om verkligt klimat eller WUFI:s befintliga klimatfiler används så bör extra fuktlaster läggas till klimatet i respektive beräkningsmodell vid dimensionerande beräkningar. De extra fuktlaster storlek bör fastställas från fall till fall beroende på den nya byggnadens omgivande förutsättningar.



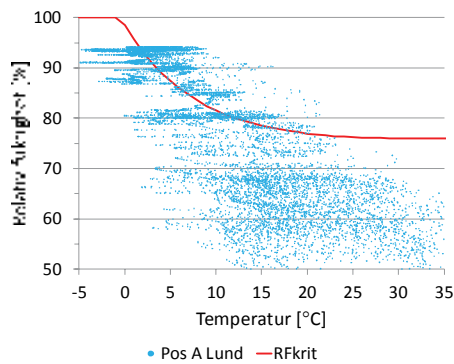
Figur 17. Studerad position, position A, med klimatdata för olika städer.

6.3.1 Resultat – RF med uppmätt klimat från SMHI jämfört med RF från befintliga klimatfiler i WUFI

Nedan visas beräknad RF i position A för utgångsfallet med WUFI:s befintliga klimat, samma som redovisats i föregående kapitel i Figur 13 till 16, och motsvarande beräkning för RF i position A med

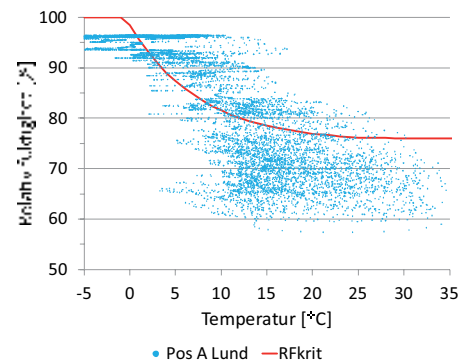
SMHI uppmätt klimat för året 1998. Valet av år 1998 beror på att tillgången av tillräckligt komplett klimatdata från SMHI är bra under detta år.

Lund – befintligt klimat från WUFI



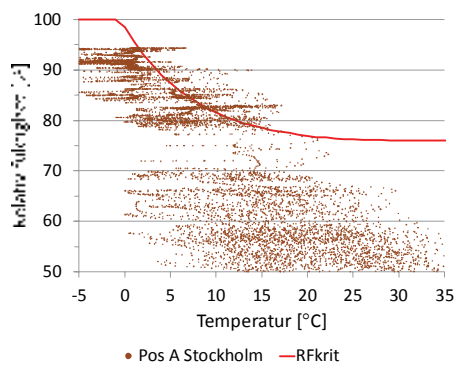
Figur 18. Beräknad RF i position A med WUFI:s klimatfil för Lund (turkos) och RF_{krit} (röd). Utgångsfallet.

Lund – SMHI uppmätt klimat



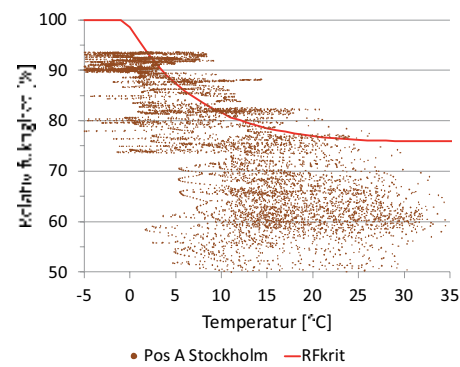
Figur 19. Beräknad RF i position A med SMHI uppmätt klimat för Lund år 1998 (turkos) och RF_{krit} (röd).

Stockholm – befintligt klimat från WUFI



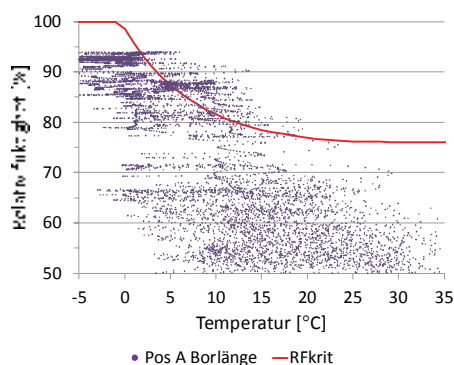
Figur 20. Beräknad RF i position A med WUFI:s klimatfil för Stockholm (brun) och RF_{krit} (röd).

Stockholm – SMHI uppmätt klimat



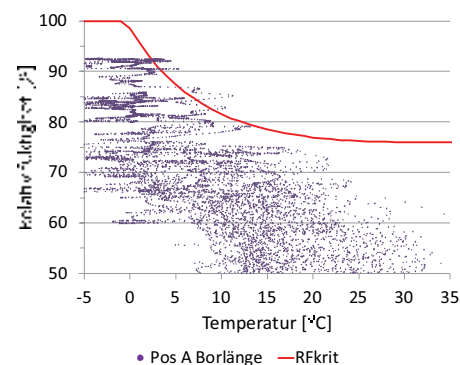
Figur 21. Beräknad RF i position A med SMHI uppmätt klimat för Stockholm år 1998 (brun) samt RF_{krit} (röd).

Borlänge – befintligt klimat från WUFI



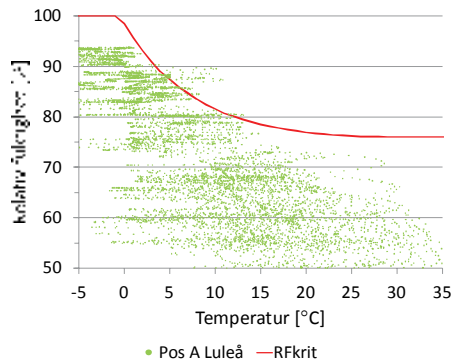
Figur 22. Beräknad RF i position A med WUFI:s klimatfil för Borlänge (lila) och RF_{krit} (röd).

Borlänge – SMHI uppmätt klimat



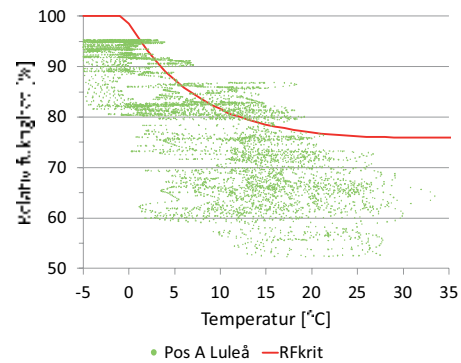
Figur 23. Beräknad RF i position A med SMHI uppmätt klimat för Borlänge år 1998 (lila) och RF_{krit} (röd).

Luleå – befintligt klimat från WUFI



Figur 24. Beräknad RF i position A med WUFI:s befintliga klimatfil för Luleå (grön) och RF_{krit} (röd).

Luleå – SMHI uppmätt klimat



Figur 25. Beräknad RF i Position A med SMHI uppmätt klimat för Luleå år 1998 (grön) och RF_{krit} (röd).

6.3.2 Analys – RF med uppmätt klimat från SMHI jämfört med RF från befintliga klimatfiler i WUFI

RF i position A överskrider RF_{krit} i större omfattning för beräkning utförd med SMHI uppmätt klimat från 1998 jämfört med WUFI:s befintliga klimatfiler för Lund, Stockholm och Luleå. För Borlänge är förhållandet det omvända.

Vid jämförelse mellan beräkningar med WUFI:s befintliga klimatfiler och verkligt klimat framgår att variationer i utomhusklimatet har stor påverkan på förhållandena i den mest fuktkritiska positionen. Detta stämmer överens med tidigare studier vilka också indikerar att variationer i utomhusklimatet har stor påverkan på de mest fuktkritiska positionerna långt ut i klimatskalet (Mundt-Petersen 2013b; 2015).

Jämförelse mellan Figurerna 18 till 25 visar också att beräkningar med WUFI:s befintliga klimatfiler generellt ger en jämförelsevis låg RF i kritiska positioner jämfört med det av SMHI uppmätta klimatet för 1998. Det bör beaktas att skador normalt inträffar under år med som störst kritiskt klimat. Vid alla former av dimensionerande studier bör därför extra fuktlaster användas vid beräkning av fuktkritiska tillstånd i konstruktionen för att skapa ett tillräckligt kritiskt klimat jämfört WUFI:s klimatfilers medelvärdesklimat för att säkerställa att skador inte uppstår. Storleken på de extra lasterna beror av rådande omgivande förhållanden i det specifika fallet.

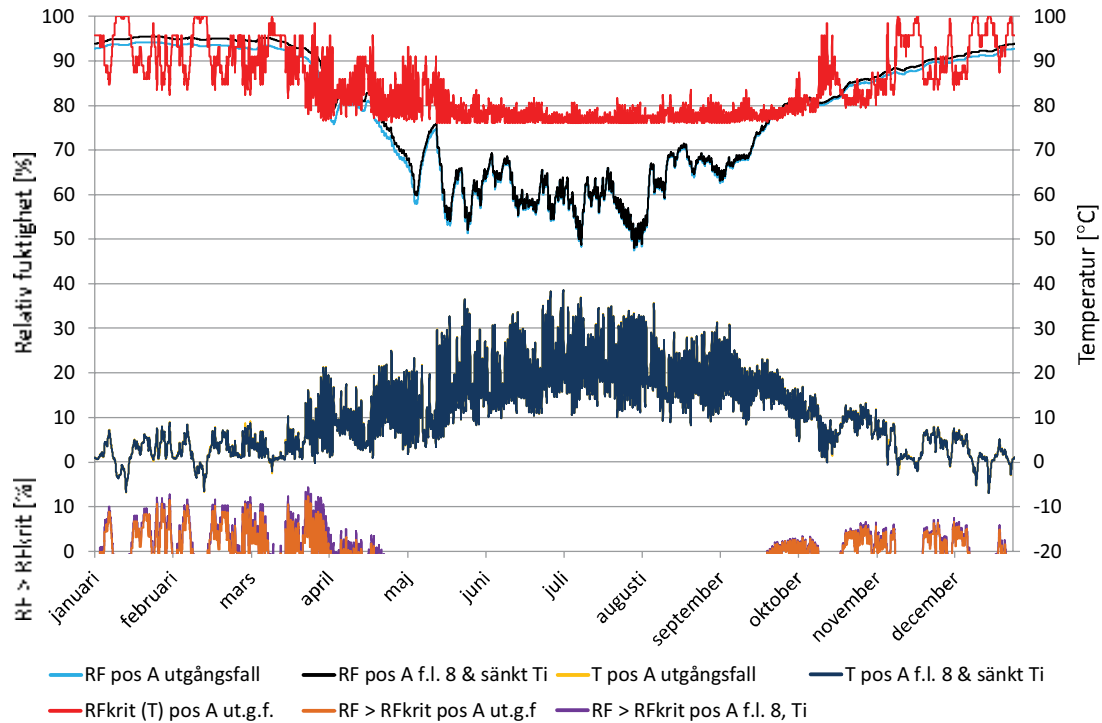
Jämförelse mellan Figur 22 och 23 för Borlänge visar att även mindre kritiska år jämfört WUFI:s medelvärdesklimat förekommer.

6.3.3 Slutsats – RF med uppmätt klimat från SMHI jämfört med RF från befintliga klimatfiler i WUFI

Beräkningar med WUFI:s befintliga klimatfiler ger generellt en lägre RF i kritiska positioner jämfört med det av SMHI uppmätta klimatet för 1998. Även om 1998 inte nödvändigtvis är ett dimensionerande år så visar skillnaderna att extra fuktlaster eller andra säkerhetsmarginaler måste användas vid dimensionerandeberäkningar av fuktkritiska tillstånd i konstruktionen för att säkerställa att skador inte uppstår.

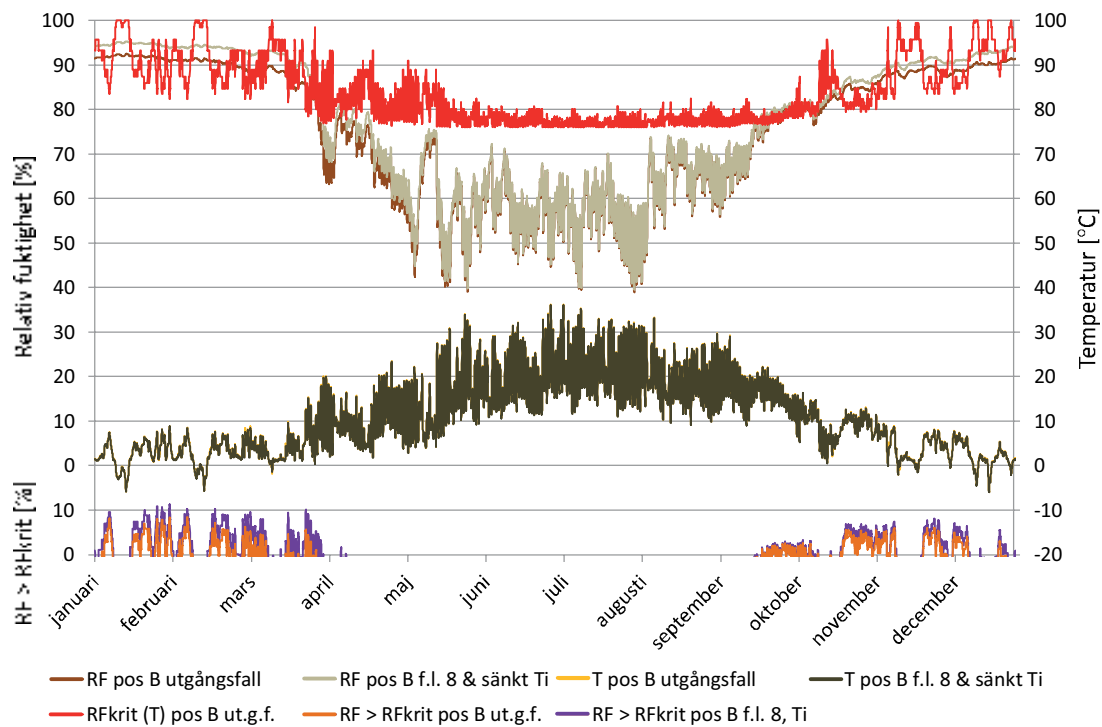
Inga positioner på insidan av ångspärren studeras. Erfarenheter från tidigare parameterstudier visar att fuktlaster motsvarande fuktclass 4 och en inomhustemperatur på 18 °C kan ge upphov till skador på den inre beklädnaden och i eventuella installationskikt innanför ångspärren (Hägerstedt 2012).

Position A – Ökad fuktlast och sänkt temperatur inomhus



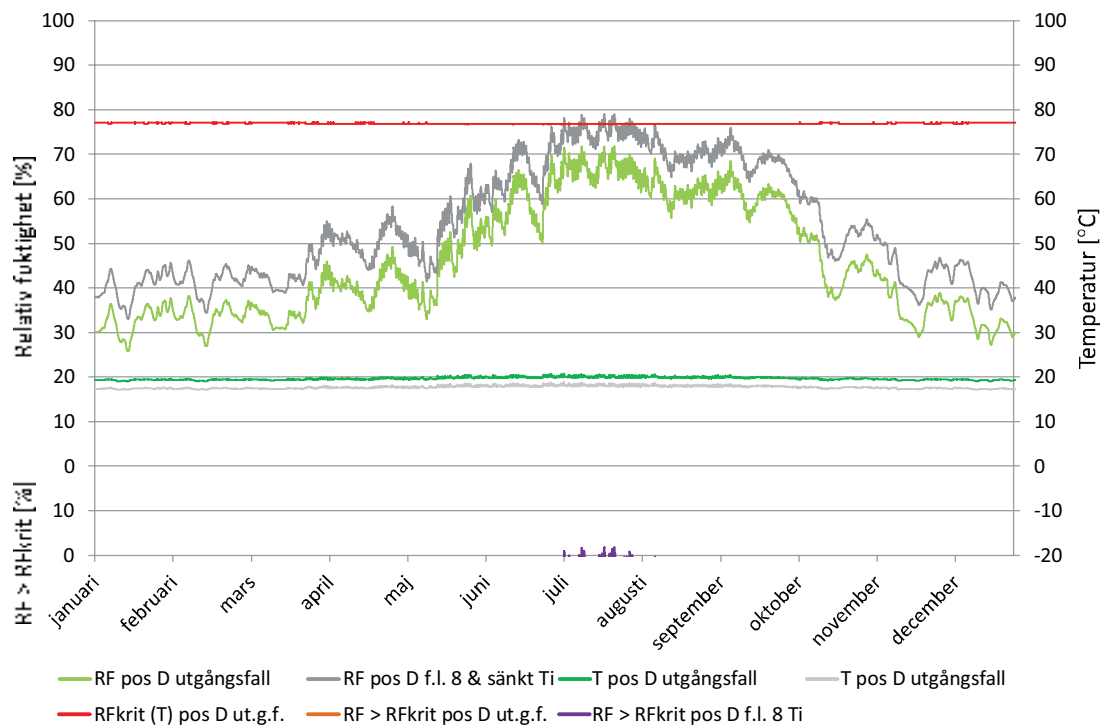
Figur 29. RF i position A för utgångsfallet jämfört med inneklimatet 18 °C och fuktclass 4, $v_{ft,max}$ 8 g/m³. RF för utgångsfallet (turkos) och nytt inneklimat (svart), RF_{krit} beroende av T för utgångsfallet (röd), T för utgångsfallet (gul) och nytt inneklimat (mörkblå), RF över RF_{krit} utgångsfallet (brun) och nytt inneklimat (lila).

Position B – Ökad fuktlast och sänkt temperatur inomhus



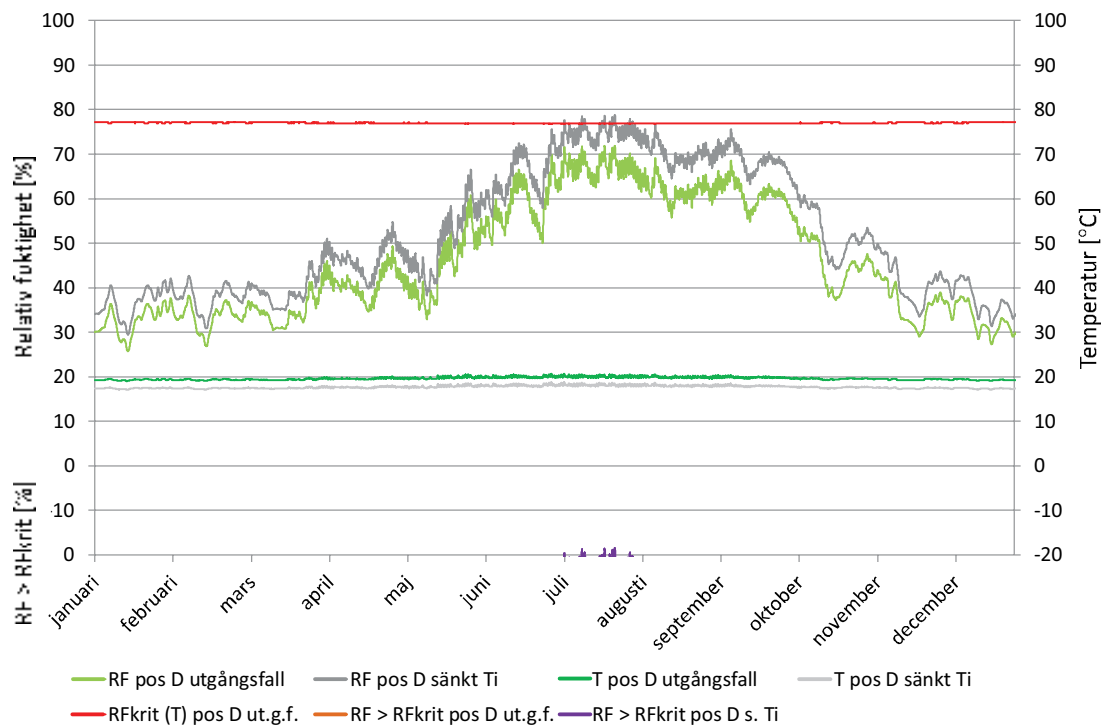
Figur 30. RF i position B för utgångsfallet jämfört med inneklimatet 18 °C och fuktclass 4, $v_{ft\ max} 8\ g/m^3$. RF för utgångsfallet (mörkbrun) och nytt inneklimat (ljusgrå), RF_{krit} beroende av T för utgångsfallet (röd), T för utgångsfallet (gul) och nytt inneklimat (mörkgrön), RF över RF_{krit} utgångsfallet (brun) och nytt inneklimat (lila).

Position D – Ökad fuktlast och sänkt temperatur inomhus



Figur 31. RF i position D för utgångsfallet jämfört med inneklimatet 18 °C och fuktclass 4, $v_{ft\ max} 8\ g/m^3$. RF för utgångsfallet (ljusgrön) och nytt inneklimat (mörkgrå), RF_{krit} beroende av T för utgångsfallet (röd), T för utgångsfallet (grön) och nytt inneklimat (ljusgrå), RF över RF_{krit} utgångsfallet (brun) och nytt inneklimat (lila).

Position D – Endast sänkt inomhustemperatur



Figur 32. RF i position D för utgångsfallet jämfört med endast sänkt inomhustemperatur till 18 °C. RF för utgångsfallet (ljusgrön) och nytt inneklimat (mörkgrå), RF_{krit} beroende av T för utgångsfallet (röd), T för utgångsfallet (grön) och nytt inneklimat (ljusgrå), RF över RF_{krit} utgångsfallet (brun) och nytt inneklimat (lila).

6.4.2 Analys – Omgivande inomhusklimat

För tydlighetens skull bör det poängteras att samtliga beräkningar enligt ovan baseras på inläckaget som anges i grundfallet sker i hål motsvarande 2 mm/m^2 in i takkonstruktionen från byggnadens insida. Hålets storlek förändras således inte däremot ökas fuktmängden som läcker in genom det 2 mm/m^2 stora hålet.

Den ökade fuktlasten inomhus ger upphov till en något högre RF, och sämre förhållanden, på insidan av råsponten i position A under årets kallare perioder. Eftersom positionen är lokaliserad långt ut i konstruktionen är temperaturen, som förväntat, den samma i denna position för de jämförda fallen och har därför ingen större påverkan på RF. Det är således det ökade fuktflödet som ökar RF några procent under de kallare delarna av året i position A. Orsaken till att RF inte är högre även under sommaren är att fukttillskottet reduceras med ökad utomhustemperatur enligt standard EN 13788 (EN 13788 2001). Detta innebär att det blir mindre mängd fukt som läcker in på vinden under sommaren jämfört vintertid, se Figur 26 och 27.

Insidan på träfiberskivan i position B visar på samma sätt som position A också på en förhöjd RF under årets kallare perioder utan att någon större förändring i temperatur sker jämfört med utgångsfallet. Orsakerna till skillnaderna mellan RF för utgångsfallet och med ett förändrat inomhusklimat är också de samma. Ökningen av RF i position B på insidan av råsponten är dock högre jämfört med ökningen av RF i position A, jämför skillnaden i högre RF från utgångsfallet till fallet med ökad fuktlast och sänkt inomhustemperatur i Figur 29 och 30. Orsaken är träfiberskivan som är mer diffusionstät jämfört med mineralullen och därför bromsar fuktflödet och buffrar upp fukt på sin insida i position B.

Av Figur 31 och 32 framgår att försämrade förhållanden sker över hela året i position D. Till skillnad från förhållandena långt ut i konstruktionen framgår att de mest kritiska perioderna inträffar under sommaren. Jämförelse mellan Figur 31 och 32 visar att respektive RF kurvor stämmer överens sommartid. Detta innebär att det är den lägre temperaturen, och inte ökade fuktförhållanden inomhus och i inläckande luft, som orsakar de försämrade förhållandena sommartid. Detta stämmer överens med förutsättningarna enligt standard EN 13788 (EN 13788 2001) vilka kraftigt reducerar fukttillskottet vid varmt utomhusklimat. Även om det knappt uppstår någon risk för skador på utsidan av ångspärren i position D långt in i konstruktionen, så bör det beaktas att det föreligger en risk med att sänka inomhustemperaturen ytterligare eftersom detta kommer göra att RF överskrider RF_{krit} . Riskerna med låga inomhustemperaturer har även noterats vid mätningar på motsvarande positioner av Mundt-Petersen (2013c; 2015).

6.4.3 Slutsats – Omgivande inomhusklimat

Under förutsättning att hålarean från insidan är 2 mm/m^2 kan det fastställas att ett ökat fukttillskott inomhus ökar risken för skador något i positioner långt ut i takkonstruktionen. Risken för skador ökar som mest på insidan av tätare skikt som finns långt ut i konstruktionen, till exempel träfiberskivor som finns i syfte att skapa en ventilerande luftspalt på insidan av råsponten.

En lägre inomhustemperatur ökar främst risken för skador långt in i konstruktionen under sommaren. En lägre inomhustemperatur under $18 \text{ }^\circ\text{C}$ under årets varmare perioder kan ge upphov till förutsättningar för påväxt av mögel långt in i takkonstruktionen, på utsidan av ångspärren. Inomhustemperaturen bör därför inte vara lägre än $18 \text{ }^\circ\text{C}$. Tidigare studier visar även att risk för skador föreligger på insidan av ångspärren vid låga inomhustemperaturer (Hägerstedt 2012).

7 Parameterstudie – Förändringar av yttertak

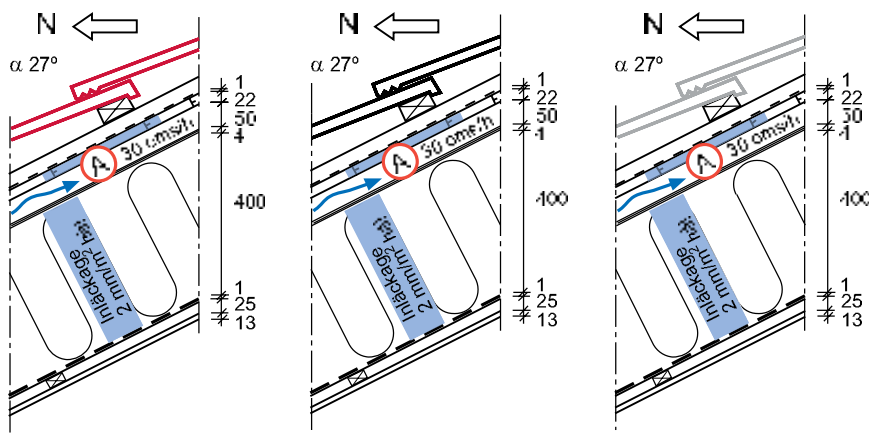
Nedan redovisas konsekvenserna av en rad olika förändringar i yttertak. Med yttertak avses allt som är utanför råsponen. Förändringarna redovisas huvudsakligen för klimatförhållanden för Lund och i några fall även för de tidigare studerade städerna Stockholm och Luleå.

Den mest fuktkritiska positionen, position A, på insidan av råsponen är den position som bedöms påverkas mest i sammanhanget då den ligger längst ut i konstruktionen och således är den som rimligtvis bör påverkas i störst utsträckning av olika förändringar i yttertaks konstruktionen.

7.1 Olika kulör på takpannor

Den yttre takbeläggnings kulör och ytegenskaper påverkar strålningsförhållandena för taket och därmed även temperaturen inne i takkonstruktionen. Då temperaturen är en av de två mest betydande faktorerna för vilken relativ fuktighet som råder, se ekvation 1, har således takbeläggnings kulör och ytegenskaper betydelse för fuktförhållandena inne i takkonstruktionen. Nedan redovisas påverkan av olika utvändiga kulörer på takteglet för förhållandena på insidan av råsponen, position A, inne i takkonstruktionen.

Utgångsfallet har röda tegelpannor med ett absorptionstal för kortvågig strålning mot utvändig yta på 0,68. Utgångsfallet med röda tegelpannor jämförs initialt med ett fall med svarta tegelpannor med absorptionstal 0,91. Därefter jämförs utgångsfallet med vita glaserade pannor vilka har ett absorptionstal för kortvågig strålning på 0,26. Jämförelsen görs för de tre städerna Lund, Stockholm och Luleå. Alla jämförelser görs mot utgångsfallet med rött tegel för respektive stad.

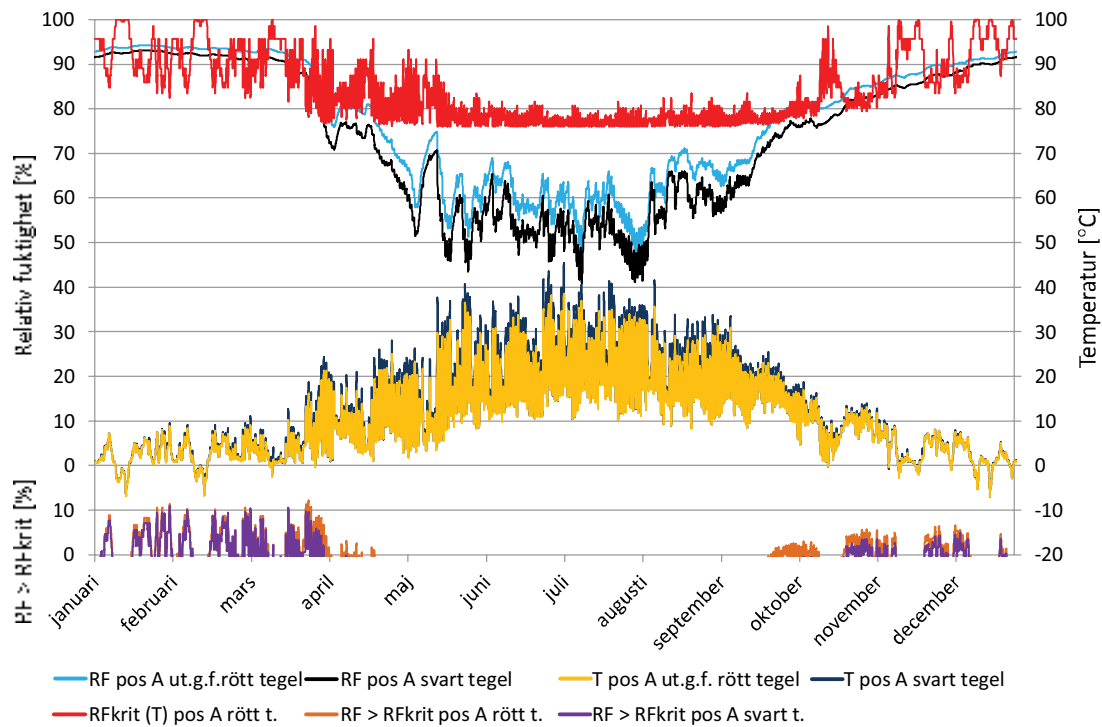


Figur 33. Studerad position A med de olika kulörerna, rött, svart och vitt, på takpannor.

7.1.1 Resultat – Olika kulör på takpannor

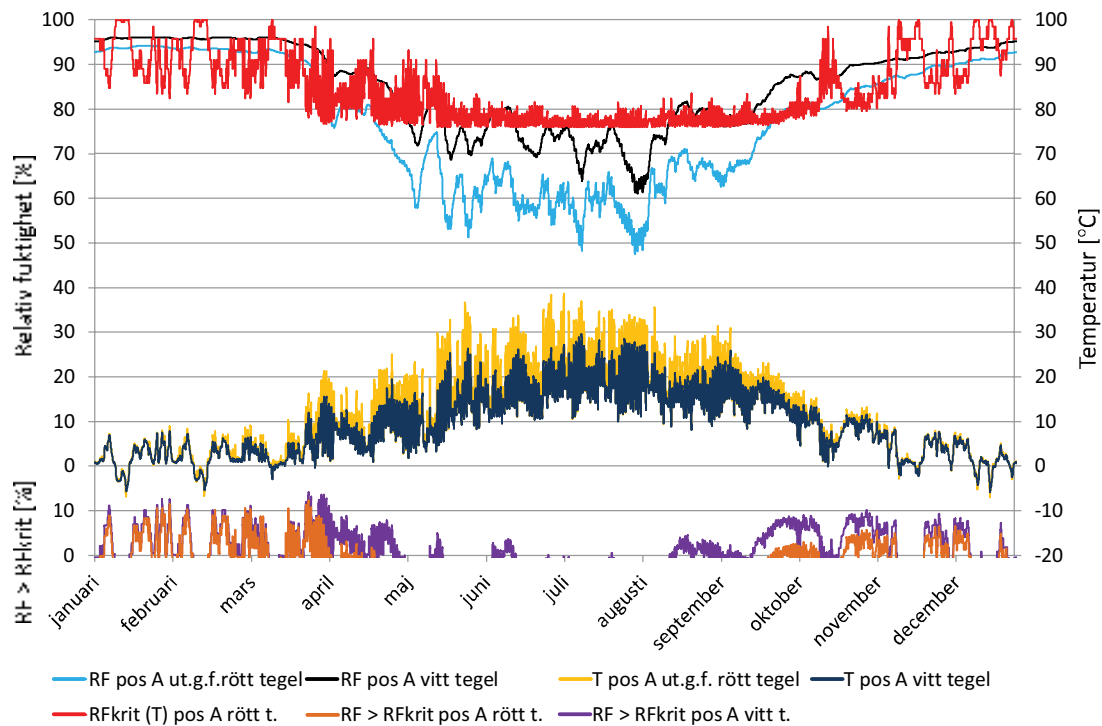
I Figur 34 till 39 redovisas beräkningar för ett svart tak jämför med utgångsfallets röda takpannor samt ett vitt tak jämfört utgångsfallets röda takpannor för de tre olika städerna Lund, Stockholm och Luleå.

Lund med rött och svart tegel - Position A



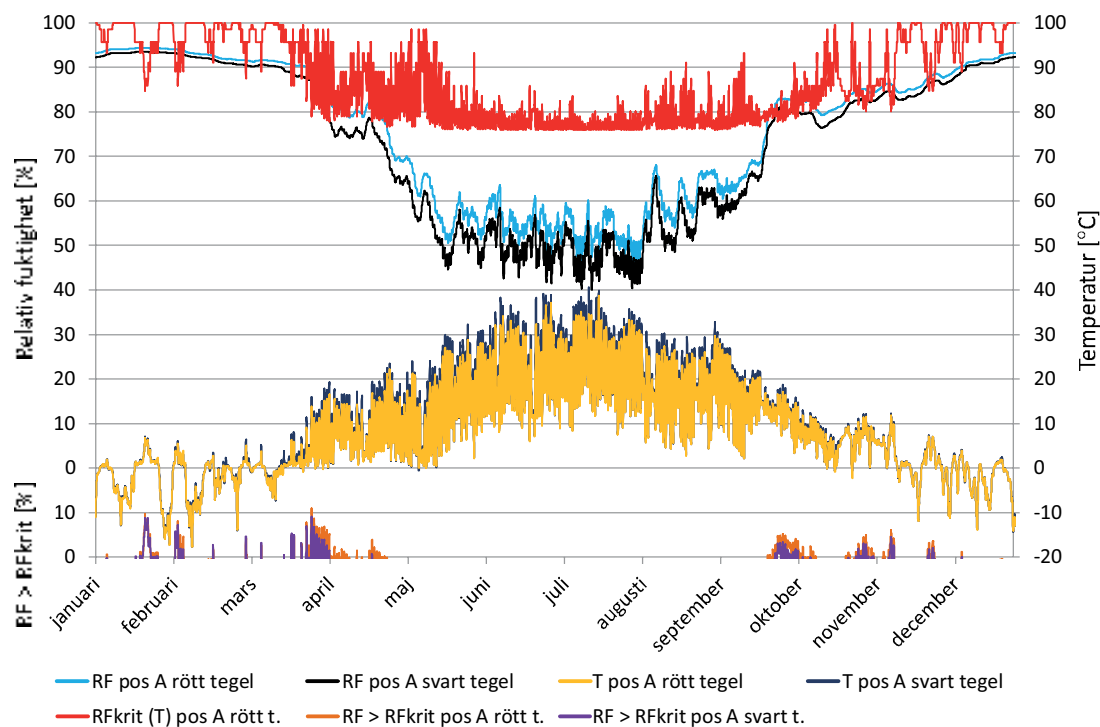
Figur 34. RF i position A för utgångsfallet med röda tegelpannor jämfört med svart tegel. RF för utgångsfallet (turkos) och svart tegel (svart), RF_{krit} beroende av temperatur utgångsfallet (röd), temperatur utgångsfallet (gul) och svart tegel (mörkblå), RF över RF_{krit} utgångsfallet (brun) och svart tegel (lila).

Lund med rött och vitt tegel - Position A



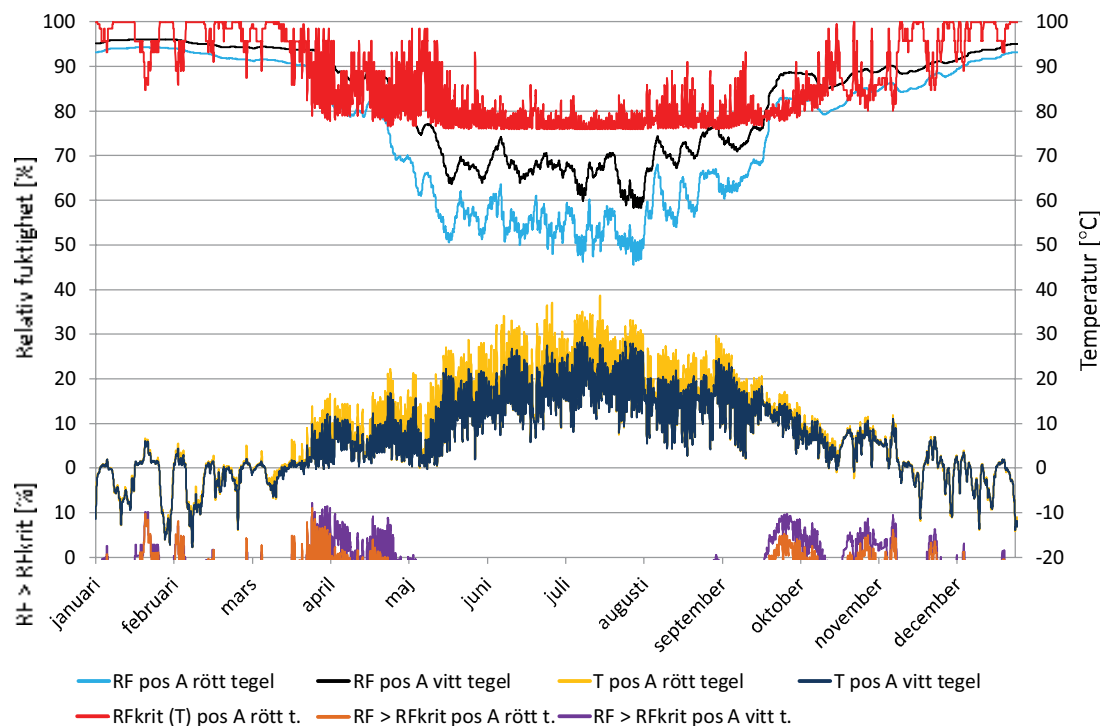
Figur 35. RF i position A för utgångsfallet med röda tegelpannor jämfört med vitt tegel. RF för utgångsfallet (turkos) och vitt tegel (svart), RF_{krit} beroende av temperatur utgångsfallet (röd), temperatur utgångsfallet (gul) och vitt tegel (mörkblå), RF över RF_{krit} utgångsfallet (brun) och vitt tegel (lila).

Stockholm med rött och svart tegel – Position A



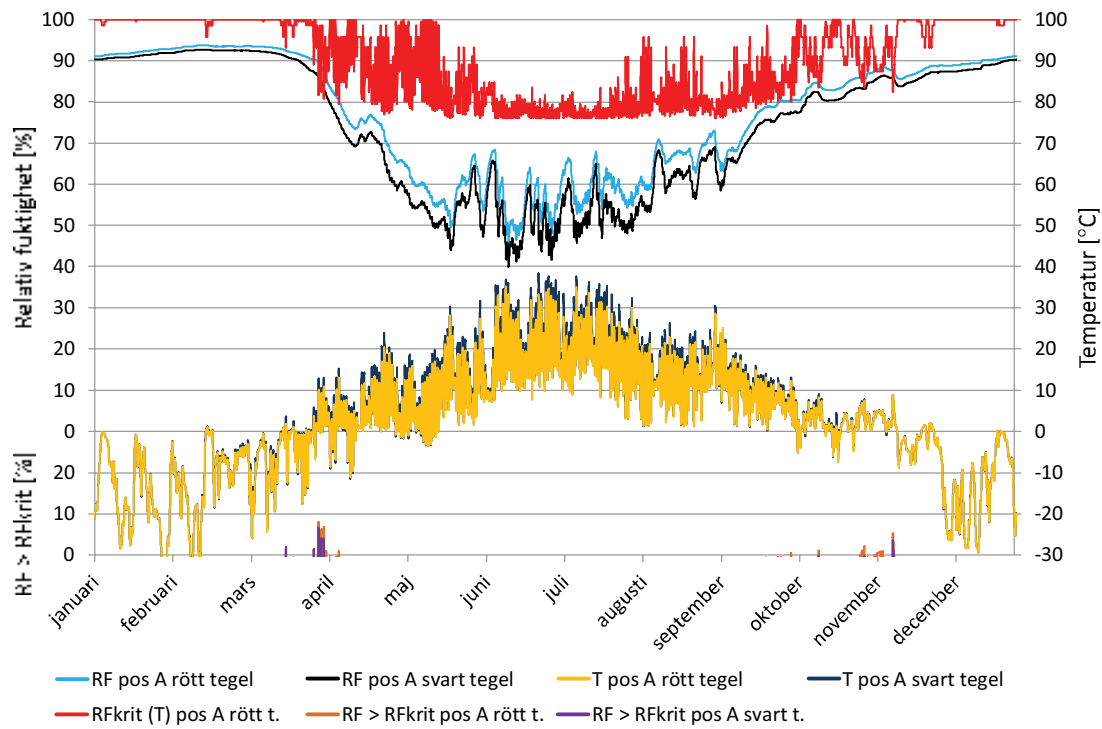
Figur 36. RF i position A för utgångsfallet med röda tegelpannor jämfört med svart tegel. RF för utgångsfallet (turkos) och svart tegel (svart), RF_{krit} beroende av temperatur utgångsfallet (röd), temperatur utgångsfallet (gul) och svart tegel (mörkblå), RF över RF_{krit} utgångsfallet (brun) och svart tegel (lila).

Stockholm med rött och vitt tegel – Position A



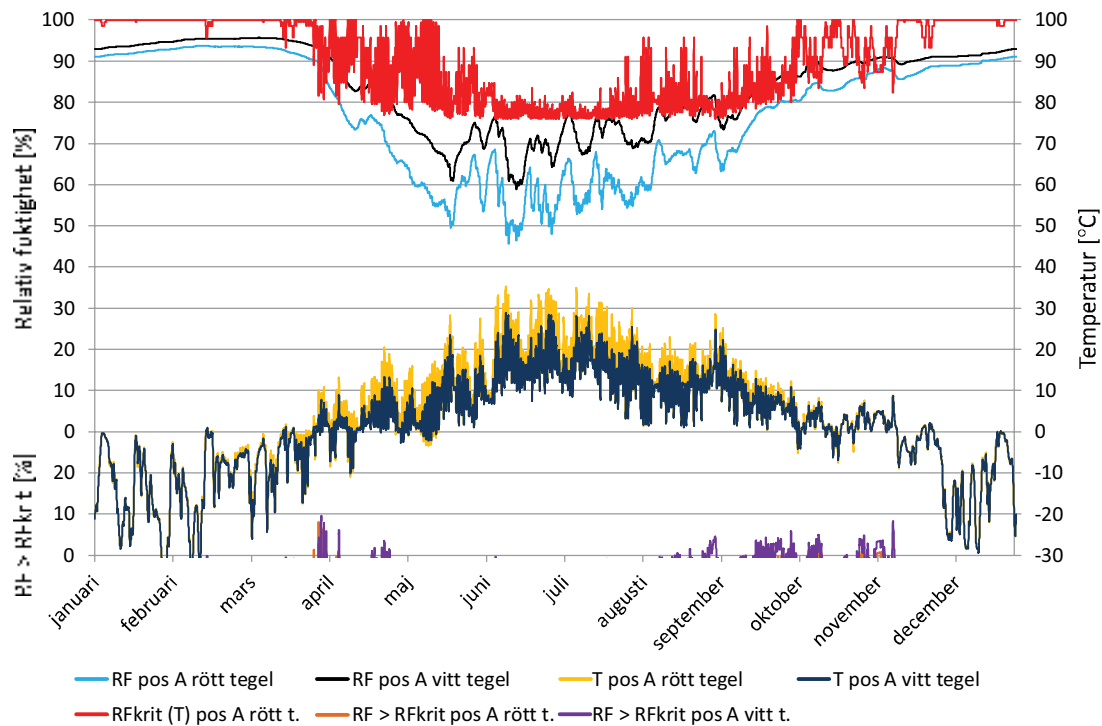
Figur 37. RF i position A för utgångsfallet med röda tegelpannor jämfört med vitt tegel. RF för utgångsfallet (turkos) och vitt tegel (svart), RF_{krit} beroende av temperatur utgångsfallet (röd), temperatur utgångsfallet (gul) och vitt tegel (mörkblå), RF över RF_{krit} utgångsfallet (brun) och vitt tegel (lila).

Luleå med rött och svart tegel – Position A



Figur 38. RF i position A för utgångsfallet med röda tegelpannor jämfört med svart tegel. RF för utgångsfallet (turkos) och svart tegel (svart), RF_{krit} beroende av temperatur utgångsfallet (röd), temperatur utgångsfallet (gul) och svart tegel (mörkblå), RF över RF_{krit} utgångsfallet (brun) och svart tegel (lila).

Luleå med rött och vitt tegel – Position A



Figur 39. RF i position A för utgångsfallet med röda tegelpannor jämfört med vitt tegel. RF för utgångsfallet (turkos) och vitt tegel (svart), RF_{krit} beroende av temperatur utgångsfallet (röd), temperatur utgångsfallet (gul) och vitt tegel (mörkblå), RF över RF_{krit} utgångsfallet (brun) och vitt tegel (lila).

7.1.2 Analys – Olika kulör på takpannor

Av resultaten i Figur 34 till 39 framgår att mörka takmaterial är bättre jämfört med ljusa glasiga material ur ett fukttekniskt perspektiv. Desto mörkare ytan är desto mer solstrålning absorberar den, vilket i sin tur höjer temperaturen inne i konstruktionen. Den högre temperaturen inne i konstruktionen reducerar i sin tur den relativa fuktigheten.

Ljusa ytor absorberar mindre solstrålning vilket leder till en lägre temperatur och följaktligen en högre relativ fuktighet. I beräkningarna har emissionstalet för långvågig strålning varit det samma för samtliga fall, såväl det svarta, som röda och vita taket. Eventuell glansighet och dess påverkan på den långvågiga nattutstrålningen har således inte beaktats. I ett verkligt sammanhang är det inte heller rimligt att beakta eventuell glansighet då den yttre takbeläggningen mer eller mindre omedelbart kommer träffas av partiklar varvid glansigheten reduceras. I sammanhanget är det också rimligt att ifrågasätta hur länge vita eller ljus tak kommer att förbli vita mot bakgrund av smuts eller annan beläggning som fastnar ovanpå takmaterialet. För att göra situationen än mer komplex i ett tillämpat perspektiv så kan takkulören under vissa delar av året vara ljus om taket är belagt med snö. Samtidigt kan snö även ha en isolerande förmåga. Inverkan av snö som ligger på tak under delar av året kan inte beaktas i nuvarande versioner av använd programvara.

Jämförelse mellan resultatet för de olika orterna framgår att förbättringen med en svart takkulör och försämringen med en ljusare takkulör är ungefär de samma oavsett var i landet studerat tak uppförs.

Kulören på takbeklädnadsmaterialet har uppenbarligen påverkan på fuktförhållandena inne i konstruktionen. Skillnaderna mellan de olika takkulörerna är så pass stor att takets kulör bör beaktas i beräkningar i fuktsäkerhetsprojekteringen. Det kan dock diskuteras till vilken grad detta ska beaktas i tillämpade fall med avseende på förändringar av takbeklädnadsmaterial som kan utföras av byggnadens kommande ägare. Det vill säga, bör det beaktas i en riskanalys att taket kan få en ny färg om det läggs om? Det omfattande arbete som det innebär att lägga om taket, med en eventuell ny kulör som följd, är ett relativt stort arbete. Vidare utförs denna typ av arbeten normalt av fackfolk vilka bör ha kännedom om att en ändring till ljusare kulörer kan påverka förhållandena på underliggande vindsutrymmen negativt. Bedömningen är således att förändringar i takkulör inte bör beaktas med säkerhetsmarginal för ljusare kulörer. Detta ska inte förväxlas med möjligheten att måla om ett hus fasad, vilket tvärt emot förhållandena för tak bör beaktas som en enklare åtgärd och något som många gånger utförs av privatpersoner. Rörande kulör på fasad bör således detta beaktas med säkerhetsmarginal och beräkningar utföras för värsta fallet.

Det bör även kommenteras att det termiska klimatet på ovanvåningen kan påverkas av vald kulör på takbeklädnadsmaterialet. Hur stor denna påverkan är beror av takets isolertjocklek, värmekapacitet, ventilationsintensitet etc.

7.1.3 Slutsats – Olika kulör på takpannor

Mörka takmaterial är bättre jämfört med ljusare ur ett fuktsäkerhetsperspektiv då de genererar en högre temperatur med en lägre relativ fuktighet som följd inne i takkonstruktionen.

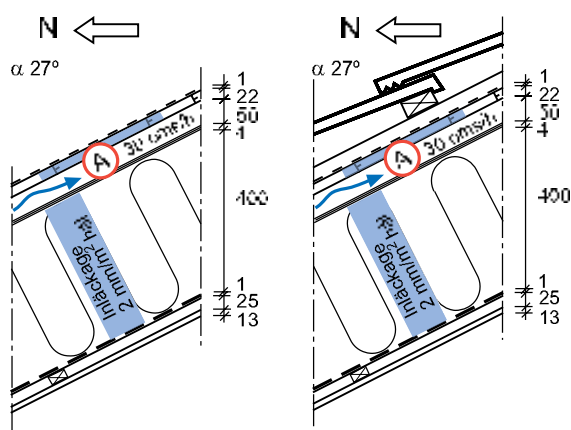
Val av kulör på yttertaket har så pass stor påverkan på fuktförhållandena inne i takkonstruktionen att det bör beaktas vid hygrotermiska fuktberäkningar. Samtidigt är förändringarna så pass begränsade mellan de olika kulörerna att det kan ifrågasättas om takkulören har någon större betydelse i praktiken.

Igen större skillnad i hur de olika takkulörerna påverkar klimatet och fuktförhållandena inne i takkonstruktionerna föreligger mellan de olika studerade orterna Lund, Stockholm och Luleå.

7.2 Olika takbelägningsmaterial – Takpapp eller tegelpannor

Val av takbelägningsmaterial kan påverka förutsättningarna i takkonstruktionen främst på grund av olika takmaterials värmekapacitet och förmåga att ventileras bort värme. Takpannor har en högre värmekapacitet och ventileras även på undersidan. Takpapp och plåttak har i förhållande till takpannor en låg värmekapacitet på grund av att de är tunnare än takpannorna. Under takpapp finns inte heller någon ventilerat utrymme, utöver den spalt som finns inne i parallelltakets eller utrymmet på kallvindens takkonstruktion. Normalt förekommer inte heller någon ventilerad spalt på läkt under plåten på plåttak. Nedan redovisas skillnaden mellan olika utvändiga takmaterial av tegel eller takpapp för förhållandena på insidan av råsponen, position A, inne i takkonstruktionen.

För att jämförelsen ska bli relevant har samma absorptionstal för långvågig strålning ansatts för både taket med takpannor och med takpapp. Eftersom takpapp vanligtvis förekommer i svart kulör har denna färg valts även på takpannorna vid jämförelsen i Figur 41 till 43 nedan. Vald absorptionstal för långvågig strålning är satt till 0,91 i beräkningsmodellen. Studerade fall som ett tak med svart takpapp samt ett tak med svarta takpannor redovisas i Figur 40 enligt nedan.



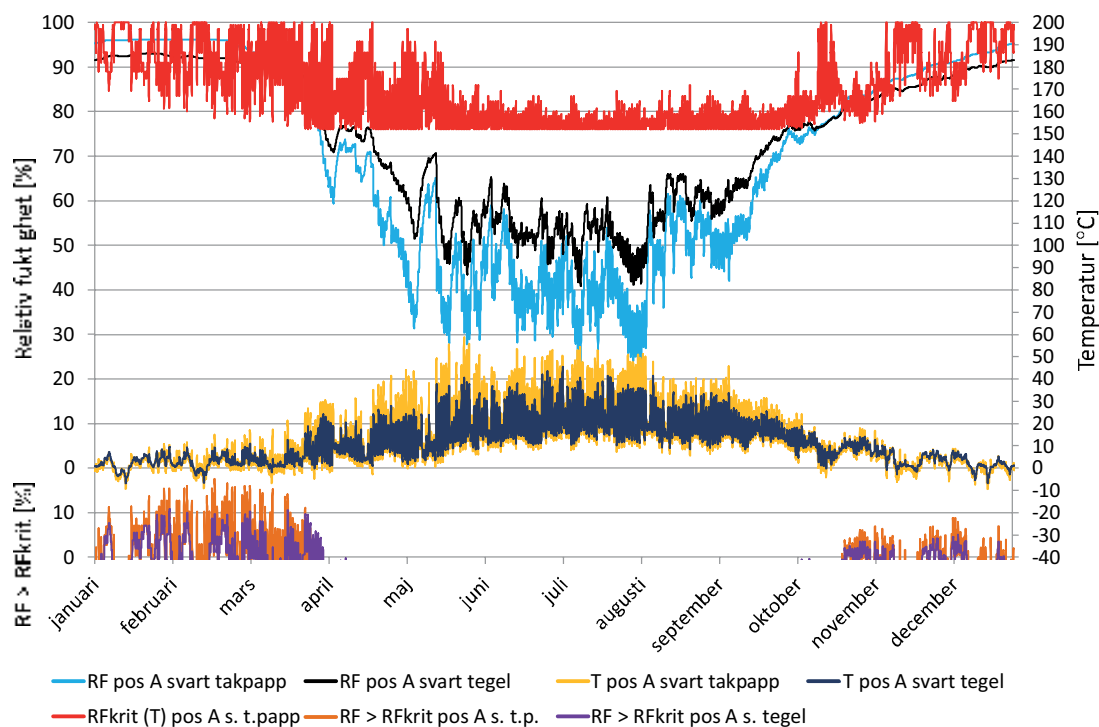
Figur 40. Studerad position A med svart takpapp och svarta tegelpannor.

Inga separata beräkningar har gjorts för plåttak. Resultaten för provberäkningar utanför denna rapport visar att papptak enligt nedan i stora drag stämmer överens med de resultat som erhålls för motsvarande beräkningar för ett plåttak. I sammanhanget bör dock beaktas att livslängden sannolikt skiljer sig åt mellan tak med plåt som yttersta takbelägningsmaterial jämfört tak med papp som yttersta takbelägningsmaterial.

7.2.1 Resultat – Olika takbelägningsmaterial – Takpapp eller tegelpannor

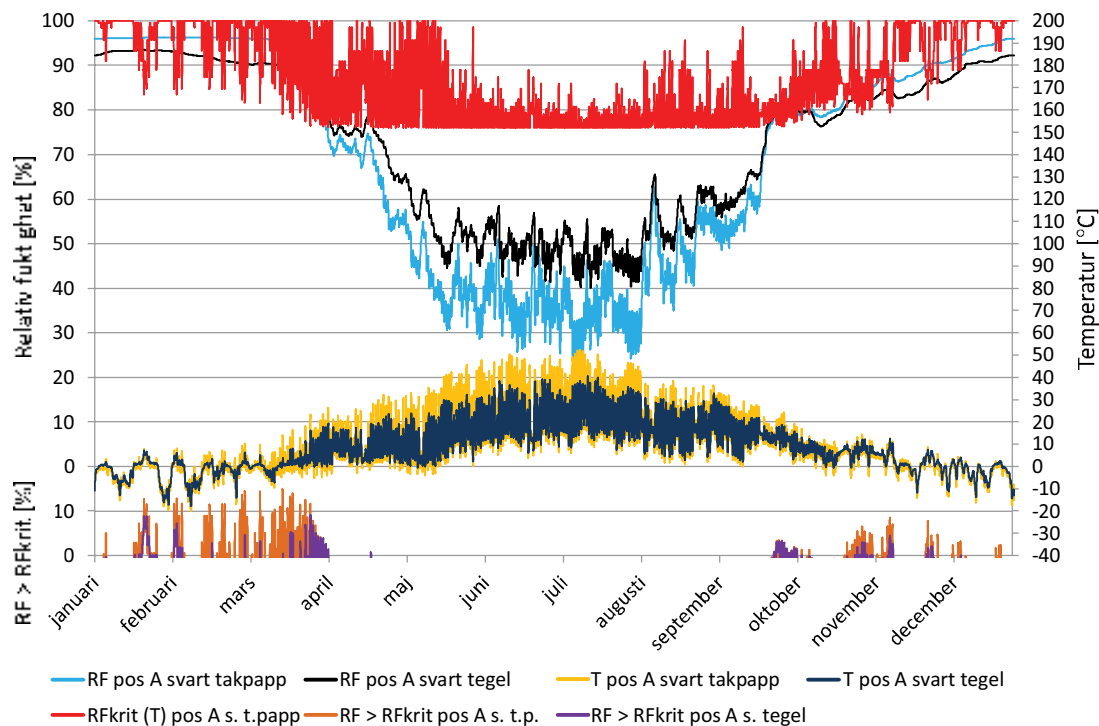
I Figur 41 till 43 redovisas resultat från beräkningar för ett svart tak med takpannor jämfört med ett svart papptak, se Figur 40, för de tre städerna Lund, Stockholm och Luleå. Båda taken har samma absorptionstal, 0,91, för långvågig strålning.

Lund med svart tegel och svart takpapp – Position A



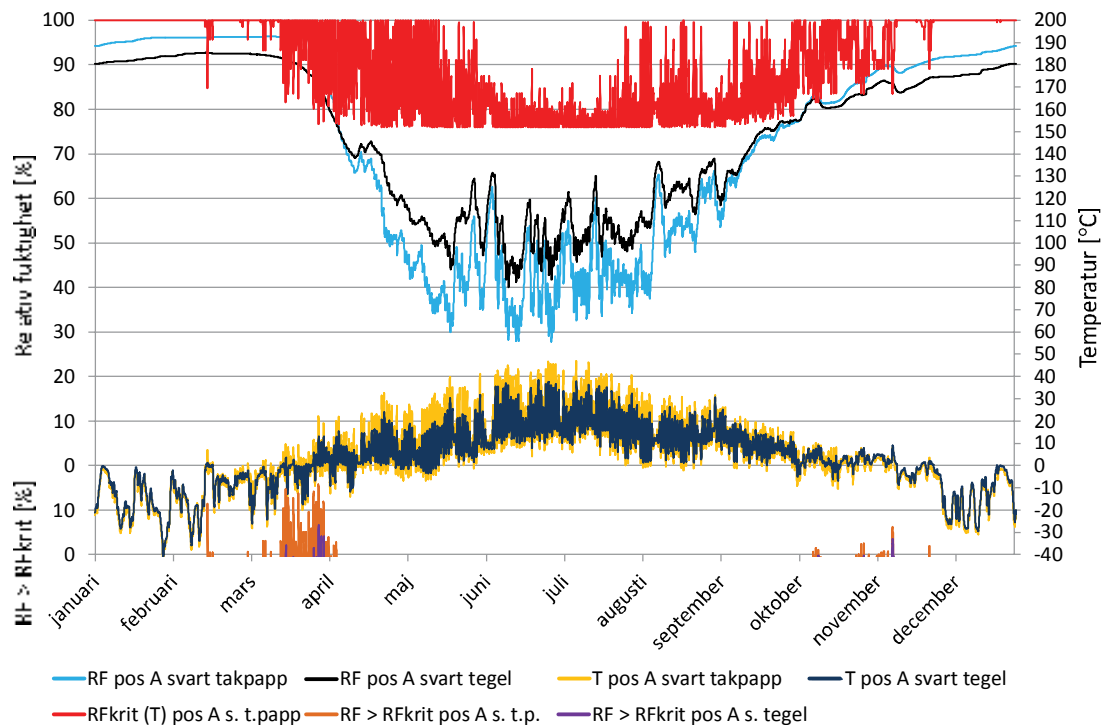
Figur 41. RF i position A för svarta tegelpannor jämfört med svart takpapp. RF för svart takpapp (turkos) och svart tegel (svart), RF_{krit} beroende av temperatur svart takpapp (röd), temperatur svart takpapp (gul) och svart tegel (mörkblå), RF över RF_{krit} svart takpapp (brun) och svart tegel (lila).

Stockholm med svart tegel och svart takpapp – Position A



Figur 42. RF i position A för svarta tegelpannor jämfört med svart takpapp. RF för svart takpapp (turkos) och svart tegel (svart), RF_{krit} beroende av temperatur svart takpapp (röd), temperatur svart takpapp (gul) och svart tegel (mörkblå), RF över RF_{krit} svart takpapp (brun) och svart tegel (lila).

Luleå med svart tegel och svart takpapp – Position A



Figur 43. RF i position A för svarta tegelpannor jämfört med svart takpapp. RF för svart takpapp (turkos) och svart tegel (svart), RF_{krit} beroende av temperatur svart takpapp (röd), temperatur svart takpapp (gul) och svart tegel (mörkblå), RF över RF_{krit} svart takpapp (brun) och svart tegel (lila).

7.2.2 Analys – Olika takbeläggingsmaterial – Takpapp eller tegelpannor

Takkonstruktioner med utvändiga tegelpannor uppvisar en lägre risk för fuktrelaterade skador jämfört med lättare takkonstruktioner såsom till exempel tak med endast utvändigt takpapp på råspont. Den bakomliggande orsaken beror av en något högre temperatur inne i takkonstruktionens yttre delar som i sin tur minskar den relativa fuktigheten under de perioder på senhösten, vintern och tidig vår då kritiska fuktillstånd normalt uppstår. Takpannorna reducerar främst mängden långvågig nattutstrålning vilken i sin tur höjer temperaturen något i position A i takkonstruktionens yttre delar. Vidare har tyngre tak med tegel eller betongpannor en större värmekapacitet som i sin tur jämnar ut och balanserar temperaturen på yttertaket i större utsträckning jämfört lättare takbeläggingsmaterial såsom takpapp och plåt. Även om spalten som skapas av bär- och ströläkt är kraftigt ventilerad så skapas i sammanhanget även ytterligare ytövergångsmotstånd jämfört ett lättare tak där den yttre takbeläggningen ligger direkt mot råsponten.

Lätta takkonstruktioner utan utvändiga takpannor visar en större amplitud i temperatur över dygnet. Notera detta särskilt då temperaturskalan på högra Y-axeln fått dubblas för att beräkningsresultaten ska få plats i diagrammen i Figur 41 till 43.

Jämförelse mellan de olika orterna visar att försämringen med ett lättare tak är likvärdig oavsett var i landet aktuell takkonstruktion är lokaliserad.

7.2.3 Slutsats – Olika takbeläggingsmaterial – Takpapp eller tegelpannor

Takkonstruktioner med en utvändigt tung takbeläggning av till exempel tegel visar på något bättre förhållanden för att inte drabbas av fukt- och mögelrelaterade skador jämfört lättare takbeläggningar såsom takpapp. Den något lägre risken för skador beror av att en något högre temperatur uppstår

inne i de tyngre takkonstruktionerna, under perioder då risk för påväxt av mögel föreligger, vilket i sin tur ger en lägre relativ fuktighet inne i takkonstruktionen.

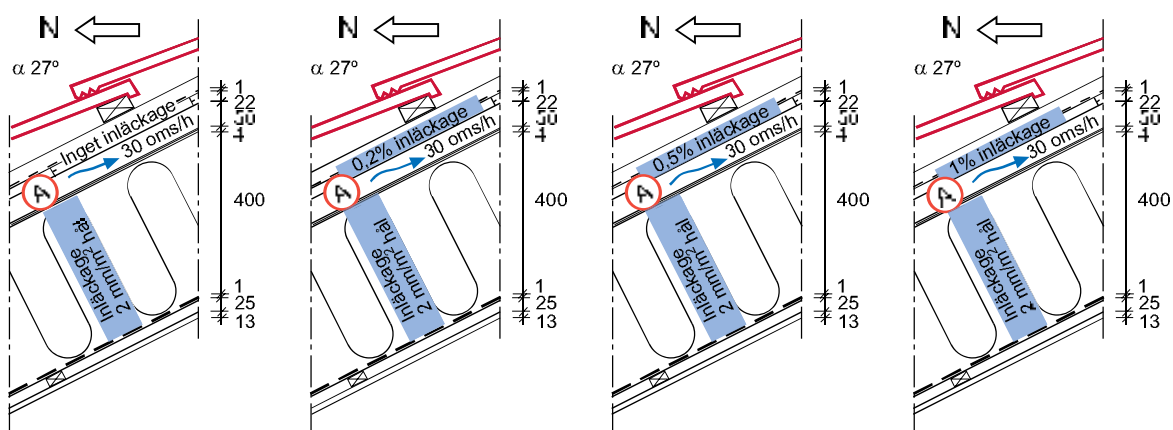
Val av takbeläggningsmaterial har så pass stor påverkan på fuktförhållandena inne i takkonstruktionen att det bör beaktas i samband med fuktsäkerhetsprojektering.

Jämförelse mellan resultaten i Figur 41 till 43 visar att ingen större skillnad för hur stor förändringen är med de två olika takbeklädnadsmaterialen föreligger mellan de olika studerade orterna Lund, Stockholm och Luleå.

7.3 Effekten av inläckage genom takpapp in i råspont

Primärt tas nederbörd emot och avleds av takkonstruktionens yttre takbeläggning som i grundfallet utgörs av takpannor. Dessa är dock på intet sätt helt vattentäta och en stor mängd nederbörd tränger därför igenom skiktet med takpannor, främst genom de skarvar som finns mellan pannorna. Vattnet som tränger in genom pannorna ska ledas bort och ner i hängrännor eller motsvarande av den underliggande takpapp som finns under takpannornas bär- och ströläkt. Många gånger saknas dock det yttre vattenavledande skyddet i anslutning till genomföringar och vid detaljer.

Takpappen är normalt spikad eller i vissa fall limmad på råsponten. Spik från ströläktens infästning i råsponten går rakt igenom takpappen och skapar därmed otätheter. Vidare kan otätheter förekomma i takpappen vid genomföringar och detaljer. För att beakta de mindre vattenmängder som kan tänkas läcka in genom taket i dimensionerande syfte har 0,2% av regnvattenmängden ansatts som inläckage in genom takpappen in i råsponten i grundfallet. I resultaten visas effekten i position A om inget inläckage förekommer eller ett ökat inläckage om 0,5 % eller 1 % av regnvattenmängden som träffar taket. Inläckage kan i praktiken bero på dåligt projekterade eller dåligt fackmannamässigt utförda detaljer och genomföringar eller rena inläckage genom takbeklädnads materialet. De olika studerade fallen redovisas i Figur 44. Notera att 1 % inläckage motsvarar det inläckage vilket ansatts i väggar vid motsvarande beräkningar för väggkonstruktioner (BSR/ ASHRAE 160P, 2009)

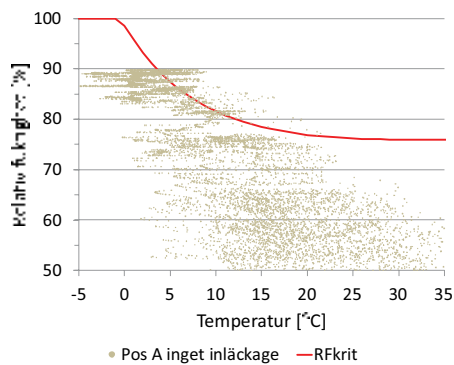


Figur 44. Studerad position A med inget inläckage samt 0,2 %, 0,5 % och 1 % inläckage i råsponten

7.3.1 Resultat – Effekten av inläckage genom takpapp in i råspons

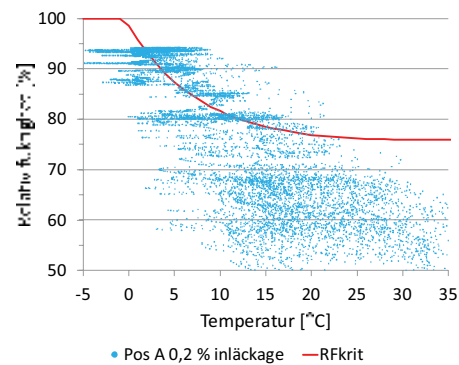
I Figur 45 till 48 visas effekten av olika inläckage genom takpappen och in i råsponsen. Grundfallet med 0,2 % inläckage av slagregnsmängden redovisas i Figur 46. Figur 45 visar motsvarande takkonstruktion utan något inläckage alls. Figur 47 och 48 visar konsekvensen av 0,5 % respektive 1 % inläckage av regnvattenmängden som träffar takteglet.

Inget inläckage



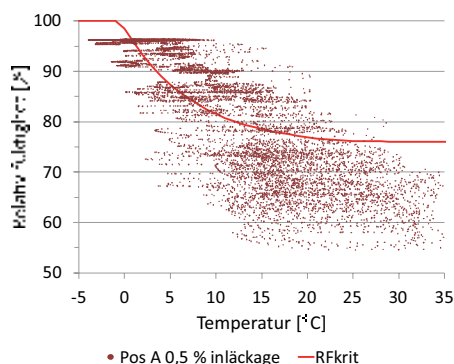
Figur 45. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Lund utan något inläckage alls (ljusgrå) och RF_{krit} (röd).

0,2 % inläckage



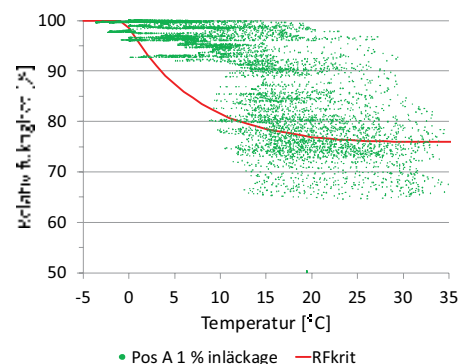
Figur 46. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Lund med 0,2 % inläckage (turkos) och RF_{krit} (röd). Utgångsfallet.

0,5 % inläckage



Figur 47. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Lund med 0,5 % inläckage (vinröd) och RF_{krit} (röd).

1 % inläckage



Figur 48. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Lund med 1 % inläckage (grön) och RF_{krit} (röd).

7.3.2 Analys – Effekten av inläckage genom takpapp in i råspons

Som förväntat är risken för mikrobiell påväxt som lägst när inget inläckage utifrån och ner i råsponsen förekommer. Det bör dock noteras att även om inget inläckage ner i råsponsen är ansatt i beräkningsmodellen, och förutsättningarna således är bättre jämfört utgångsfallet, så uppstår förhållanden när mögelpåväxt är möjlig i position A, enligt Figur 45. Utgångsfallet med ett inläckage på 0,2 % av slagregnsmängden ner i råsponsen, i Figur 46, visar på en tydlig försämring av fuktförhållandena i position A jämfört med om inget inläckage alls är ansatt. Vid ökat inläckage till 0,5 % av regnmängden, enligt Figur 47, förvärras förhållandena avsevärt med ett betydande antal tillfällen där mögelpåväxt kan uppstå. Vid ytterligare slagregnsinträngning motsvarande 1 % (BSR/ASHRAE 160P, 2009) enligt redovisat i Figur 48, blir förhållandena i praktiken ohållbara med stor sannolikhet för fukt och mögelrelaterade skador.

Inläckaget om 0,2 % är ansatt i dimensionerande syfte och avser att motsvara ett inläckage som till exempel skulle kunna uppstå vid infästning av ströläkt i råsponsen eller vid mindre väl utförda

detaljer. Den utanpåliggande ströläkten spikas normalt med spik som tränger rakt igenom takpappen för att fästas i råsponten som ligger under takpappen. Möjligheten till alternativa infästningsmetoder för ströläkten, och andra eventuella infästningar som sker genom takpappen, bör utredas ytterligare eftersom alternativa infästningsmetoder idag saknas.

Generellt visar resultaten i Figur 45 till 48 att takkonstruktioner är mycket känsliga för inläckage. Resultaten visar att även mindre inläckage genom takpappen får stor negativ påverkan på fuktförhållandena i takkonstruktionen med fukt och mögelrelaterade skador som följd. Resultaten visar på vikten av stor noggrannhet och ett fackmannamässigt utförande vid applicering av takkonstruktionernas yttre tätskikt. Erfarenhetsmässigt är genomföringar, fönster och detaljer svaga punkter varför extra stor noggrannhet bör läggas vid dessa. Den bästa lösningen är om genomföringar och fönster i tak helt kan undvikas och detaljer kan minimeras och förenklas i så stor mån som möjligt. Om möjligt bör genomföringar placeras i grupp för att minska antalet platser med genomföringar. Vidare bör gruppen av genomföringar placeras i anslutning till takstolar för att undvika skador på grund av nedböjning i råsponten samt säkerställa en styv infästning. På så vis skulle potentiella problem reduceras redan innan de uppstår vilket överlag även skulle reducera antalet skador. Det lättaste sättet att lösa ett problem är trots allt att ta bort förutsättningarna för att de ska kunna uppstå.

7.3.3 Slutsats – Effekten av inläckage genom takpapp in i råspont

Takkonstruktioner är mycket känsliga för inläckage. Även mindre inläckage skapar snabbt försämrade fuktförhållanden i takkonstruktionen. Ett fackmannamässigt och korrekt montage av takkonstruktionens yttre tätskikt, med ett helt tätt fungerande tätskikt, är av stor vikt för att takkonstruktionen inte ska drabbas av fuktelaterade skador.

Ett enkelt sätt att minska risken för skador är att ta bort eller i möjligaste mån minimera de platser där inläckage lätt uppstår, såsom genomföringar, fönster och detaljer.

7.4 Olika takvinklar

Taklutningen påverkar dels vilken mängd solstrålning som träffar taket, även i tak riktade mot norr, men även hur stor mängd långvågig strålning som strålar ut från taket, även kallad nattutstrålning. Båda dessa faktorer påverkar i sin tur takkonstruktionens temperatur vilket i sin tur påverkar den relativa fuktigheten och i förlängningen även fuktförhållandena i takkonstruktionen.

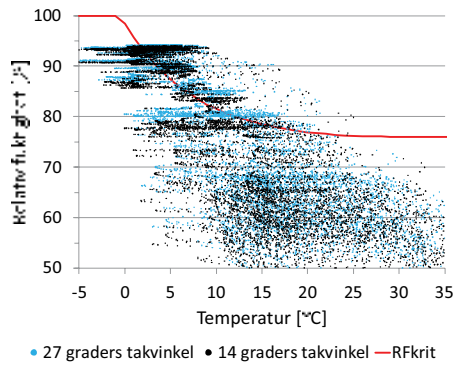
Nedan redovisas påverkan av och skillnad i förhållandena mellan takvinklarna 14, 27 (utgångsfallet), och 45 grader i den mest fuktkritiska positionen på insidan av råsponten, position A, inne i takkonstruktionen. Takvinklarna 14, 27 och 45 grader motsvarar ungefär taklutningarna 1:4, 1:2 och 1:1. Val av takvinklar baseras på vanligt förekommande takvinklar hos en rad svenska hustillverkare.

Motivet till att flera olika städer från norr till söder utvärderas beror på att solens bana varierar över landet samt att det finns skillnader i klimatet som antas kunna påverka resultaten.

7.4.1 Resultat – Olika takvinklar

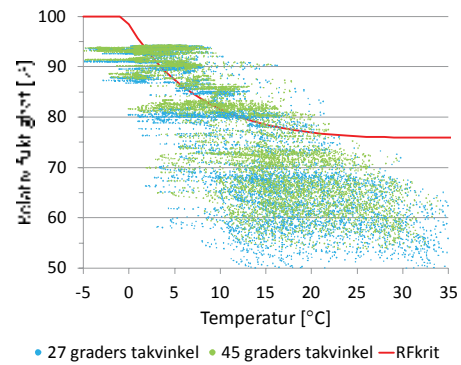
I Figur 49 till 54 redovisas jämförelse mellan beräkningar för position A på insidan av råspont för de olika takvinklarna 14, 27 (utgångsfallet) och 45 grader för ett tak med röda takpannor i Lund, Stockholm och Luleå. I Figur 55 och 56 redovisas en mer detaljerad jämförelse över året med Folos diagrammet för Lund. Alla jämförelser görs mot utgångsfallet med rött tegel för respektive stad.

14 och 27 graders takvinkel i Lund



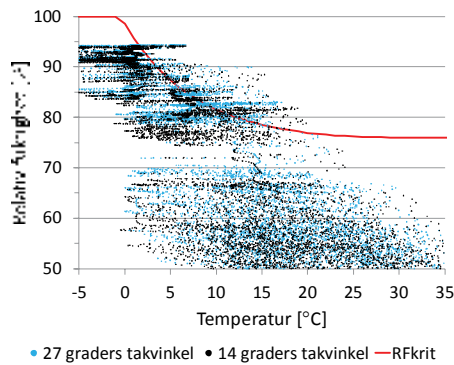
Figur 49. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Lund för två de olika takvinklarna 14 grader (svart) och utgångsfallets 27 grader (turkos) och RF_{krit} (röd).

45 och 27 graders takvinkel i Lund



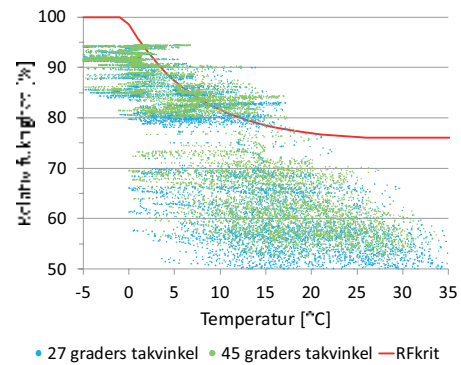
Figur 50. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Lund för två de olika takvinklarna 45 grader (grön) och utgångsfallets 27 grader (turkos) och RF_{krit} (röd).

14 och 27 graders takvinkel i Stockholm



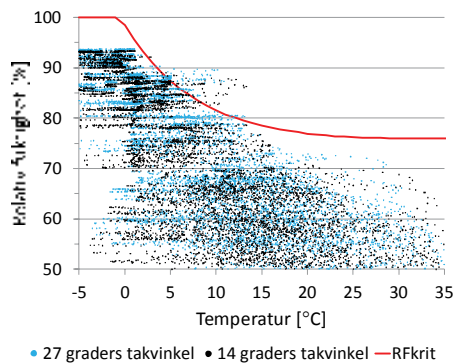
Figur 51. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Stockholm för två de olika takvinklarna 14 grader (svart) och 27 grader (turkos) och RF_{krit} (röd).

45 och 27 graders takvinkel i Stockholm



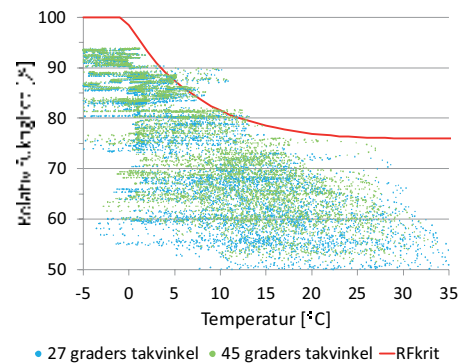
Figur 52. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Stockholm för två de olika takvinklarna 45 grader (grön) och 27 grader (turkos) och RF_{krit} (röd).

14 och 27 graders takvinkel i Luleå



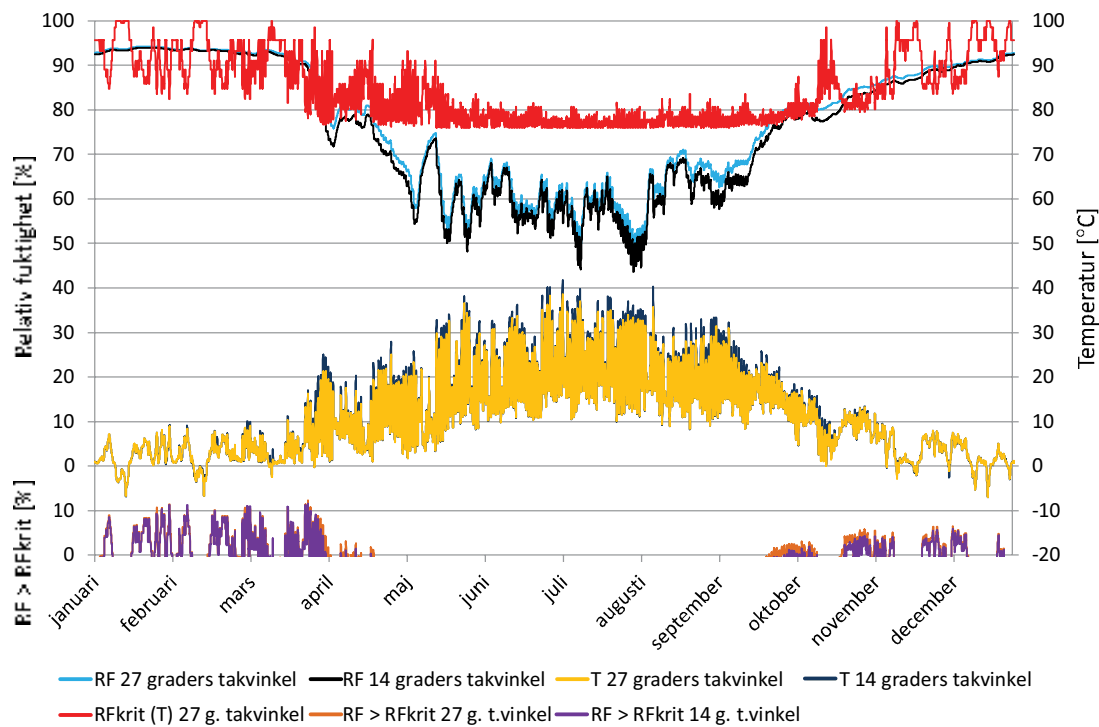
Figur 53. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Luleå för två de olika takvinklarna 14 grader (svart) och 27 grader (turkos) och RF_{krit} (röd).

45 och 27 graders takvinkel i Luleå



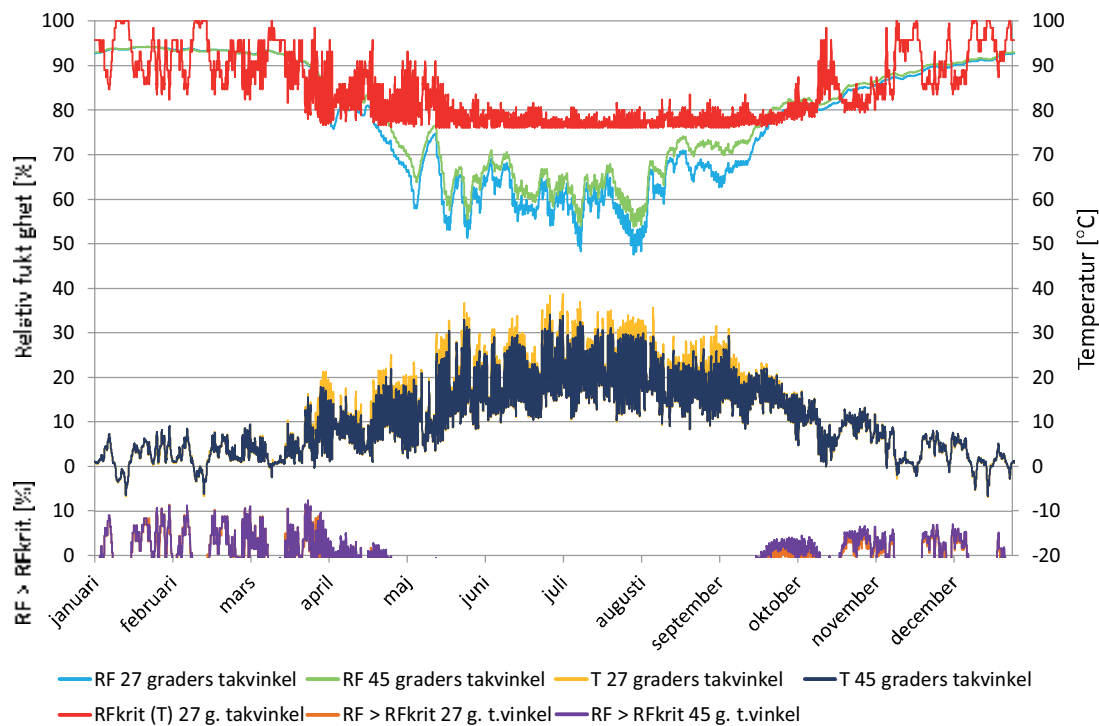
Figur 54. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Luleå för två de olika takvinklarna 45 grader (grön) och 27 grader (turkos) och RF_{krit} (röd).

14 och 27 graders takvinkel i Lund – Position A



Figur 55. RF i position A för utgångsfallet med en takvinkel på 27 grader jämfört med en takvinkel på 14 grader. RF för 27 grader (turkos) och 14 grader (svart), RF_{krit} beroende av temperatur 27 grader (röd), temperatur 27 grader (gul) och 14 grader (mörkblå), RF över RF_{krit} 27 grader (brun) och 14 grader (lila).

45 och 27 graders takvinkel i Lund – Position A



Figur 56. RF i position A för utgångsfallet med en takvinkel på 27 grader jämfört med en takvinkel på 45 grader. RF för 27 grader (turkos) och 45 grader (grön), RF_{krit} beroende av temperatur 27 grader (röd), temperatur 27 grader (gul) och 45 grader (mörkblå), RF över RF_{krit} 27 grader (brun) och 45 grader (lila).

7.4.2 Analys – Olika takvinklar

Beräkningarna med lägre takvinkel visar på något bättre fuktförhållanden inne i takkonstruktionen, dock främst under de varmare årstiderna när ingen risk för fukt och mögelrelaterade skador föreligger i studerade fall. Den bakomliggande faktorn till de något bättre förhållandena är en högre temperatur. En lägre takvinkel gör att taket, som är riktat mot norr, exponeras i något större utsträckning för solstrålning vilket i sin tur värmer upp takkonstruktionen och därmed sänker den relativa fuktigheten och risken för skador.

Enligt Figur 49 till 54 är förhållandena de samma för de tre studerade städerna Lund, Stockholm och Luleå.

Eftersom de bättre förhållandena på grund av varierad takvinkel huvudsakligen sker under perioder när ingen risk för skador föreligger kan det ifrågasättas om takvinkeln bör beaktas i sammanhanget. Å andra sidan ger bättre förhållanden en snabbare reduktion av en risk för påväxt av mögel som kan ha initierats under perioder då RF överskrider RF_{krit} men inte gått så pass långt att skador uppstått (Isaksson m.fl. 2010; Thelandersson och Isaksson 2013).

Av resultaten i Figur 49 till 56 kan det konstateras att kortvägig solstrålning har större positiv påverkan på taket jämfört med den nedkylningen som sker klara nätter när energi lämnar takkonstruktionen genom långvägig strålning som strålar ut från taket till rymden. I sammanhanget skall det dock beaktas att taket är försett med tegelpannor vilka i sig begränsar den långvägiga nattutstrålningen. Jämförelser mellan olika takvinklar för tak med endast takpapp har därför gjorts i nästkommande kapitel. I sammanhanget bör det också påtalas att ett tak med högre takvinkel har något bättre förutsättningar för en ventilation i luftspalten under råsponen. Detta kan vara både positivt genom att mer fukt ventileras bort men också negativt då insidan på råsponen kan kylas ner samt skapa förutsättningar för fuktkonvektion från insidan och på så vis försämrade fuktförhållandena.

7.4.3 Slutsats – Olika takvinklar

En lägre takvinkel skapar generellt sett något bättre fuktförhållanden inne i takkonstruktionen på grund av att en större mängd solstrålning träffar taket. Förbättringen är dock av marginell karaktär och sker huvudsakligen under perioder när ingen eller endast en mindre risk för skador föreligger varför sambandet mellan aktuell takvinkels betydelse och risken för skador kan ifrågasättas.

Inga större skillnader i hur de olika takvinklarna påverkar risken för skador inne i takkonstruktionerna föreligger heller mellan de olika studerade orterna Lund, Stockholm och Luleå.

7.5 Olika takvinklar och olika svarta takbeklädnadsmaterial – Takpapp eller tegelpannor

Baserat på föregående resultat enligt ovan studeras påverkan på fuktförhållanden i den mest kritiska positionen på insidan av råsponen, position A, om både takvinkel, takfärg och takbeläggningmaterialet ändras samtidigt. För att jämförelsen ska bli relevant har samma absorptionstal för långvägig strålning ansatts för både taket med takpannor och med takpapp. Eftersom takpapp normalt sett är svart har denna färg valts även på takpannorna vid jämförelse enligt nedan. Valt absorptionstal för långvägig strålning är satt till 0,91 i beräkningsmodellen.

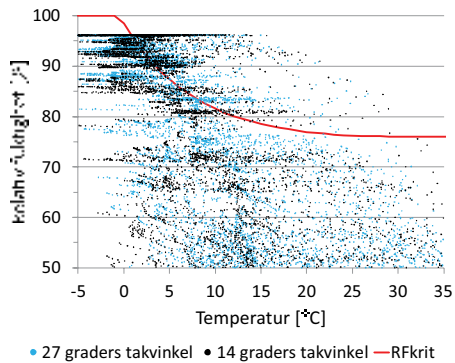
Inga separata beräkningar har gjorts för plåttak. Resultaten för papptak enligt nedan stämmer dock i stora drag överens med de resultat som erhålls för motsvarande beräkningar för ett plåttak.

7.5.1 Resultat – Olika takvinklar och olika svarta takbeklädningsmaterial – Takpapp eller tegelpannor

I Figur 57 och 58 visas en jämförelse mellan de olika takvinklarna 14, 27 och 45 grader om svart takpapp används som takbelägningsmaterial.

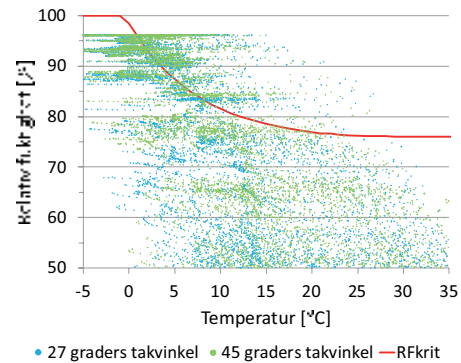
I Figur 59 till 61 visas en detaljerad jämförelse över året mellan de olika takvinklarna 14, 27 och 45 grader om svarta tegelpannor eller svart takpapp används som takbeklädnad.

14 och 27 graders takvinkel i Lund med takpapp



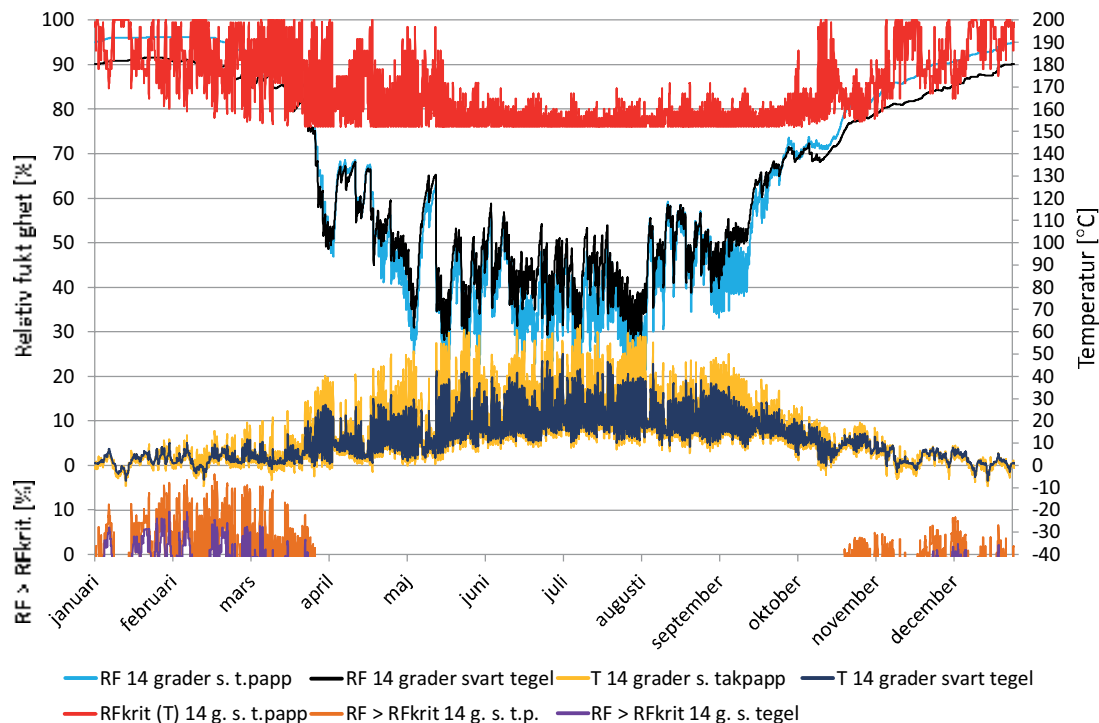
Figur 57. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Lund för två av de olika takvinklarna 14 grader (svart) och utgångsfallets 27 grader (turkos) och RF_{krit} (röd).

45 och 27 graders takvinkel i Lund med takpapp



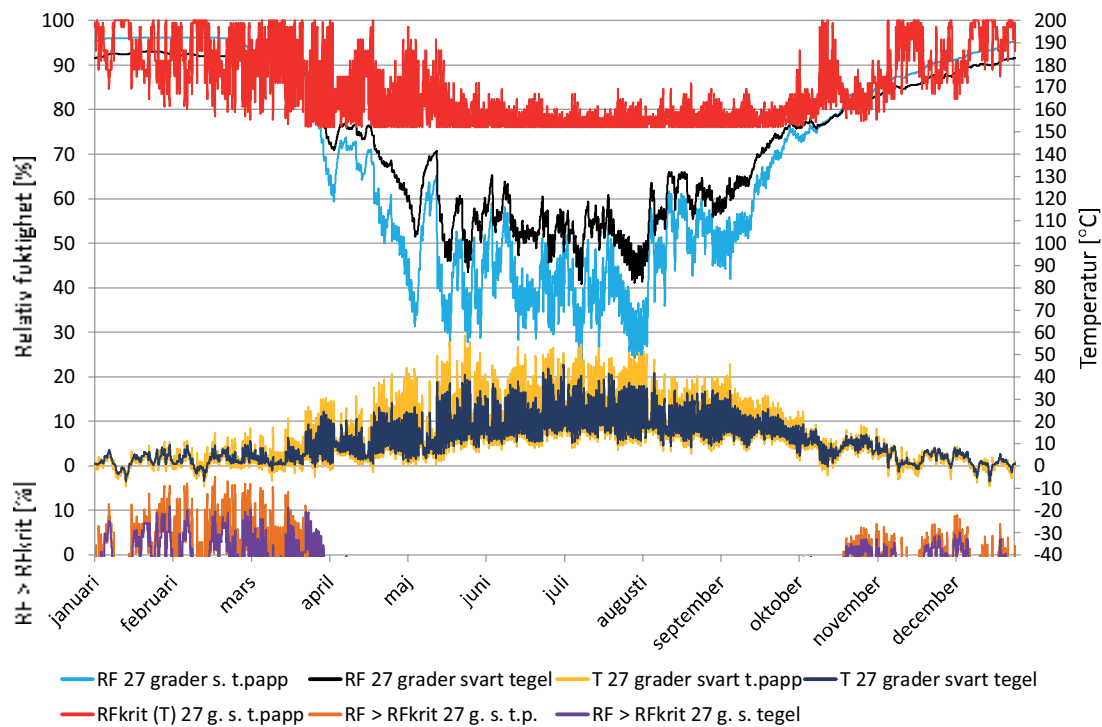
Figur 58. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Stockholm för två av de olika takvinklarna 14 grader (grön) och 27 grader (turkos) och RF_{krit} (röd).

14 graders taklutning – Lund med svart tegel och svart takpapp – Position A



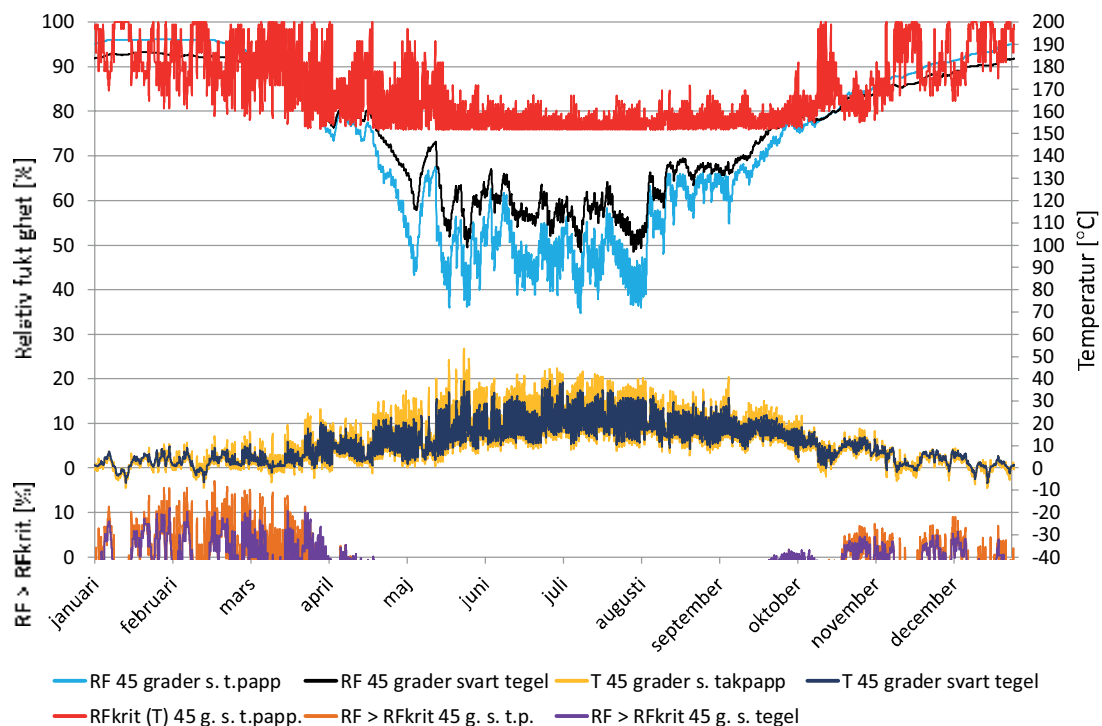
Figur 59. RF i position A för 14 graders takvinkel med svarta tegelpannor jämfört svart takpapp. RF för svart takpapp (turkos) och svart tegel (svart), RF_{krit} beroende av temperatur svart takpapp (röd), temperatur svart takpapp (gul) och svart tegel (mörkblå), RF över RF_{krit} svart takpapp (brun) och svart tegel (lila).

27 graders takvinkel - Lund med svart tegel och svart takpapp - Position A



Figur 60. RF i position A för 27 graders takvinkel med svarta tegelpannor jämfört svart takpapp. RF för svart takpapp (turkos) och svart tegel (svart), RF_{krit} beroende av temperatur svart takpapp (röd), temperatur svart takpapp (gul) och svart tegel (mörkblå), RF över RF_{krit} svart takpapp (brun) och svart tegel (lila). Motsvarande jämförelser finns även redovisad i Figur 41.

45 graders takvinkel - Lund med svart tegel och svart takpapp - Position A



Figur 61. RF i position A för 45 graders takvinkel med svarta tegelpannor jämfört svart takpapp. RF för svart takpapp (turkos) och svart tegel (svart), RF_{krit} beroende av temperatur svart takpapp (röd), temperatur svart takpapp (gul) och svart tegel (mörkblå), RF över RF_{krit} svart takpapp (brun) och svart tegel (lila).

7.5.2 Analys – Olika takvinklar och takbeläggingsmaterial – Takpapp eller tegelpannor

Återigen redovisas att takkonstruktioner med utvändig takbeklädnad av tegelpannor har en lägre risk för fuktrelaterade skador jämfört med lättare takkonstruktioner såsom till exempel tak med endast utvändig takpapp på råspont. Av Figur 59 till 61 framgår att detta även gäller för olika takvinklar.

Av Figur 57 och 58 där 27 graders takvinkel och takpapp som takbeklädnad jämförs mot både lägre, 14 grader, och högre, 45 grader, takvinklar framgår att fuktförhållandena i den mest fuktkritiska positionen på insidan av råsponten, position A, är i stort sett likvärdiga oavsett takvinkel om takpapp används som takbeläggingsmaterial. Detta framgår även vid jämförelse av fallen med takpapp (turkos) i Figur 59 till 61.

Anledningen till variationen i fuktförhållanden mellan olika takvinklar för takpannor jämfört med de betydligt lägre skillnaderna för motsvarande fall med takpapp beror troligtvis dels på takpannornas förmåga att begränsa långvägig strålning ut från taket under klara nätter. Vidare kan det bero på tegelpannornas värmekapacitet och dess förmåga att lagra värme från solstrålning vilket i sin tur förbättrar förhållandena på insidan av råsponten under årets kalla perioder när störst risk för skador föreligger.

Sommartid råder ingen risk för skador för samtliga studerade takvinklar och takmaterial. Riskfria perioden är något kortare för fall med högre takvinkel. Vidare är den relativa fuktigheten i de riskfria perioderna signifikant lägre för takpapp jämfört med tegelpannor. Detta beror på att tegelpannorna begränsar uppvärmningen inne i takkonstruktionen och råsponten sommartid, vilket är tvärt emot förhållandena vintertid då de istället ökar temperaturen på motsvarande positioner. Enligt ovan redovisat försämras fuktförhållandena något vid ökad takvinkel om tegel används som takbeläggingsmaterial.

7.5.3 Slutsats – Olika takvinklar och takbeläggingsmaterial – Takpapp eller tegelpannor

Takkonstruktioner med en utvändig tung takbeläggning har lägre fuktförhållanden jämfört lättare takbeläggningar såsom takpapp på grund av en högre temperatur som ger en lägre relativ fuktighet inne i takkonstruktionen.

Vid utvändig takpapp är fuktförhållandena mer konstanta oavsett taklutning under de kalla perioderna på året. Så fort taket nås av solstrålning, och med denna värme, så förbättras förhållandena i tak med takpapp snabbare och i större omfattning jämfört motsvarande tak med tegelpannor.

Val av takbeläggingsmaterial har så pass stor påverkan på fuktförhållandena inne i takkonstruktionen att det bör beaktas vid fuktsäkerhetsprojekteringen.

7.6 Extra isolering på utsida råspont

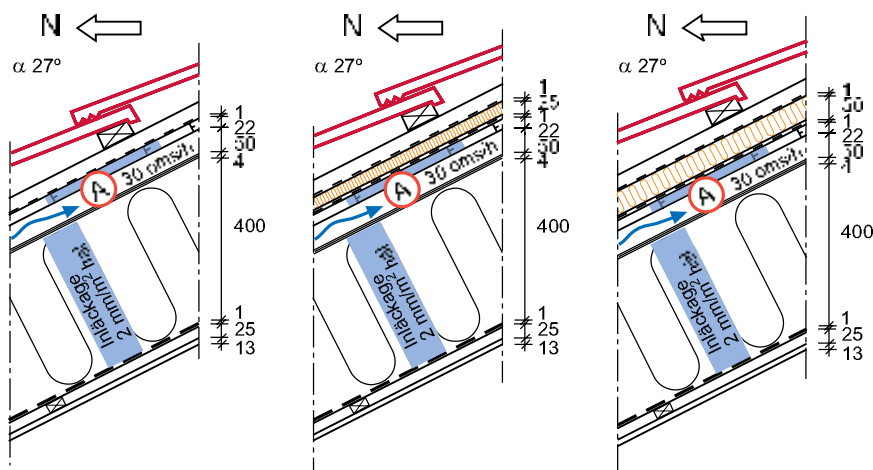
För att förbättra fuktförhållandena i den mest kritiska positionen på insidan av råsponten, position A, så kan temperaturen höjas och på så vis den relativa fuktigheten minskas. Ett sätt att göra detta kan vara att isolera råspontens utsida. På sätt och vis kan detta kunna jämföras med att isolera yttre delarna av väggkonstruktioner med en utvändig fasadskiva på insidan av luftspalten (Hägerstedt 2012). Genom att isolera på utsidan av råsponten så minskas dels transmissionsförlusterna men också nattutstrålningen vilket får konsekvensen att temperaturen innanför isoleringen höjs. I

sammanhanget skall det påtalas att luftspalten på insidan av råsponten, det vill säga innanför eventuell utvändig isolering på råsponten, ventileras med utomhusluft.

Det finns olika sätt och byggsystem för att applicera isolering på utsidan av råsponten. Kända byggsystem skiljer sig huvudsakligen åt rörande placeringen av takets yttre tätskikt. Dels finns det system som förespråkar att takpappen läggs på råsponten, under den extra isoleringen. Vidare finns det system som anger att tätskiktet i form av takpapp skall ligga på ovansidan av den extra isoleringen. Slutligen finns det byggsystem som säger att underlagspapp skall läggas ovanpå råsponten, därefter isoleringen och sedan läggs ytterligare ett tätskikt av till exempel utvändig papp takduk eller liknande ovanpå isoleringen, det vill säga två tätskikt. I denna studie har två lagers tätskikt valts med en mer diffusionsöppen duk, S_d -värde 0,5 m (WUFI), ovanpå isoleringen.

Vidare kan olika isolermaterial användas såsom styva mineralullskivor eller cellplastskivor. I denna studie har mineralullskivor valts då dessa bedöms ha större beständighet mot brand och skydd mot gnistor, glöd, flygaska mm från skorstenar och annan utomhus eldning. Viss litteratur hänvisar även till att cellplast skall undvikas som utvändig isolering på utsidan av råspont, dock utan att närmare förklara varför (Nevander och Elmarsson 2007). Utöver ökad risk för brand med en utvändig cellplastisolering skulle även en eventuell utvändig takpapp eller annat utvändigt tätskikt ovanpå cellplasten lättare kunna skadas i skarvarna vid mindre rörelser i takkonstruktionen. Detta då cellplastskivor är styvare jämfört mineralullsskivor och rörelser vid förskjutning av en cellplastskiva koncentreras till skarvarna i större utsträckning jämfört med en mineralullskiva som är mer jämt formbar. Resultaten för provberäkningar utanför denna rapport visar att exakt placering av tätskikt eller val av isolermaterial inte har någon större inverkan på studerade fuktförhållanden på insidan av råsponten i position A.

Två till fyra olika isolertjocklekar om 25, 50 och delvis 75 mm mineralull appliceras på utsidan av råsponten, utanför takpappen samt med ett extra tätskikt på utsidan i beräkningsmodellen. Resultaten för studerade fall jämförs med utgångsfall utan utvändig isolering för städerna Lund, Stockholm och Luleå. Exempel på studerade fall redovisas i Figur 62.



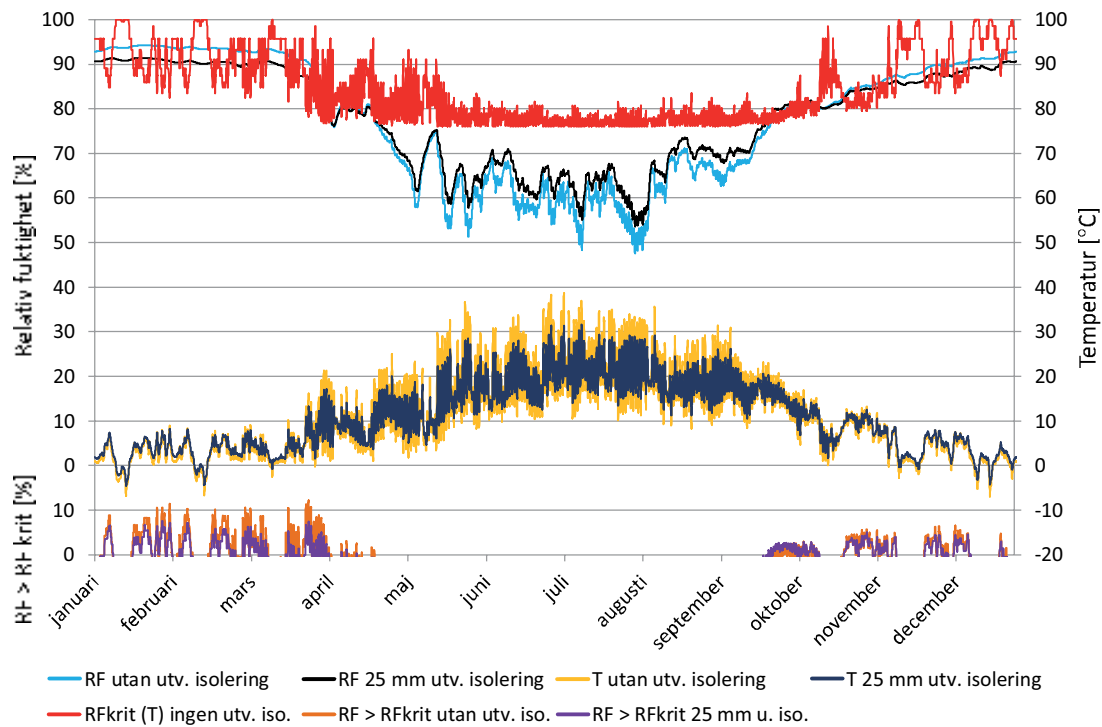
Figur 62. Studerad position A för utgångsfall och exempel på takkonstruktion med 25 mm respektive 50 mm isolering på utsidan av råsponten.

7.6.1 Resultat – Extra isolering på utsida råspons

I Figur 63 till 70 redovisas påverkan på fuktförhållanden på insidan av råsponsen av olika tjocklekar på en extra isolering som applicerats på utsidan av råspons och takpapp jämfört med utgångsfall för Lund, Stockholm och Luleå.

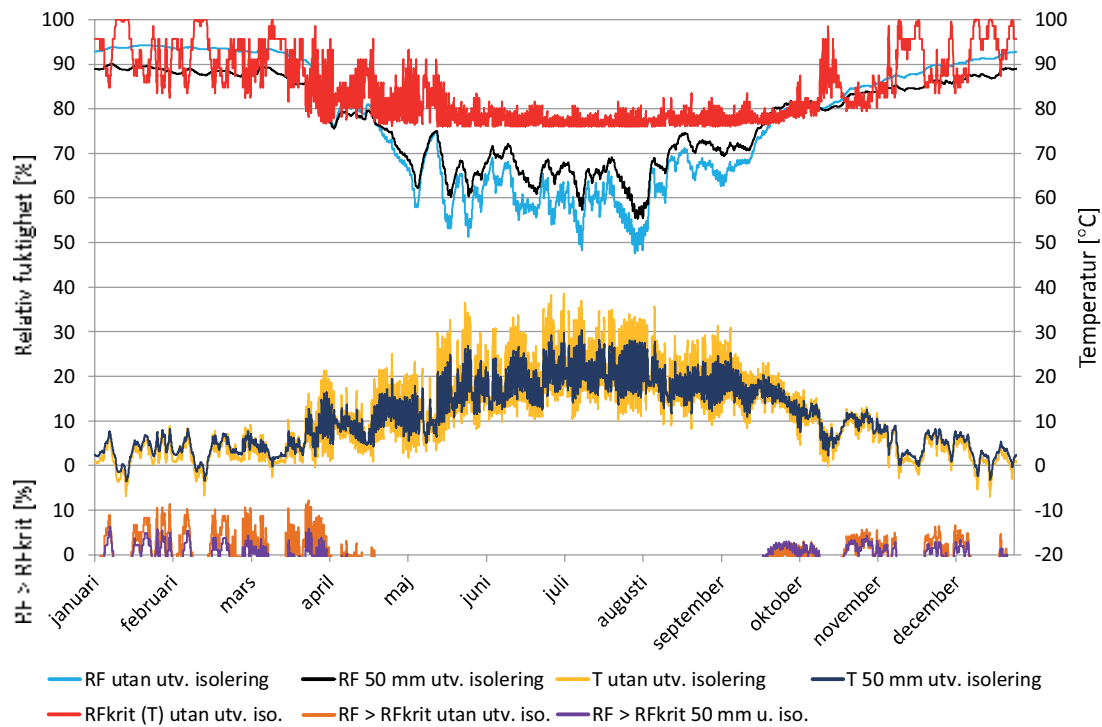
För Lund studeras fyra olika tjocklekar, 25 mm, 50 mm, 75 mm och 100 mm medan endast resultaten för två tjocklekar, 25 mm och 50 mm, redovisas för Stockholm och Luleå.

25 mm isolering på utsida råspons jämfört utgångsfallet i Lund – Position A



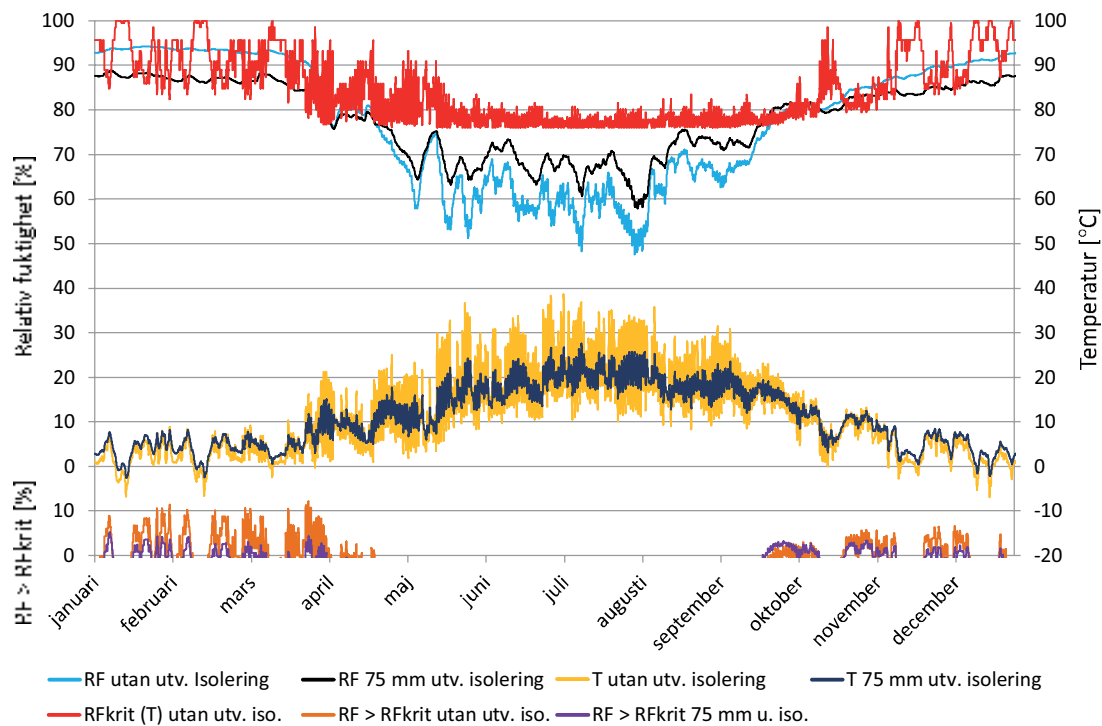
Figur 63. RF i position A utgångsfall jämfört 25 mm isolering utsida av råspons. RF för utgångsfall (turkos) och 25 mm isolering utsida råspons (svart), RF_{krit} beroende av T utgångsfall (röd), T utgångsfall (gul) och 25 mm isolering utsida råspons (mörkblå), RF över RF_{krit} utgångsfall (brun) och 25 mm isolering utsida råspons (lila).

50 mm isolering på utsida råspont jämfört utgångsfallet i Lund – Position A



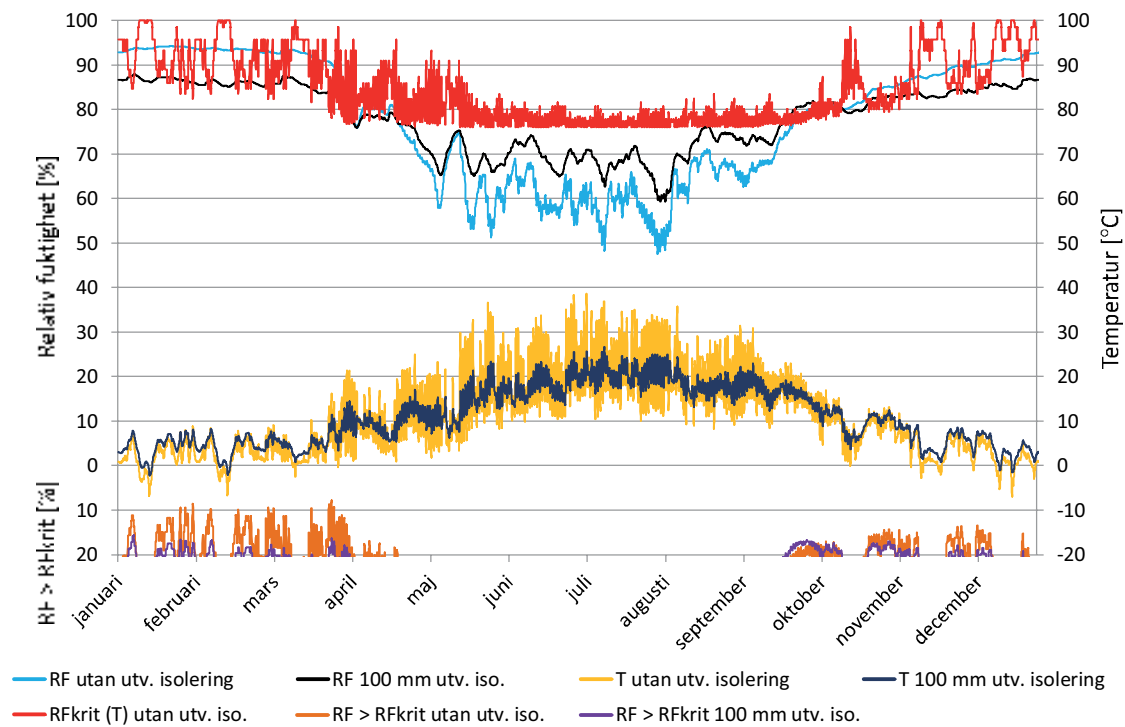
Figur 64. RF i position A utgångsfall jämfört 50 mm isolering utsida av råspont. RF för utgångsfall (turkos) och 50 mm isolering utsida råspont (svart), RF_{krit} beroende av T utgångsfall (röd), T utgångsfall (gul) och 50 mm isolering utsida råspont (mörkblå), RF över RF_{krit} utgångsfall (brun) och 50 mm isolering utsida råspont (lila).

75 mm isolering på utsida råspont jämfört utgångsfallet i Lund – Position A



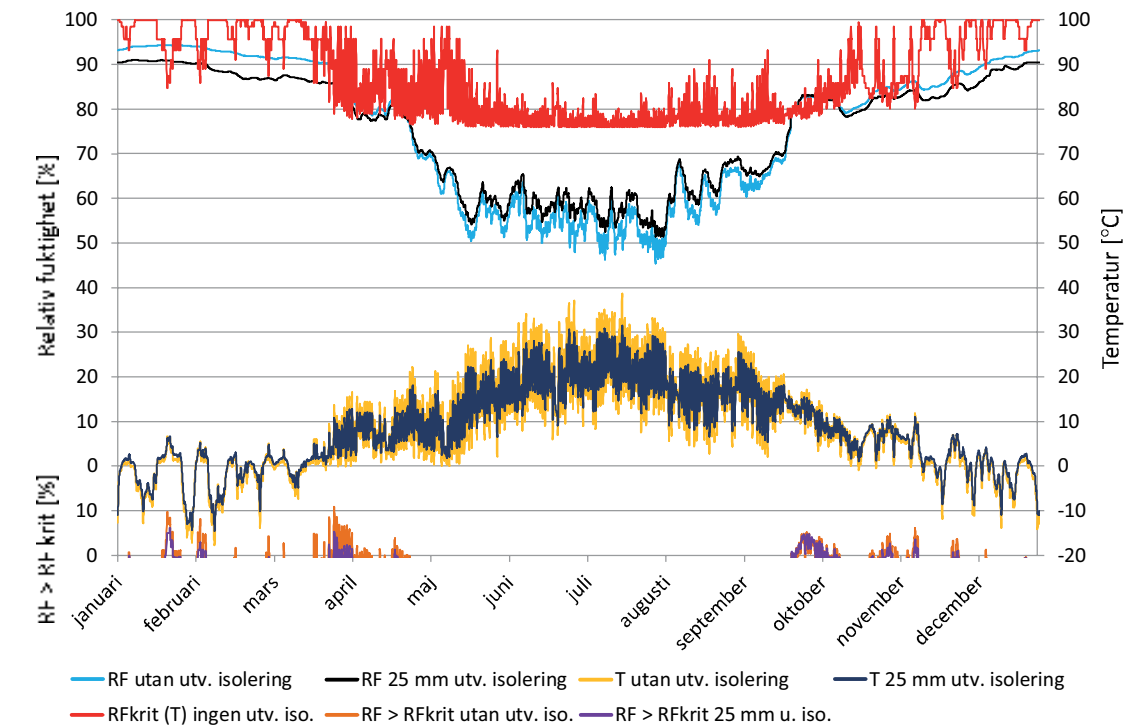
Figur 65. RF i position A utgångsfall jämfört 75 mm isolering utsida av råspont. RF för utgångsfall (turkos) och 75 mm isolering utsida råspont (svart), RF_{krit} beroende av T utgångsfall (röd), T utgångsfall (gul) och 75 mm isolering utsida råspont (mörkblå), RF över RF_{krit} utgångsfall (brun) och 75 mm isolering utsida råspont (lila).

100 mm isolering på utsida råspons jämfört utgångsfallet i Lund – Position A



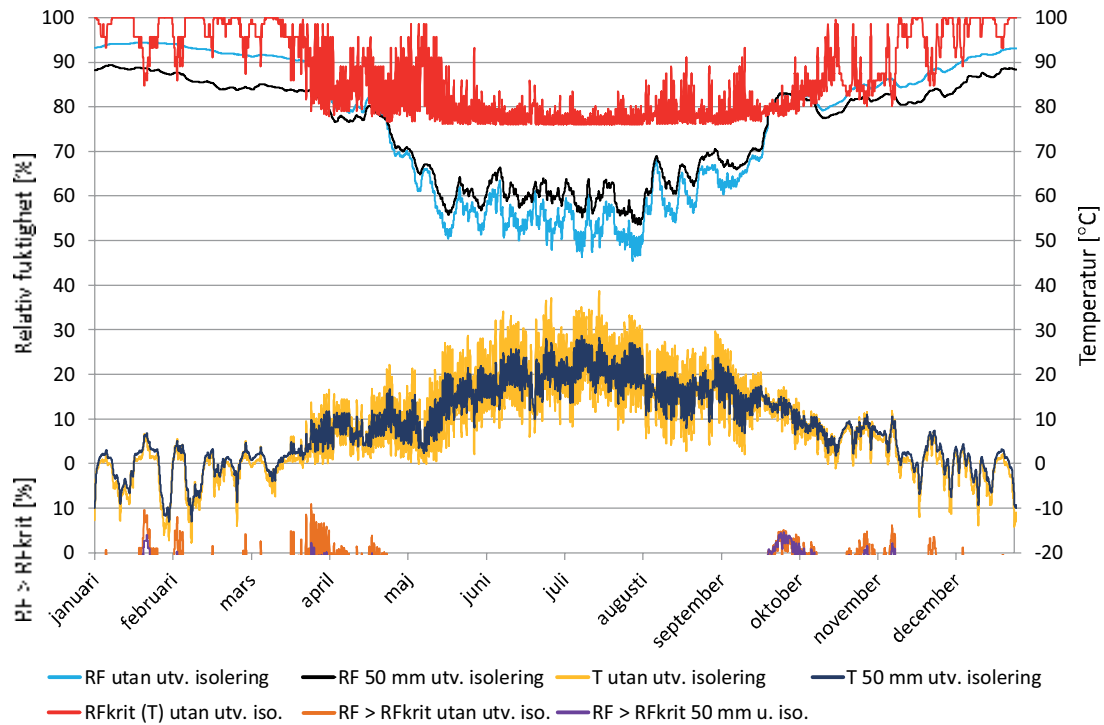
Figur 66. RF i position A utgångsfall jämfört 100 mm isolering utsida av råspons. RF för utgångsfall (turkos) och 100 mm isolering utsida råspons (svart), RF_{krit} beroende av T utgångsfall (röd), T utgångsfall (gul) och 100 mm isolering utsida råspons (mörkblå), RF över RF_{krit} utgångsfall (brun) och 100 mm isolering utsida råspons (lila).

25 mm isolering på utsida råspons jämfört utgångsfallet i Stockholm – Position A



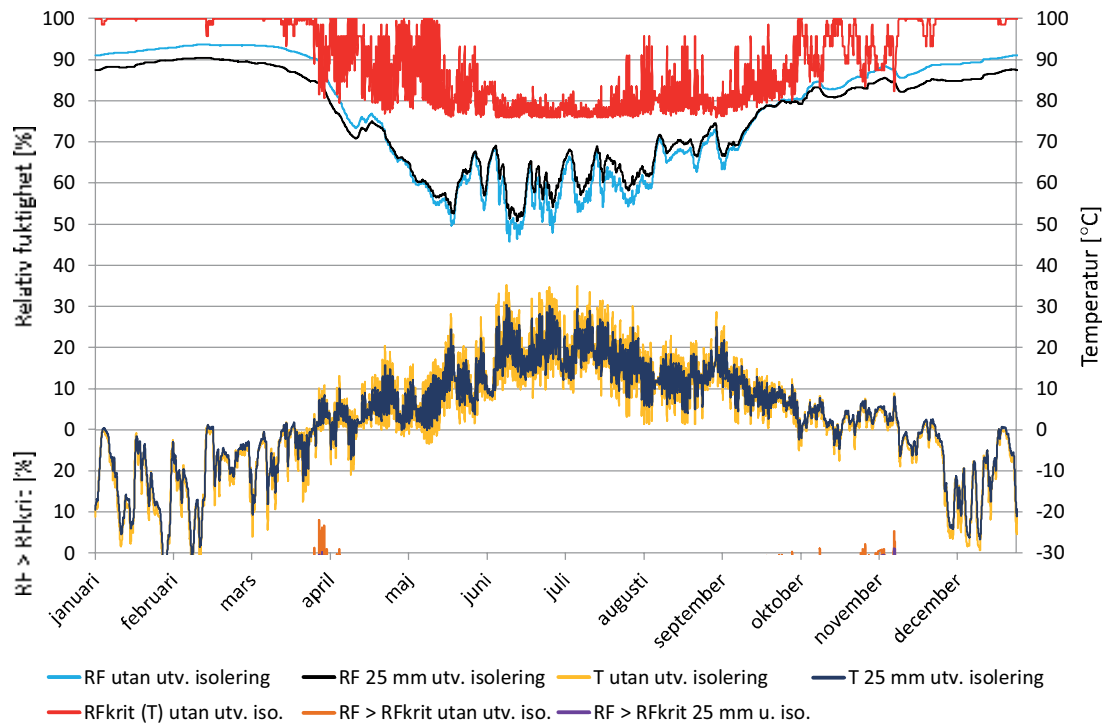
Figur 67. RF i position A i Stockholm utan och med 25 mm isolering utsida av råspons. RF utan (turkos) och med 25 mm isolering (svart) utsida råspons, RF_{krit} beroende av T utan (röd), T utan (gul) och med 25 mm (mörkblå) isolering utsida råspons, RF över RF_{krit} utan (brun) och med 25 mm (lila) isolering utsida råspons.

50 mm isolering på utsida råspont jämfört utgångsfallet i Stockholm – Position A



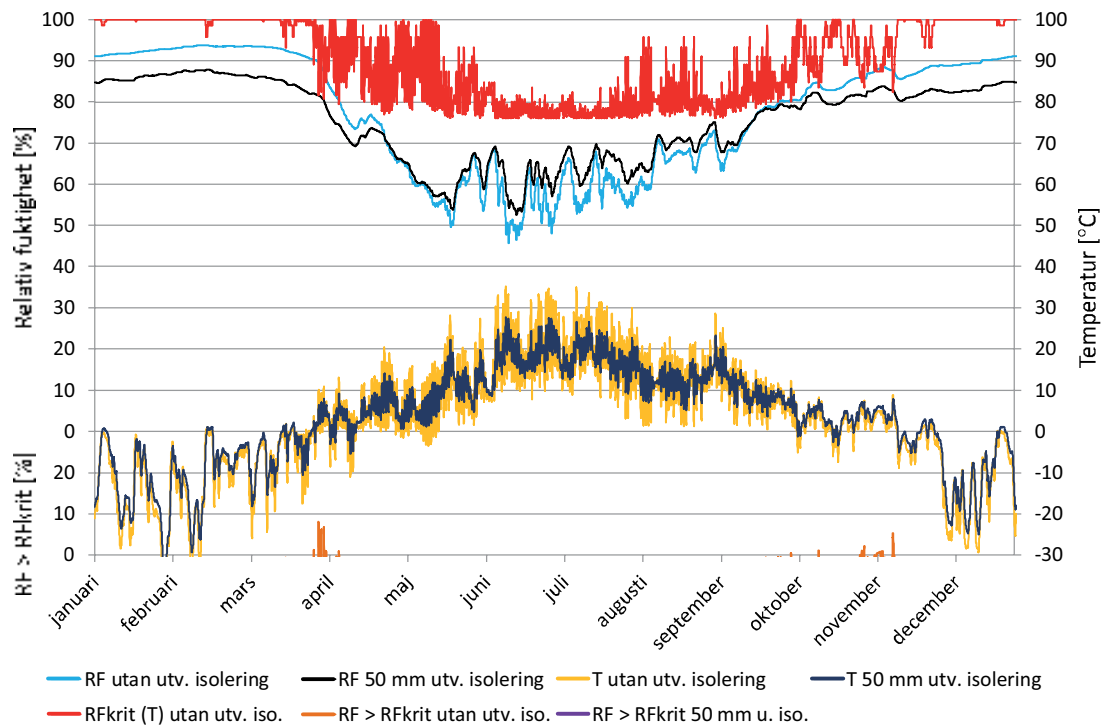
Figur 68. RF i position A i Stockholm utan och med 50 mm isolering utsida av råspont. RF utan (turkos) och med 50 mm isolering (svart) utsida råspont, RF_{krit} beroende av T utan (röd), T utan (gul) och med 50 mm (mörkblå) isolering utsida råspont, RF över RF_{krit} utan (brun) och med 50 mm (lila) isolering utsida råspont.

25 mm isolering på utsida råspont jämfört utgångsfallet i Luleå – Position A



Figur 69. RF i position A i Luleå utan och med 25 mm isolering utsida av råspont. RF utan (turkos) och med 25 mm isolering (svart) utsida råspont, RF_{krit} beroende av T utan (röd), T utan (gul) och med 25 mm (mörkblå) isolering utsida råspont, RF över RF_{krit} utan (brun) och med 25 mm (lila) isolering utsida råspont.

50 mm isolering på utsida råspons jämfört utgångsfallet i Luleå – Position A



Figur 70. RF i position A i Luleå utan och med 50 mm isolering utsida av råspons. RF utan (turkos) och med 50 mm isolering (svart) utsida råspons, RF_{krit} beroende av T utan (röd), T utan (gul) och med 50 mm (mörkblå) isolering utsida råspons, RF över RF_{krit} utan (brun) och med 50 mm (lila) isolering utsida råspons.

7.6.2 Analys – Extra isolering på utsida råspons

Extra utvändigt isolering på utsidan av råsponsen har en positiv inverkan på fuktförhållandena i den mest fuktkritiska positionen, position A, på insidan av råsponsen.

Fuktförhållandena förbättras och risken för skador reduceras under vinter, vår och sen höst, vilket motsvarande de perioder då förhållanden uppstår som gör mögelpåväxt möjlig. Förhållanden under tidig höst då mögelpåväxt är möjlig påverkas generellt sett inte alls, varken positivt eller negativt av ett extra skikt isolering på utsidan av råsponsen. Under sommaren när låg risk för skador föreligger försämras dock fuktförhållandena, dock inte på så att påväxt av mögel blir möjlig. Den extra isoleringen på utsidan av råsponsen reducerar således risken för påväxt av mögel under perioder när det har en positiv inverkan och har under övriga perioder ingen negativ påverkan av betydelse.

Den extra isoleringen medför att temperaturen i den mest fuktkritiska positionen, på insidan av råsponsen i position A, ökar under perioder då förutsättningar för mögelpåväxt finns i konstruktionerna utan utvändigt isolering på råsponsen. Den högre temperaturen skapar i sin tur en lägre relativ fuktighet med en lägre risk för påväxt av mögel.

Den högre temperaturen som skapas av den utvändiga isoleringen på ovansidan av råsponsen skapas troligtvis huvudsakligen av två olika orsaker. Dels bidrar isoleringen till att minska transmissionsförlusterna genom klimatskalet. Detta även om luftspalten under råsponsen troligtvis för bort en stor del av värmen som leds igenom taket inifrån. Den andra faktorn som sannolikt har en positiv inverkan är att den utvändiga isoleringen reducerar den långvågiga strålningen ut från taket, den så kallade nattutstrålningen. Eftersom strålningen reduceras ut från taket så minskas även energin som lämnar taket och en högre temperatur erhålls på insidan av råsponsen i position A.

Vid jämförelse mellan Figur 63 till 66 framgår att extra isolering på utsidan av råsponen har en positiv inverkan upp till cirka 50 mm tjocklek. Vid ytterligare tjocklek på den utvändiga isoleringen reduceras inte risken för mögelpåväxt nämnvärt. Detta beror på att ytterligare isolering inte höjer temperaturen ytterligare på grund av att de två stora faktorerna som långvågig nattutstrålning inte går att begränsa mycket mer än vad som redan skett samt att ventilationen i luftspalten kyler insidan av råsponen.

Förbättringarna med ovanpåliggande isolering på råsponen liknar varandra i de tre studerade städerna Lund, Stockholm och Luleå.

7.6.3 Slutsats – Extra isolering på utsida råspon

Takkonstruktioner med en utvändig isolering ovanpå råsponen har bättre fuktförhållanden jämfört takkonstruktioner utan utanpåliggande isolering. Förhållandena förbättras huvudsakligen under vintern, våren samt sen höst. Kritiska förhållanden där mögelpåväxt är möjlig under sen sommar och tidig höst begränsas inte nämnvärt av den utanpåliggande isoleringen ovanpå råsponen. Förbättring av fuktförhållanden på kallvinden sker på samtliga studerade orter, Lund, Stockholm och Luleå.

7.7 Extra isolering på utsida råspon och olika kulör på takpannor

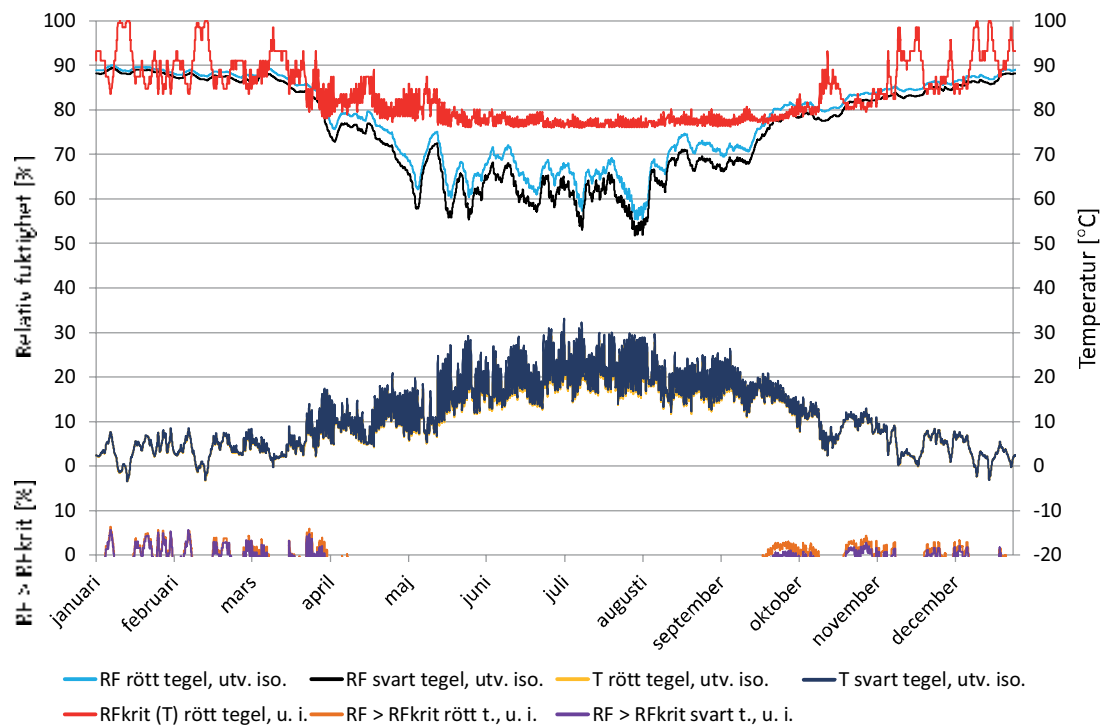
Baserat på tidigare resultat och studerade faktorer enligt ovan analyseras påverkan på fuktförhållanden i den mest kritiska positionen på insidan av råsponen, position A, med 50 mm isolering på utsidan av råsponen och olika kulörer, rött, svart och vitt, på takpannorna.

Fallet med röda tegelpannor har ett absorptionstal för kortvågig strålning mot utvändig yta på 0,68. Detta jämförs i Figur 71 och 72 mot ett fall med svarta tegelpannor med absorptionstal 0,91 och ett fall med vita glaserade pannor vilka har ett absorptionstal för kortvågig strålning på 0,26.

7.7.1 Resultat – Extra isolering på utsida råspon och olika kulör på takpannor

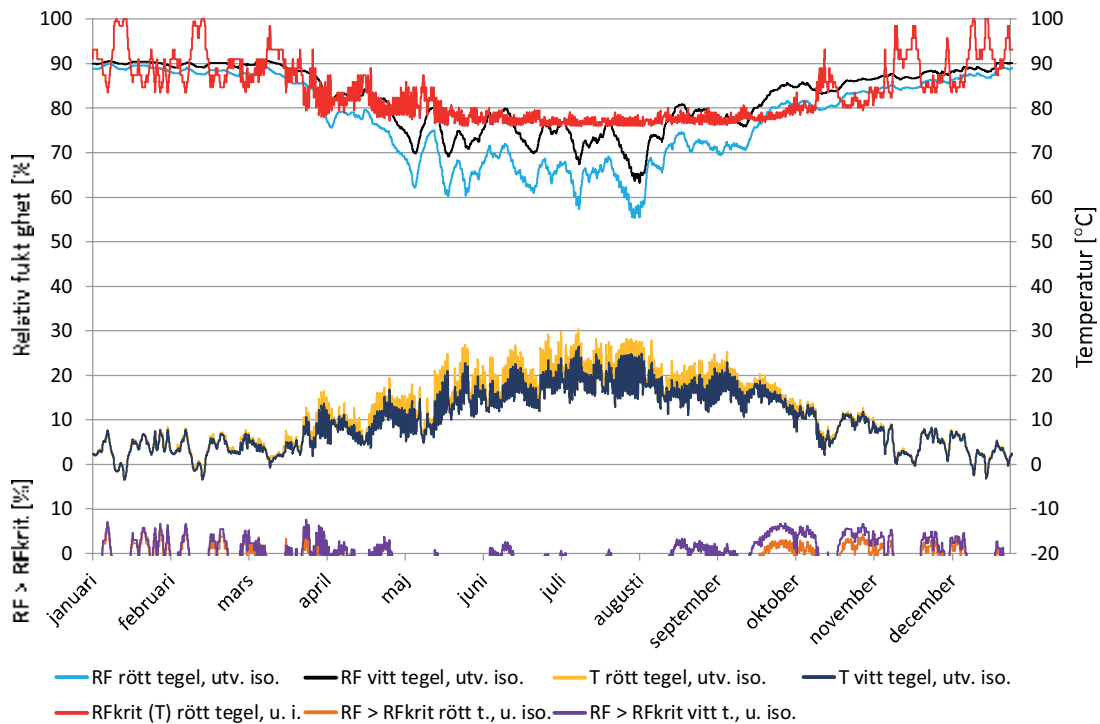
I Figur 71 och 72 visas en jämförelse mellan röda och svarta takpannor respektive röda och vita takpannor när takkonstruktionen har 50 mm extra isolering på utsida råspon. Jämförelserna är utförda med klimatdata för Lund.

Swarta och röda takpannor med 50 mm isolering på utsida råspons i Lund – Position A



Figur 71. RF i position A med 50 mm isolering på utsida råspons och röda tegelpannor jämfört med svarta tegelpannor. RF för rött tegel (turkos) och svart tegel (svart), RF_{krit} beroende av temperatur rött tegel (röd), temperatur rött tegel (grön) och svart tegel (mörkblå), RF över RF_{krit} rött tegel (brun) och svart tegel (lila).

Vita och röda takpannor med 50 mm isolering på utsida råspons i Lund – Position A



Figur 72. RF i position A med 50 mm isolering på utsida råspons och röda tegelpannor jämfört med vita tegelpannor. RF för rött tegel (turkos) och vitt tegel (svart), RF_{krit} beroende av temperatur rött tegel (röd), temperatur rött tegel (grön) och vitt tegel (mörkblå), RF över RF_{krit} rött tegel (brun) och vitt tegel (lila).

7.7.2 Analys – Extra isolering på utsida råspons och olika kulör på takpannor

Genom jämförelse mot tidigare redovisade resultat med olika färger på takpannorna enligt i Figur 34 och 35 kan det fastställas att extra isolering förbättrar fuktförhållandena och reducerar risken för mögel på insidan av råsponsen oavsett takpannornas färg.

Vid jämförelse av resultaten i Figur 34 och 35 med resultaten i Figur 71 och 72 framgår dock även att den positiva inverkan som mörkare kulörer på takpannorna har på fuktförhållanden reduceras något beroende på färgval genom den extra isoleringen på utsidan av råsponsen. För fallet med svarta eller röda tegelpannor blir skillnaden i fuktförhållanden och tillfällen när mögelpåväxt kan förekomma försumbar mellan de två olika färgerna om en 50 mm extra isolering ligger på utsidan av råsponsen. För fallet med vita tegelpannor och 50 mm isolering på utsida råspons reduceras inverkan av den utvändiga färgen även om en klar skillnad fortfarande föreligger vid jämförelse mot fallet med röda tegelpannor och 50 mm extra isolering på utsidan av råsponsen. Reduktionen av förhållanden när mögelpåväxt är möjlig med 50 mm isolering på utsida råspons jämfört fallet utan isolering på utsida råspons gör dock tillägget till konstruktionen intressant.

7.7.3 Slutsats – Extra isolering på utsida råspons och olika kulör på takpannor

Utvändig isolering på utsidan av råsponsen reducerar risken för mögelpåväxt oavsett vilken takfärg som förekommer på taket. Vidare reducerar utvärdig isolering på utsidan av råsponsen påverkan på fuktförhållanden från olika kulörer på takbeläggningen i den mest fuktkritiska positionen i takkonstruktionen, på insidan av råsponsen.

7.8 Extra isolering på utsidan av råspons och olika svarta takbeklädnadsmaterial – Takpapp eller tegelpannor

Med bakgrund av tidigare presenterade resultat enligt ovan utvärderas påverkan på fuktförhållanden i den mest kritiska positionen på insidan av råsponsen, position A, om 50 mm extra isolering läggs utanpå råsponsen och även takbeklädnaden ändras från tegel till takpapp.

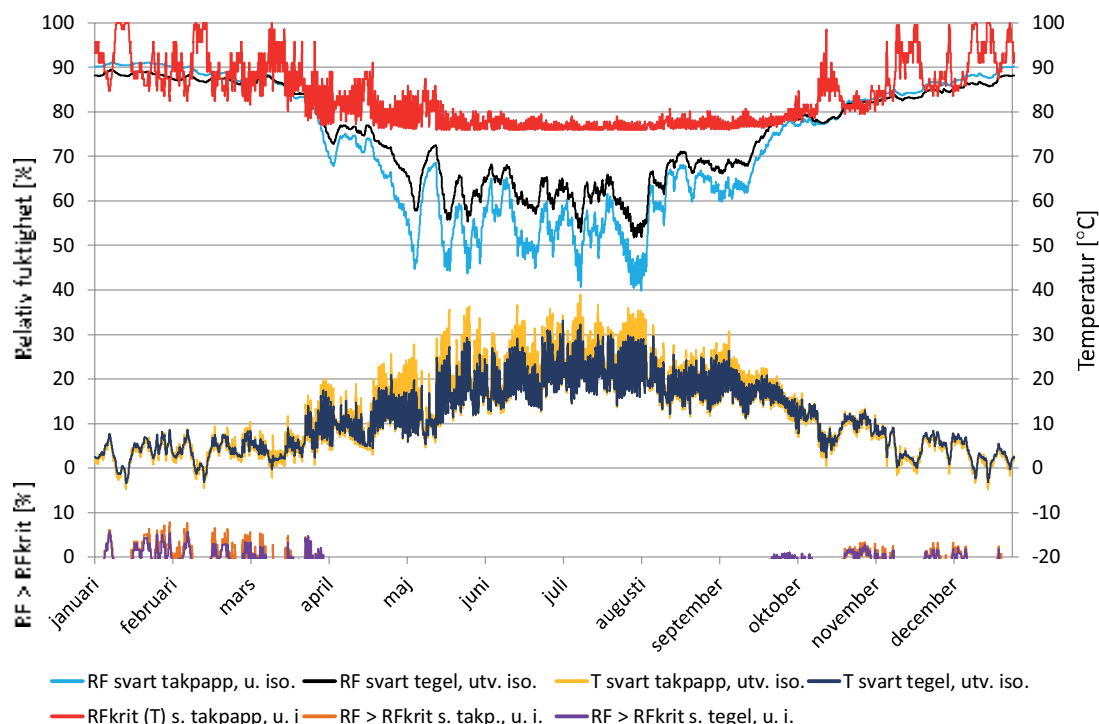
För att jämförelsen ska bli relevant har samma absorptionstal för långvågig strålning ansatts för både taket med takpannor och taket med takpapp. Eftersom takpapp vanligtvis förekommer i svart kulör har denna färg även valts på takpannorna vid jämförelse. Absorptionstal för långvågig strålning är, i enlighet med tidigare, satt till 0,91 i beräkningsmodellen.

Inga separata beräkningar har gjorts för plåttak. Resultaten för papptak enligt nedan stämmer dock i stora drag överens med de resultat som erhålls för motsvarande beräkningar för ett plåttak.

7.8.1 Resultat – Extra isolering på utsidan av råspons och olika svarta takbeklädnadsmaterial – Takpapp eller tegelpannor

I Figur 73 redovisas en jämförelse av RF och temperatur för ett tak med svarta takpannor och en 50 mm tjock mineralullsisolering på utsidan av råsponsen med ett tak med svart takpapp och 50 mm tjock mineralullsisolering på utsidan av råsponsen.

Takpapp och tegelpannor båda med 50 mm isolering på utsida råspons i Lund – Position A



Figur 73. RF i position A med 50 mm isolering på utsida råspons och tegelpannor jämfört med 50 mm isolering på utsida råspons och takpapp. RF för svart takpapp (turkos) och svart tegel (svart), RF_{krit} beroende av temperatur svart takpapp (röd), temperatur svart takpapp (gul) och svart tegel (mörkblå), RF över RF_{krit} svart takpapp (brun) och svart tegel (lila).

7.8.2 Analys – Extra isolering på utsida råspons och olika färger på takpannor

Jämförelse av resultaten i Figur 73 med tidigare resultat från olika takmaterial utan någon extra isolering på utsidan av råsponsen i Figur 41 visar att den extra isoleringen förbättrar fuktförhållanden och reducerar risken för påväxt av mögel oavsett vilket takmaterial som förekommer.

Resultaten i Figur 73 jämfört mot tidigare resultat i Figur 41 visar samma mönster där tegelpannor ger lägre RF under de kritiska perioderna på vinter, tidig vår och höst och det omvända förhållandet under sommaren men då inga kritiska förhållanden råder.

Av jämförelse mellan Figur 73 och 41 för tak med och utan utvändig isolering på råsponsen framgår vidare att skillnaden i fuktförhållanden i position A på grund av olika takmaterial av tegel eller takpapp reduceras något med extra isolering på utsida av råsponsen.

7.8.3 Slutsats – Extra isolering på utsida råspons och olika färger på takpannor

Utvändig isolering på utsidan av råsponsen reducerar risken för mögelpåväxt oavsett vilket takmaterial som finns på taket. Vidare reducerar utvändig isolering på utsidan av råsponsen inverkan av olika takmaterial på fuktförhållanden i den mest fuktkritiska positionen på insidan av råsponsen.

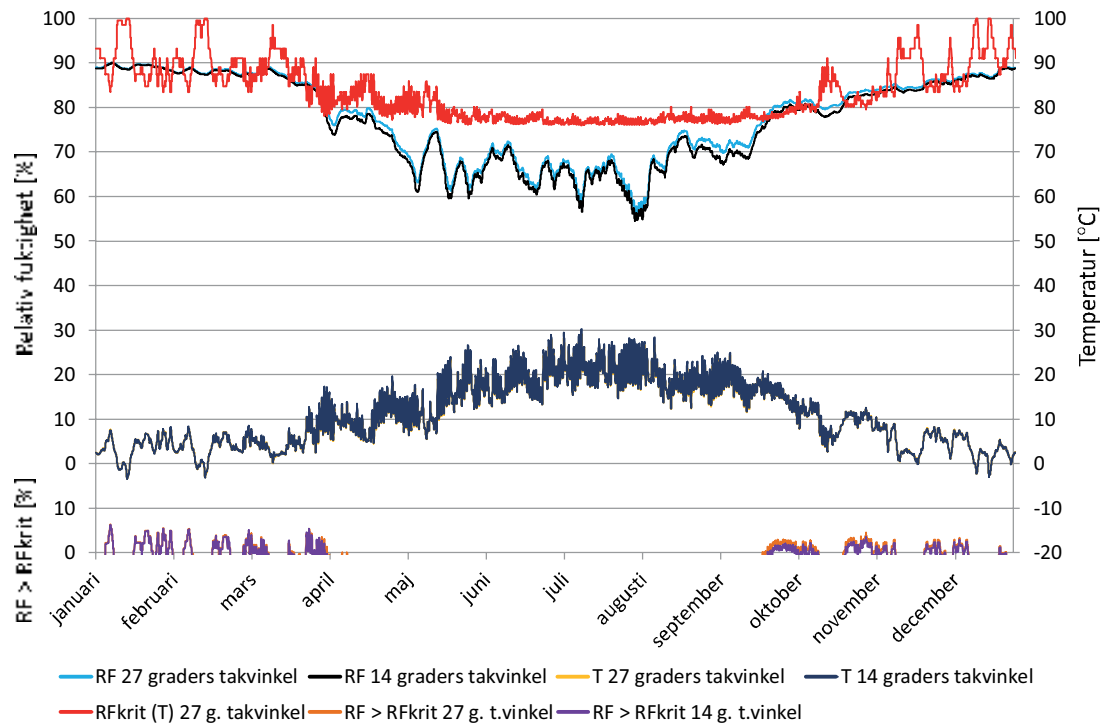
7.9 Extra isolering på utsida råspons och olika takvinklar

Mot bakgrund av tidigare resultat och försöksupställningar studeras påverkan av olika takvinklar för en takkonstruktion med 50 mm isolering på utsidan av råsponsen i den mest fuktkritiska positionen, position A och klimatdata för Lund. Takvinklarna 14 och 45 grader jämförs med 27 graders takvinkel där samtliga takkonstruktioner även har 50 mm isolering på utsidan av råsponsen.

7.9.1 Resultat – Extra isolering på utsida råspont och olika takvinklar

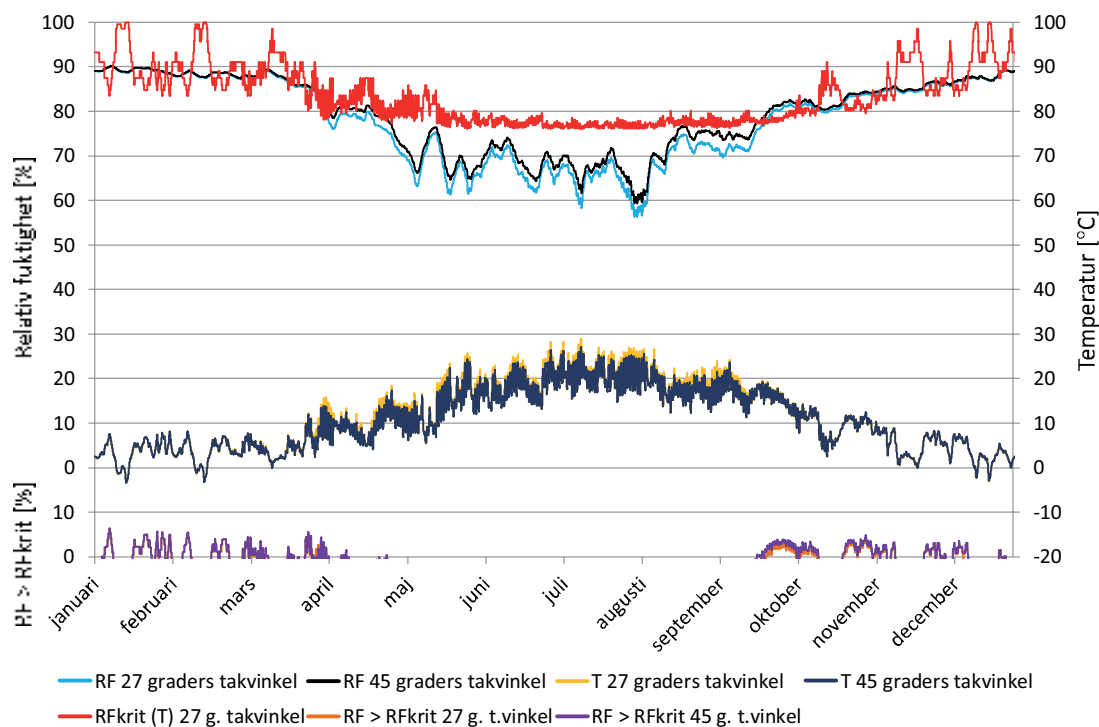
I Figur 74 och 75 jämförs en takkonstruktion 50 mm isolering på utsidan av råsponten med 14 och 27 graders takvinkel respektive 45 och 27 graders takvinkel.

14 och 27 graders takvinkel med 50 mm isolering på utsida råspont i Lund – Position A



Figur 74. RF i position A med 50 mm isolering på utsida råspont och 27 graders takvinkel jämfört 14 graders takvinkel. RF för 27 grader (turkos) och 14 grader (svart), RF_{krit} beroende av temperatur 27 grader (röd), temperatur 27 grader (gul) och 14 grader (mörkblå), RF över RF_{krit} 27 grader (brun) och 14 grader (lila).

45 och 27 graders takvinkel med 50 mm isolering på utsida råspont i Lund – Position A



Figur 75. RF i position A med 50 mm isolering på utsida råspont och 27 graders takvinkel jämfört 45 graders takvinkel. RF för 27 grader (turkos) och 45 grader (svart), RF_{krit} beroende av temperatur 27 grader (röd), temperatur 27 grader (gul) och 45 grader (mörkblå), RF över RF_{krit} 27 grader (brun) och 45 grader (lila).

7.9.2 Analys – Extra isolering på utsida råspont och olika takvinklar

Jämförelse av resultaten i Figur 74 och 75 mot tidigare redovisade resultat i Figur 55 och 56 där inverkan av olika takvinklar utan extra isolering på utsida råspont studerades visar att extra isolering på utsida råspont förbättrar fuktförhållanden samt reduceras risken för mögelpåväxt oavsett takvinkel.

Vid jämförelse av resultaten i Figur 55 och 56 med resultaten i Figur 74 och 75 framgår vidare att påverkan av fuktförhållanden på grund av takvinklar reduceras marginellt för fallen med den extra isoleringen på utsida råspont. För skillnader i fuktförhållanden under de perioder då kritiska perioder uppstår är påverkan av olika takvinklar försumbar för fuktsäkerheten oavsett om extra isolering applicerats på utsidan av råsponten eller inte. Även om förhållandena förbättras med extra isolering på utsidan av råsponten för de olika studerade takvinklarna så återspeglas beteendet i kurvorna för fallen med och utan isolering på utsidan av råsponten. Reduktionen av förhållanden när mögelpåväxt är möjlig med 50 mm isolering på utsida råspont jämfört fallet utan isolering på utsida råspont är det som gör att isolering på utsida råspont är det primärt intressanta.

7.9.3 Slutsats – Extra isolering på utsida råspont och olika takvinklar

Utvändig isolering på utsidan av råsponten reducerar risken för mögelpåväxt oavsett vilken takvinkel som taket har och vald takvinkel är i sammanhanget av underordnad betydelse.

8 Parameterstudie – Olika takkonstruktioner

Nedan redovisas konsekvenserna av olika förändringar inne i takkonstruktionen vilket i detta sammanhang avses förändringar i konstruktionen från utsida ångspärr upp till insida råspont. Förändringarna redovisas huvudsakligen för klimatförhållanden för Lund och delvis för städerna Stockholm och Luleå.

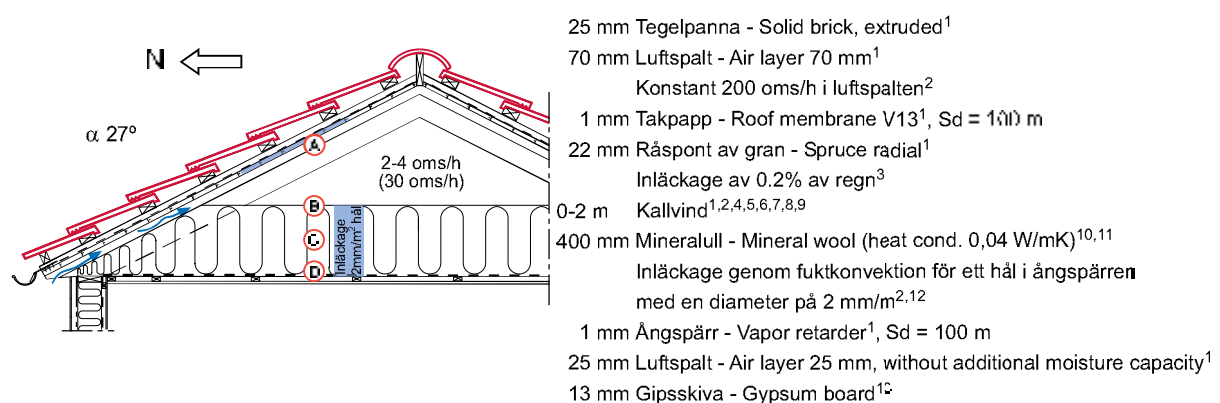
I överensstämmelse med tidigare så fokuseras huvudsakligen på den mest fuktkritiska positionen, position A, på insidan av råsponten. I vissa fall har det även varit relevant att utvärdera förhållandena i position B, i ovankant av isoleringen på insidan av träfiberskivan som skapar luftspalten.

8.1 Jämförelse mellan kallvind och parallelltak

Kallvindar är överlag vanligt förekommande i Sverige. Detta gör det befogat att utvärdera en motsvarande design för en takkonstruktion med kallvind istället för ett parallelltak. Även om det normalt föreligger en väsentlig skillnad i designen mellan ett parallelltak och en kallvind där det ventilerade kallvindsutrymmet är mycket större så blir beräkningsmodellerna av de två olika konstruktionerna snarlika i WUFI.

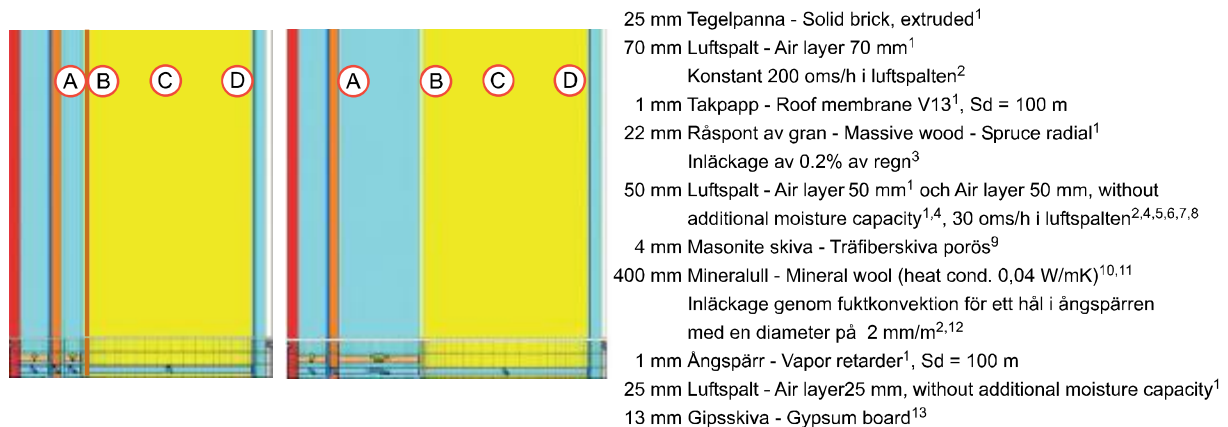
Utöver redovisat grundfall så blir kallvindsutrymmet större jämfört med den beräkningsmodell som redovisas i Figur 1 samt att den 4 mm tjocka träfiberskivan i ovankant av isoleringen tas bort på själva kallvinden. Träfiberskivan eller motsvarande finns normalt sett även i takkonstruktioner med kallvind i isoleringen på insida takfot för att skapa förutsättningar för en ventilerad luftspalt ut under takutsprånget.

Luftspalten i beräkningsmodellen för studerade fall med kallvindar är uppbyggd med en 150 mm tjock luftspalt jämfört 50 mm luftspalt för parallelltaket. Den 150 mm tjocka luftspalten är den tjockaste luftspalten som finns i WUFI:s materialdatabas. För att erhålla motsvarande ventilerad luftvolym har en högre luftomsättning ansatts jämfört med vad som bedöms normalt i kallvindar. Studerad kallvinds modell enligt Figur 76, tillika även Figur 4, har i utgångsfallet antagits ha en ventilation om 3 oms/h (Walker och Forest 1995).



Figur 76. Takkonstruktion med kallvind vilken också ur ett generellt perspektiv även kan appliceras på använd beräkningsmodell enligt Figur 3. (1. WUFI) (2. Falk 2010) (3. Wallentén 2014) (4. Mundt-Petersen 2015) (5. Mundt-Petersen 2013b) (6. Mundt-Petersen 2013d) (7. Mundt-Petersen 2013e) (8. Mundt-Petersen 2013f) (9. Mundt-Petersen 2013g) (10. IEA Annex 24 1996) (11. Paroc 2002) (12. Georgsdottir och Sawirs 2012) (13. Krus 1996). Samma som Figur 4.

Om höjden i snitt på studerad kallvind antas vara 1,5 m, lägre mot takfötterna och högre i mitten, så motsvarar 3 oms/h på kallvinden 30 oms/h i den 150 mm tjocka luftspalten som använts i beräkningsmodellen (Hansson och Lundgren 2009; Harderup och Arfvidsson 2009; Mundt-Petersen 2013c; 2013d; 2013e; 2013f; 2013g; Mundt-Petersen 2015). De två beräkningsmodellerna för grundfallet respektive fallet som används för beräkning av kallvind redovisas i Figur 77. I förenklingen av beräkningsmodellen har inte förändringar i den konvektiva värmeövergångskoefficienten på grund av ett högre flöde beaktats.



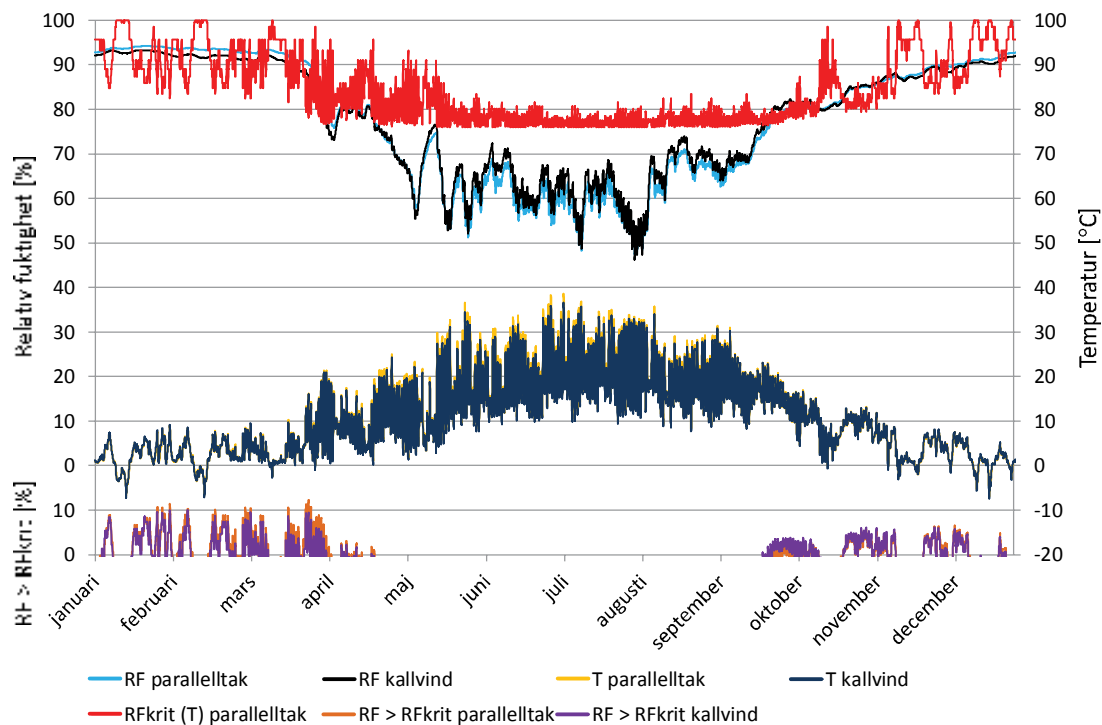
Figur 77. Principiell skillnad av beräkningsmodell för parallelltak med 50 mm luftspalt och kallvind med 160 mm luftspalt. Använd materialdata, inklusive referenser, för kallvinden enligt Figur 76 ovan.

I överensstämmelse med tidigare redovisat så visar jämförelser mellan blinda beräkningar och mätningar på en god överensstämmelse när ovan redovisad beräkningsmodell använts för beräkningar i takkonstruktioner med kallvind (Mundt-Petersen 2013c; 2013d; 2013e; 2013f; 2013g; Mundt-Petersen 2015).

8.1.1 Resultat – Kallvind jämfört mot parallelltak

Nedan redovisas beräknad RF , RF_{krit} och temperatur för ett parallelltak och en kallvind i position A.

RF i position A i ett parallelltak och position A i en kallvind



Figur 78. RF jämfört med RF_{krit} i position A i ett parallelltak och i en kallvind. RF i position A i parallelltaket (turkos) och kallvind (svart), RF_{krit} beroende av temperaturen i position A på parallelltaket (röd), temperatur i position A i parallelltaket (gul) och kallvind (mörkblå), RF över RF_{krit} i parallelltaket (brun) och kallvind (lila).

8.1.2 Analys – Kallvind jämfört mot parallelltak

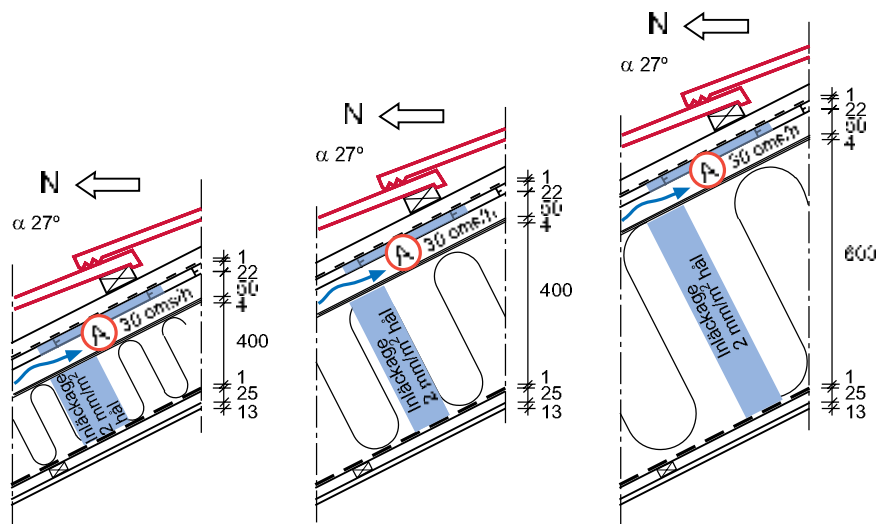
Jämförelse mellan position A på insidan av råsponten för beräkningsmodellen som avser ett parallelltak och beräkningsmodellen som avser en kallvind visar att förhållandena i stort sett överensstämmer för de båda fallen.

8.1.3 Slutsats – Kallvind jämfört mot parallelltak

Även om skillnader föreligger i praktiken så visas ingen större skillnad i fuktförhållanden mellan ett parallelltak och en kallvind för använda beräkningsmodeller.

8.2 Olika isolertjocklekar i tak

Nedan studeras vilken påverkan olika isolertjocklekar har på fuktförhållandena i den mest fuktkritiska positionen, position A, för städerna Lund, Stockholm och Luleå. I Figur 79 redovisas exempel på takkonstruktioner med olika isolertjocklekar som studeras. Utöver isolertjocklekarna 200 mm, 400 mm och 600 mm studeras även 300 mm isolertjocklek för Lund.

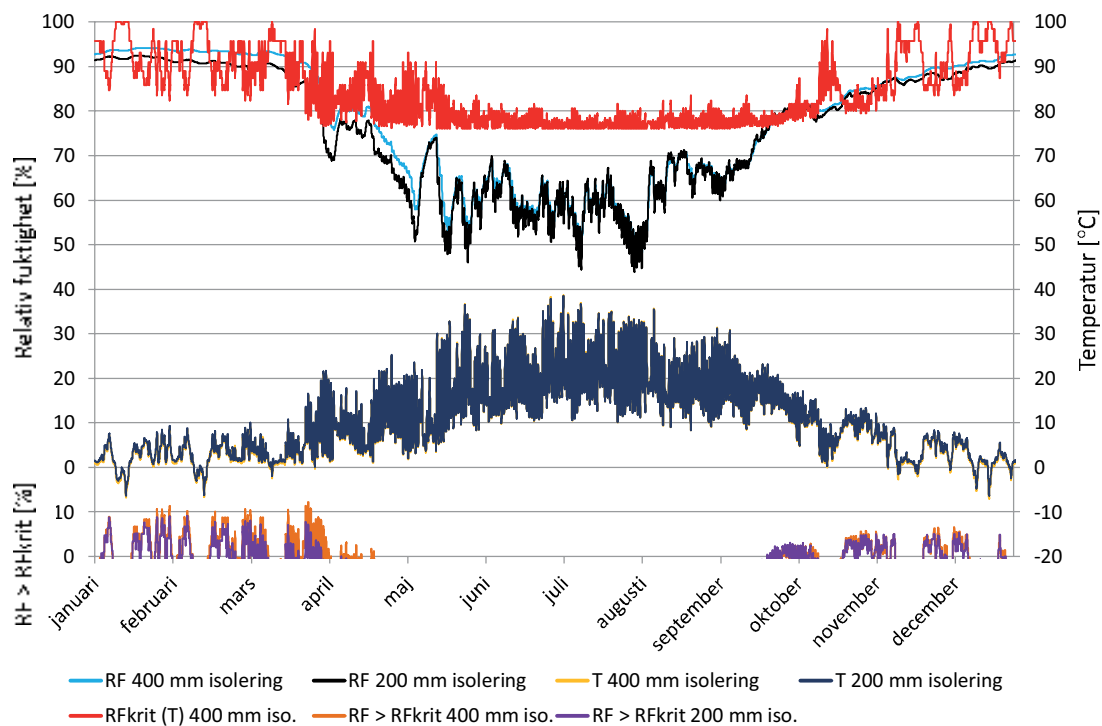


Figur 79. Studerad position A för de olika isolertjocklekarna 200 mm, utgångsfallet med 400 mm samt 600 mm.

8.2.1 Resultat - Olika isolertjocklekar i tak

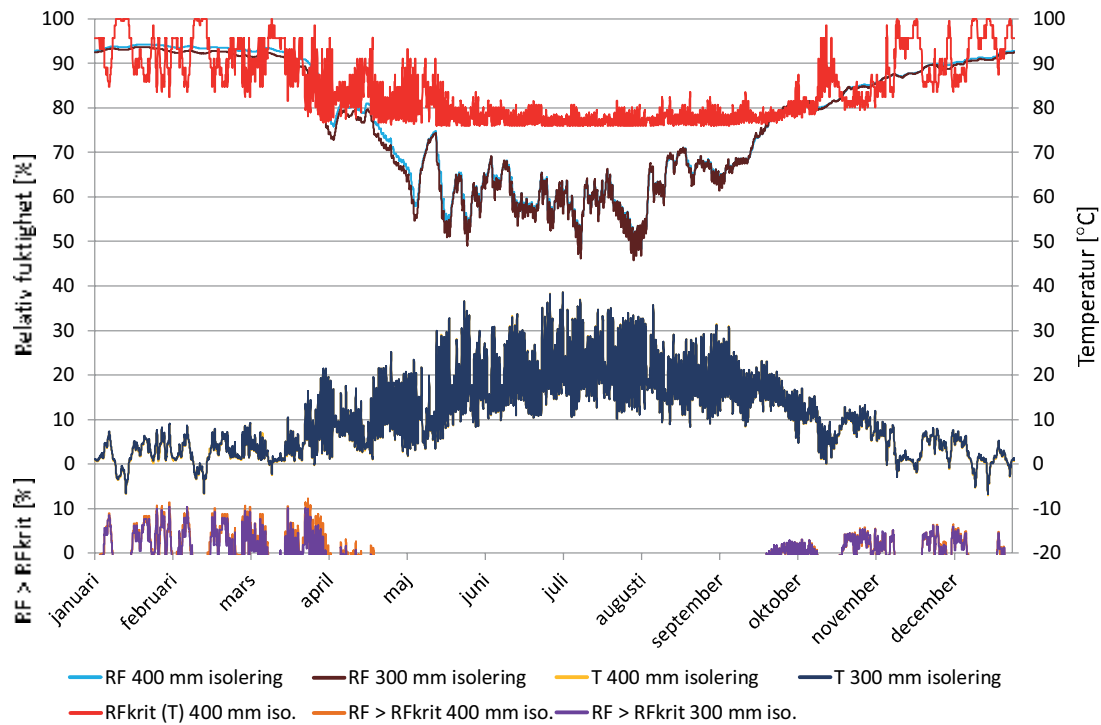
I Figur 80 till 86 jämförs fuktförhållanden i den mest fuktkritiska positionen, position A, för takkonstruktioner med 200 och 600 mm isolering i bjälklaget mot grundfallets 400 mm isolertjocklek för städerna Lund, Stockholm och Luleå. För ett fall för Lund redovisas även en jämförelse av fukttillståndet för 300 mm isolering i bjälklaget jämfört utgångsfallets 400 mm isolering.

200 mm och 400 mm isolering i Lund - Position A



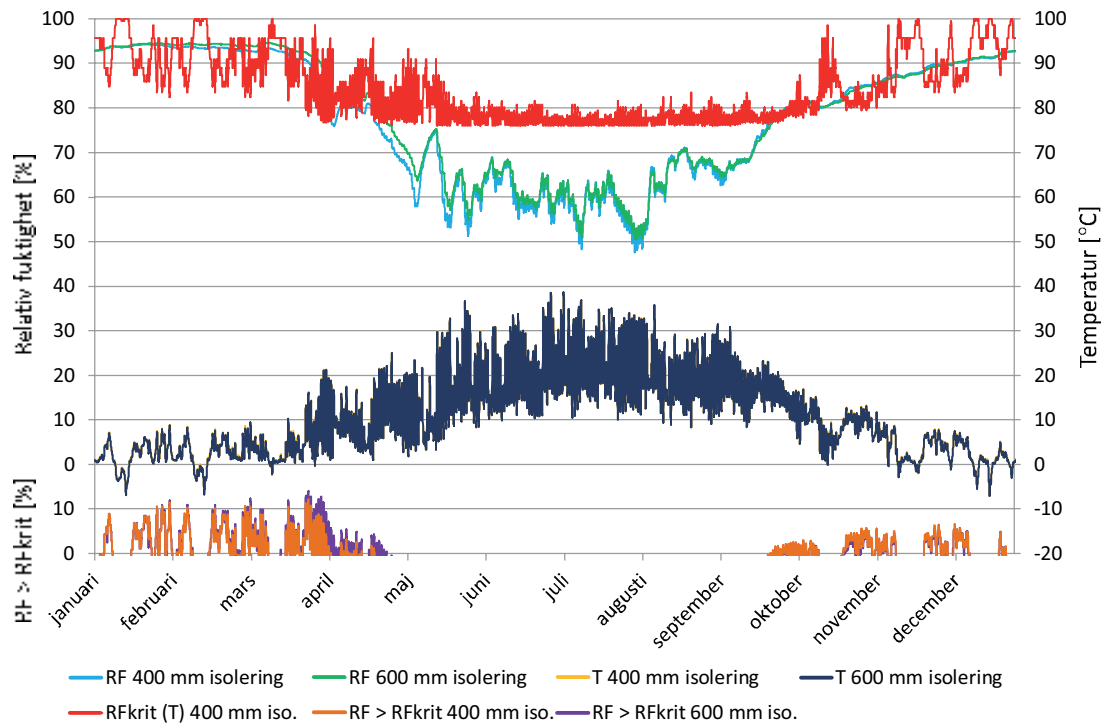
Figur 80. RF i position A med 200 respektive 400 mm tjock isolering. RF för 400 mm isolering (turkos) och 200 mm isolering (svart), RF_{krit} beroende av temperatur 400 mm isolering (röd), temperatur 400 mm isolering (gul) och 200 mm isolering (mörkblå), RF över RF_{krit} 400 mm isolering (brun) och 200 mm isolering (lila).

300 mm och 400 mm isolering i Lund – Position A



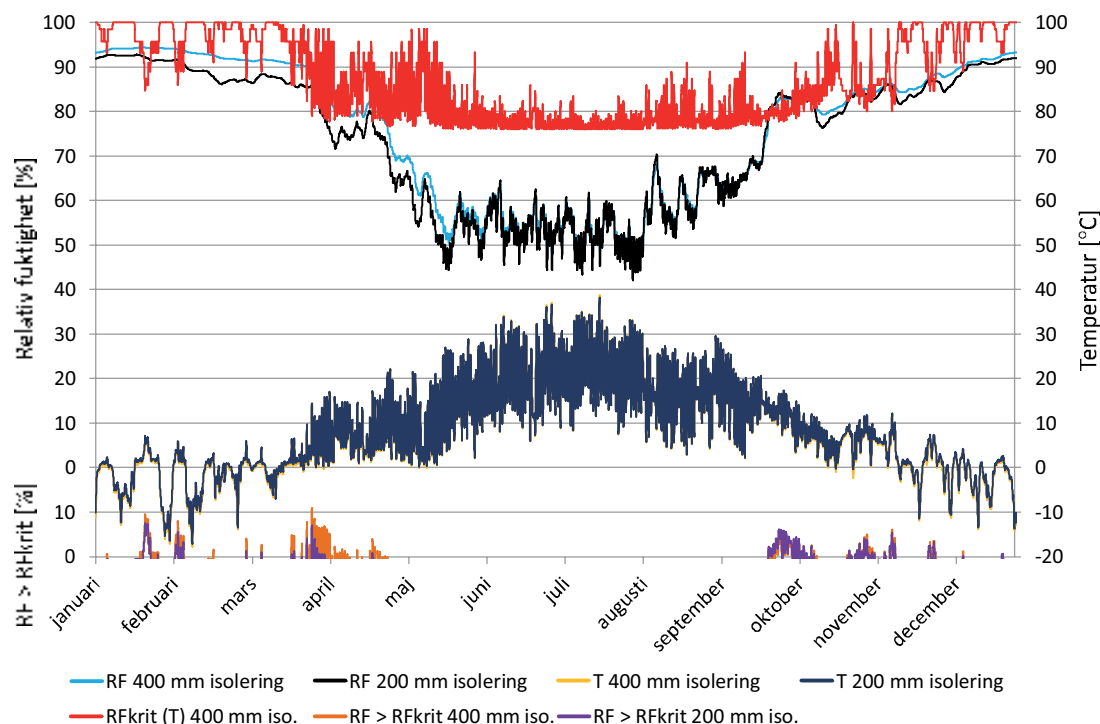
Figur 81. RF i position A med 300 respektive 400 mm tjock isolering. RF för 400 mm isolering (turkos) och 300 mm isolering (vinröd), RF_{krit} beroende av temperatur 400 mm isolering (röd), temperatur 400 mm isolering (gul) och 300 mm isolering (mörkblå), RF över RF_{krit} 400 mm isolering (brun) och 300 mm isolering (lila).

600 mm och 400 mm isolering i Lund – Position A



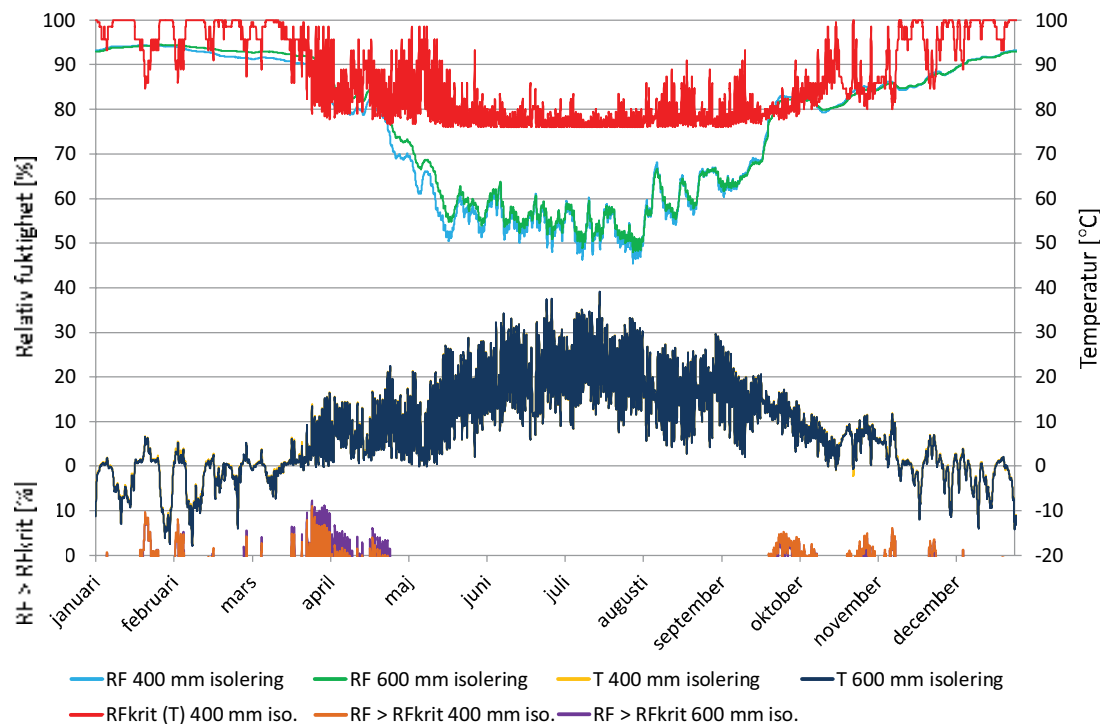
Figur 82. RF i position A med 600 respektive 400 mm tjock isolering. RF för 400 mm isolering (turkos) och 600 mm isolering (grön), RF_{krit} beroende av temperatur 400 mm isolering (röd), temperatur 400 mm isolering (gul) och 600 mm isolering (mörkblå), RF över RF_{krit} 400 mm isolering (brun) och 600 mm isolering (lila).

200 mm och 400 mm isolering i Stockholm - Position A



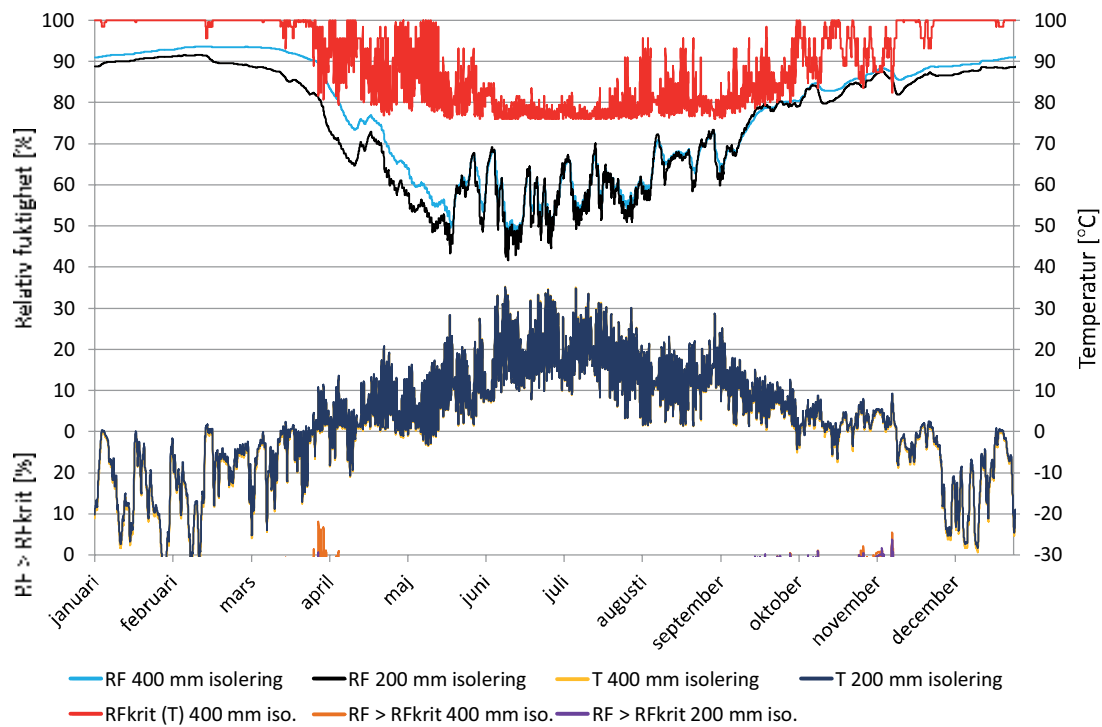
Figur 83. RF i position A med 200 respektive 400 mm tjock isolering. RF för 400 mm isolering (turkos) och 200 mm isolering (svart), RF_{krit} beroende av temperatur 400 mm isolering (röd), temperatur 400 mm isolering (gul) och 200 mm isolering (mörkblå), RF över RF_{krit} 400 mm isolering (brun) och 200 mm isolering (lila).

600 mm och 400 mm isolering i Stockholm - Position A



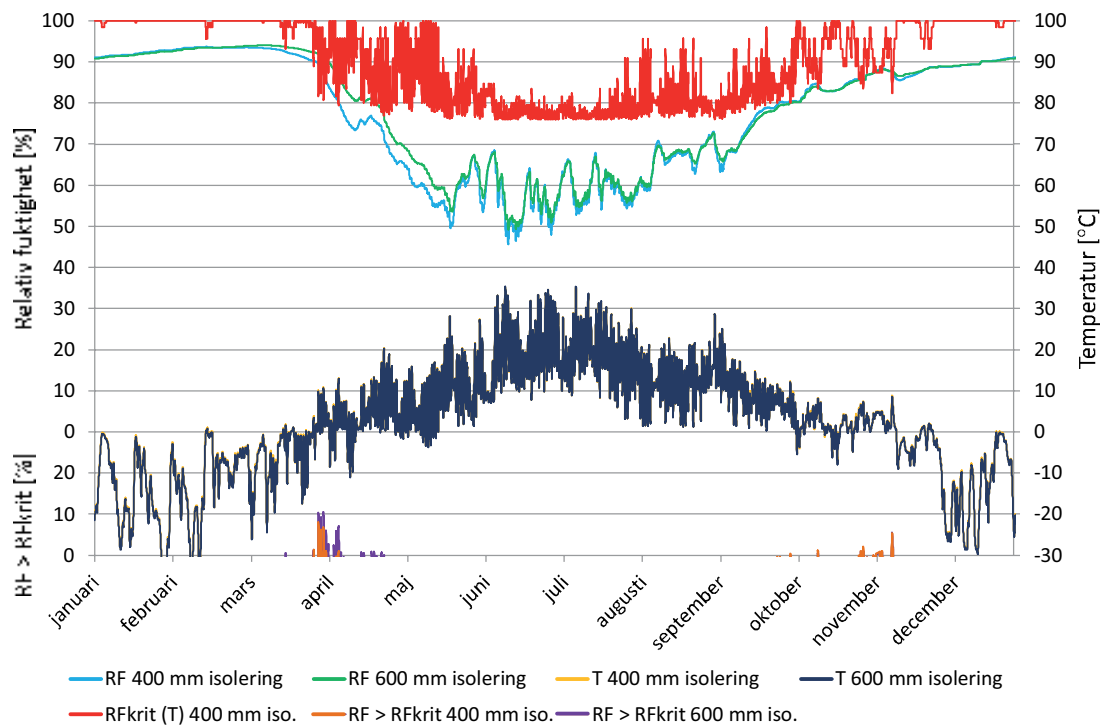
Figur 84. RF i position A med 600 respektive 400 mm tjock isolering. RF för 400 mm isolering (turkos) och 600 mm isolering (grön), RF_{krit} beroende av temperatur 400 mm isolering (röd), temperatur 400 mm isolering (gul) och 600 mm isolering (mörkblå), RF över RF_{krit} 400 mm isolering (brun) och 600 mm isolering (lila).

200 mm och 400 mm isolering i Luleå - Position A



Figur 85. RF i position A med 200 respektive 400 mm tjock isolering. RF för 400 mm isolering (turkos) och 200 mm isolering (grön), RF_{krit} beroende av temperatur 400 mm isolering (röd), temperatur 400 mm isolering (gul) och 200 mm isolering (mörkblå), RF över RF_{krit} 400 mm isolering (brun) och 200 mm isolering (lila).

600 mm och 400 mm isolering i Luleå - Position A



Figur 86. RF i position A med 600 respektive 400 mm tjock isolering. RF för 400 mm isolering (turkos) och 600 mm isolering (grön), RF_{krit} beroende av temperatur 400 mm isolering (röd), temperatur 400 mm isolering (gul) och 600 mm isolering (mörkblå), RF över RF_{krit} 400 mm isolering (brun) och 600 mm isolering (lila).

8.2.2 Analys – Olika isolertjocklekar

Resultaten i Figur 80 till 86 visar att en tunnare isolering på 200 mm påverkar fuktförhållandena positivt. Detta innebär att tunnare isolerade takkonstruktioner generellt har bättre fuktförhållanden med lägre risk för påväxt av mögel. Liknande samband har noterats för väggar där tunnare isolering visar på lägre risk för fuktrelaterade skador (Hägerstedt 2012; Nevander och Elmarsson 1991).

Vid ökad isoleringstjocklek från 200 mm till 400 mm noteras således en förhöjd risk med fler och högre antal tillfällen då förutsättningar för påväxt av mögel förekommer. Vid ytterligare tjockare isolering, från 400 till 600 mm ökar risken ytterligare. Dock ökar de tillstånd då påväxt är möjlig i betydligt lägre utsträckning i det sista fallet med en större total isolertjocklek. Risken för skador ökar således inte linjärt med ökad isolertjocklek utan tvärt om så dämpas ökningen och risken för skador vid tjockare isolering i bjälklaget. Jämförelse mellan Figur 80, 81 och 82 visar att risken för skador och förhållanden när påväxt är möjlig börjar plana ut vid isolertjocklekar runt 300 till 400 mm. Försämrade fuktillstånd på grund av ökad isolertjocklek från 400 mm till 600 mm är under visat perioder försumbar samtidigt som en tydlig försämning av fuktförhållandena kan noteras vid en ökning från 200 mm till 400 mm isolertjocklek.

Jämförelse av resultaten i Figur 80 till 86 visar att ökningen av isolertjocklek och det försämrade fuktförhållanden som detta medför ökar för kallare klimat längre norr ut. Skillnaden är större för ökningen från 200 mm till 400 mm isolering i Luleå, enligt Figur 84, jämfört med motsvarande ökning i Lund enligt Figur 80. Detta beror troligtvis på den lägre temperatur som råder ju längre norrut en byggnad är lokaliserad där den lägre temperaturen i förlängningen höjer den relativa fuktigheten. Notera dock att risken för mögelpåväxt fortfarande är större i Lund jämfört de andra två studerade städerna Stockholm och Luleå.

8.2.3 Slutsats – Olika isolertjocklekar

Ökad isolertjocklek försämrar fuktförhållanden i den mest fuktkritiska positionen på insidan av råsponen, position A. Vid isolertjocklekar från cirka 400 mm och uppåt försämrar förhållandena vid ökad isolertjocklek i mer begränsad omfattning jämfört med när de ökas från cirka 200 mm till 400 mm.

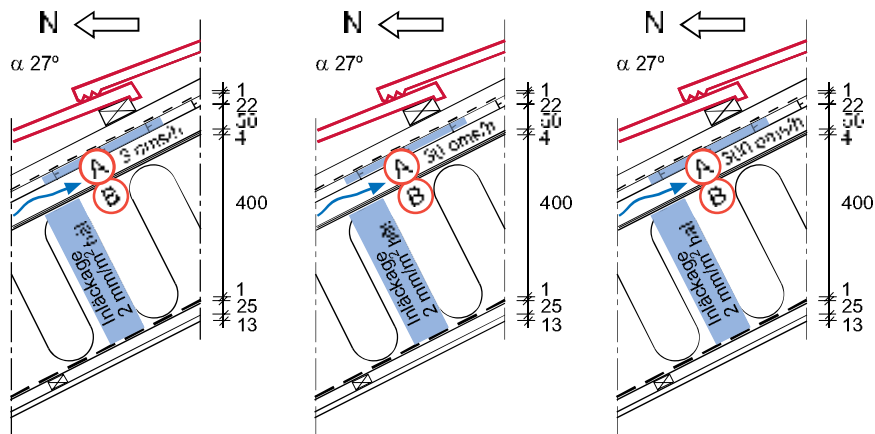
Även om risken för skador är störst i Lund, av de tre studerade städerna, Lund, Stockholm och Luleå, så påverkas fuktförhållanden på insidan av råsponen i störst utsträckning av förändrad isolertjocklek i norra Sverige.

8.3 Olika ventilationsflöden i luftspalten under råsponen

Nedan redovisas påverkan på fuktförhållanden vid olika ventilationsflöden i luftspalten på insidan av råsponen som ligger i direkt anslutning till den mest fuktkritiska positionen, position A, för städerna Lund och Stockholm.

Flödet i spalten är i beräkningsmodellen satt konstant men varierar hela tiden i verkliga sammanhang. Variationerna i flödet i spalterna beror främst på tryckskillnader som uppstår på grund av vindriktning och vind hastighet. Även solen, som i sin tur värmer upp taket och luften i delar av takets luftspalt, främst mot söder, påverkar sannolikt flödet i spalten. Ventilationsflödet i spalten beror vidare på hur denna är konstruerad. Flödet avgörs till stor del därför även av hur öppen spalten är i botten, insida takfot, samtnocken och vilken eventuell ytterligare ventilation som finns genom till exempel galler på gavelspetsar eller liknande (Falk 2010).

I beräkningsmodellen studeras ventilationsflöden för tre olika fall enligt Figur 87. Utgångsfallet med 30 oms/h i luftspalten jämförs med fall för 3 oms/h och 300 oms/h. I dessa fall antas 3 oms/h motsvara en så gott som helt sluten luftspalt. Utgångsfallet med 30 oms/h antas motsvara en svagt ventilerad spalt och spalten med 300 oms/h antas motsvara en mycket väl ventilerad spalt, eventuellt med någon form av påtvingad ventilation. Ventilationsflöden liknande 3 oms/h har använts i tidigare studier av kalla vindar (Harderup och Arfvidsson 2008).

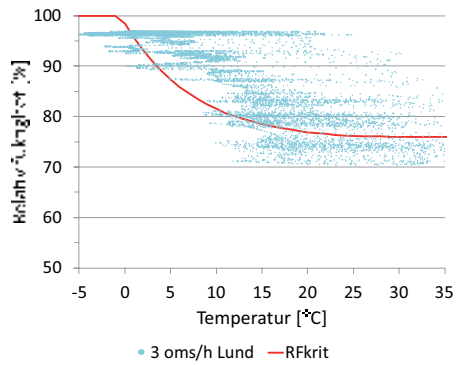


Figur 87. Studerad position A och B med olika ventilationsflöden i luftspalten innanför råsPonten.

8.3.1 Resultat - Olika ventilationsflöden i luftspalten under råsPonten

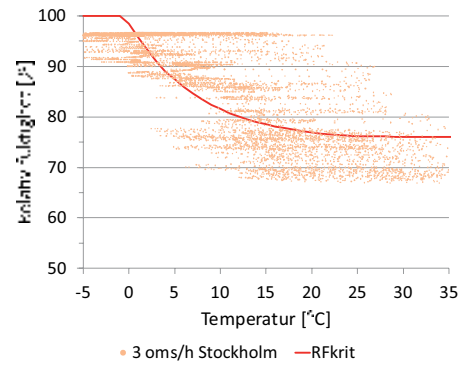
I Figur 88 till 93 redovisas jämförelse mellan beräkningar för position A på insidan av råsPont för de olika ventilationsflödena, 3 oms/h, 30 oms/h (utgångsfallet) och 300 oms/h i luftspalten på insidan av råsPonten för en takkonstruktion i Lund och Stockholm. I Figur 94 och 95 redovisas en mer detaljerad jämförelse för fuktförhållandena av utgångsfallet med 30 oms/h med 3 oms/h respektive 300 oms/h på insida råsPont i position A för Lund. I Figur 96 visas vidare en detaljerad jämförelse för utgångsfallet med 30 oms/h jämfört med 300 oms/h i position B för Lund.

3 oms/h i Lund - Position A



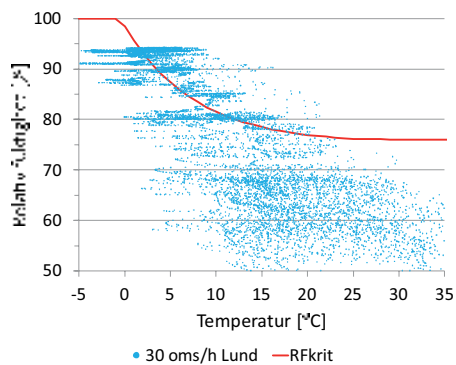
Figur 88. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Lund med 3 oms/h ventilation i luftpalten (ljursturkos) och RF_{krit} (röd).

3 oms/h i Stockholm - Position A



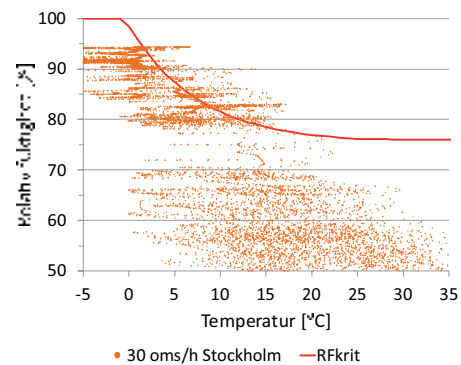
Figur 89. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Stockholm med 3 oms/h ventilation i luftpalten (ljusbrun) och RF_{krit} (röd).

30 oms/h i Lund - Position A



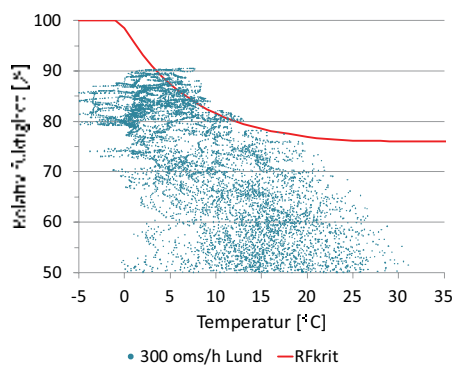
Figur 90. RF jämfört med RF_{krit} för utgångsfallet i position A i Lund med 30 oms/h ventilation i luftpalten (turkos) och RF_{krit} (röd).

30 oms/h i Stockholm - Position A



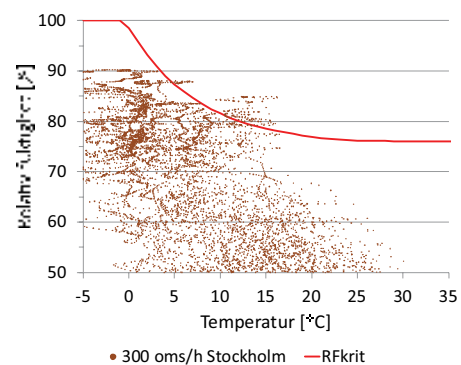
Figur 91. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Stockholm med 30 oms/h ventilation i luftpalten (brun) och RF_{krit} (röd).

300 oms/h i Lund - Position A



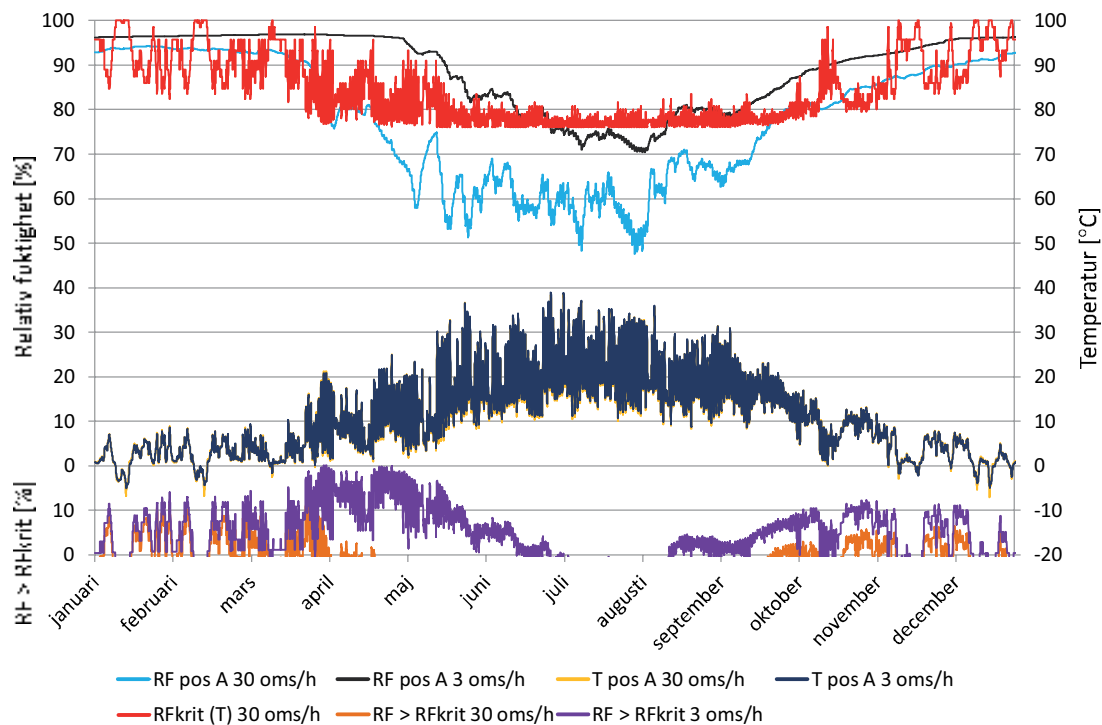
Figur 92. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Lund med 300 oms/h ventilation i luftpalten (mörkturkos) och RF_{krit} (röd).

300 oms/h i Stockholm - Position A



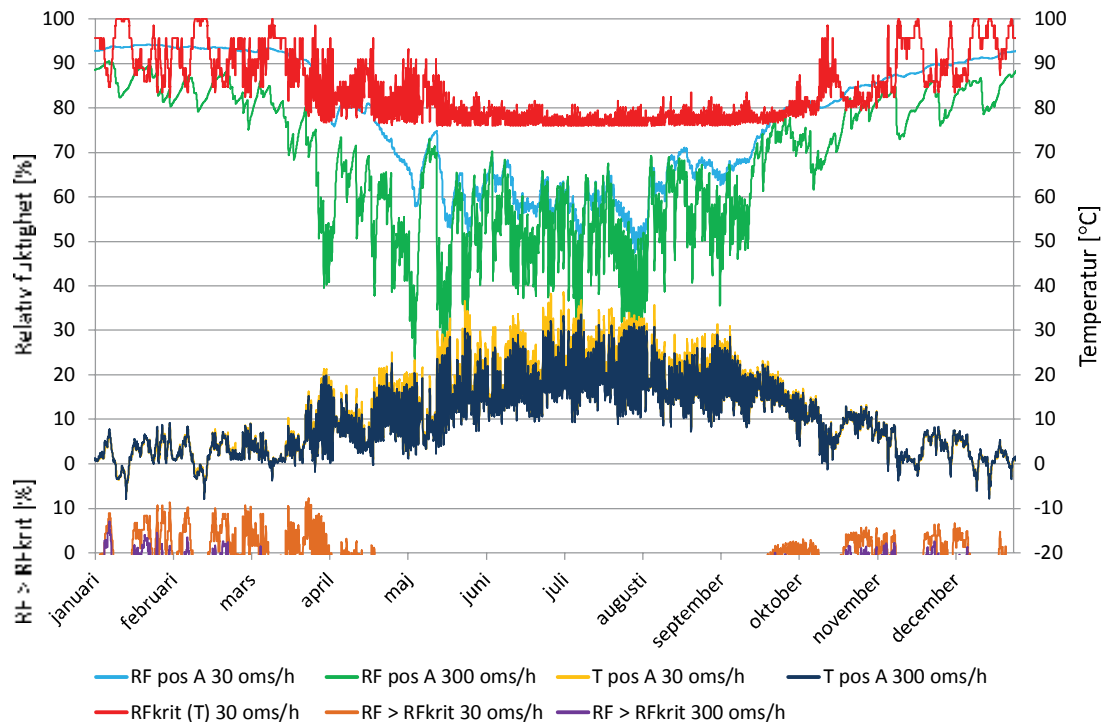
Figur 93. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Stockholm med 300 oms/h ventilation i luftpalten (mörkbrun) och RF_{krit} (röd).

3 oms/h jämfört med 30 oms/h i Lund - Position A



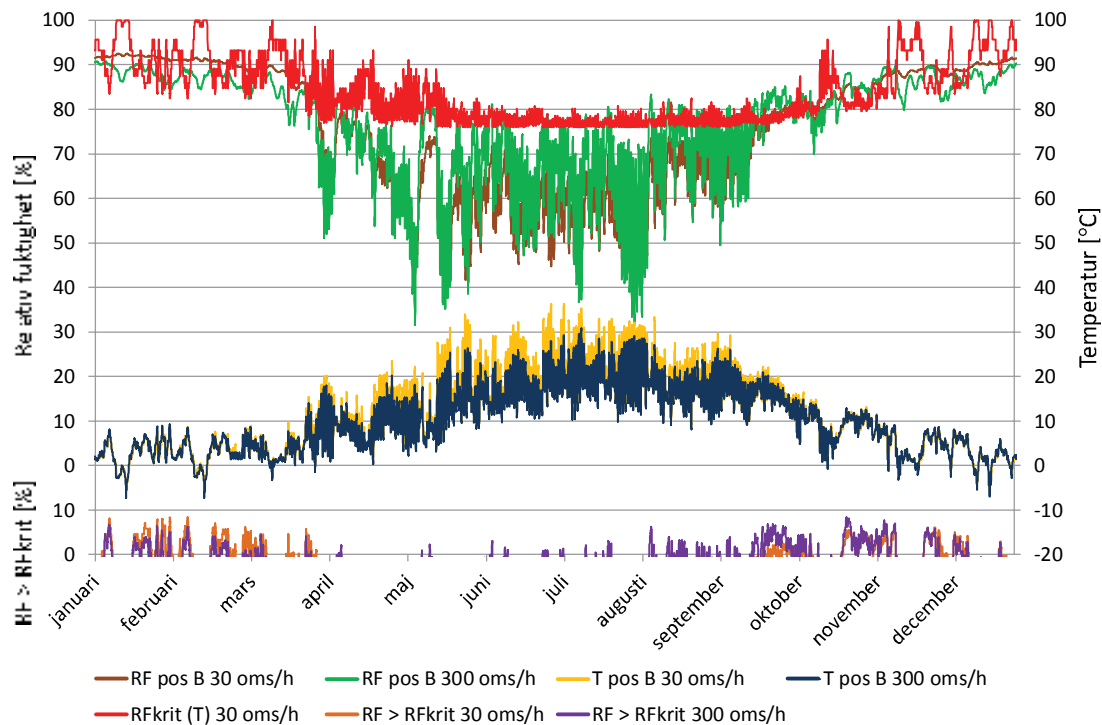
Figur 94. RF i position A med 3 respektive 30 oms/h i luftspalten innanför råsponten. RF för 30 oms/h (turkos) och 3 oms/h (svart), RF_{krit} beroende av temperatur för 30 oms/h (röd), temperatur 30 oms/h (gul) och 3 oms/h (mörkblå), RF över RF_{krit} 30 oms/h (brun) och 3 oms/h (lila).

300 oms/h jämfört med 30 oms/h i Lund - Position A



Figur 95. RF i position A med 30 respektive 300 oms/h i luftspalten innanför råsponten. RF för 30 oms/h (turkos) och 300 oms/h (grön), RF_{krit} beroende av temperatur för 30 oms/h (röd), temperatur 30 oms/h (gul) och 300 oms/h (mörkblå), RF över RF_{krit} 30 oms/h (brun) och 300 oms/h (lila).

300 oms/h jämfört med 30 oms/h i Lund – Position B



Figur 96. RF i position B med 30 respektive 300 oms/h i luftspalten innanför råsponten. RF för 30 oms/h (mörkbrun) och 300 oms/h (grön), RF_{krit} beroende av temperatur för 30 oms/h (röd), temperatur 30 oms/h (gul) och 300 oms/h (mörkblå), RF över RF_{krit} 30 oms/h (brun) och 300 oms/h (lila).

8.3.2 Analys – Olika ventilationsflöden i luftspalten under råsponten

Ett lägre flöde i luftspalten skapar generellt sett en något högre temperatur vilket i sin tur reducerar den relativa fuktigheten. Den högre temperaturen orsakad av det lägre flödet inträffar främst sommartid när en reducerad risk för påväxt av mögel föreligger, enligt Figur 94. Vidare kan det ifrågasättas hur mycket ett lägre flöde verkligen höjer temperaturen i luftspalten.

Av Figur 88, 89 och 94 framgår att ett lågt flöde, i detta fall 3 oms/h, skapar höga fuktförhållanden. Detta beror på att flödet är så pass lågt att den fukt som i beräkningsmodellen har ansatts till att tränga in i konstruktionen inte ventileras ut i tillräcklig omfattning. Vid ytterligare lägre flöden än 3 oms/h riskerar till och med en fuktbuffring att ske då mängden inträngande fukt blir större jämfört med den mängd fukt som kan ventileras ut.

Vid jämförelse mellan Figur 90 till 93 samt Figur 95 så framgår att ett högre flöde med 300 oms/h skapar bättre förhållanden på insidan av råsponten i position A. Detta beror på att den fukt som i beräkningsmodellen ansatts till att tränga in i konstruktionen, främst via råsponten, torkar ut snabbare jämfört med ett ventilationsflöde om 30 oms/h. Med anledning av ansatta fuktlaster genererar således ett högre flöde i spalten bättre fuktförhållanden på insidan av råsponten i position A med lägre risk för mögelpåväxt.

Av Figur 94 och 95 framgår dock att ett högre flöde också genererar en lägre temperatur på kallvinden vilket i sin tur leder till en högre relativ fuktighet. På insidan av råsponten i position A är dock de positiva effekterna av att inträngande fukt ventileras ut snabbare större vid det höga flödet om 300 oms/h jämfört med den höjning av den relativa fuktigheten som den lägre temperaturen ger.

Position B som är lokaliserad på insidan av träfiberskivan och som inte primärt påverkas av fukt som tränger in i råsponen utsätts dock enbart för ett kallare klimat vid ett högre flöde om 300 oms/h i luftspalten. Den lägre temperaturen i position B resulterar följaktligen i en högre relativ fuktighet. Av Figur 96 framgår att det högre flödet om 300 oms/h, sänker temperaturen så pass mycket i position B att förutsättningar för mögelpåväxt skapas. Vid jämförelse mellan Figur 94 och 95 framgår att temperaturen är några grader högre på utsida råspon, troligen beroende på att denna värms upp av solstrålning i större utsträckning jämfört position B längre in i konstruktionen. Den högre temperaturen gör att ingen risk för mögelpåväxt föreligger på insidan av råsponen i position A samtidigt som förutsättningar finns för mögelpåväxt i position B längre in i konstruktionen med en lägre temperatur. Kortfattat så skapar således det högre flödet bättre förutsättningar i en position och sämre förutsättningar i en annan.

Vid jämförelse mellan beräkningar med höga flöden om 300 oms/h, enligt Figur 94 och 95 kan det konstateras att amplituden i såväl beräknad temperatur som relativ fuktighet är högre jämfört med lägre flöden i luftspalten. Detta beror på att temperaturen i position A ändras snabbare vid höga luftflöden. Snabbare variationer i temperaturen leder också till snabbare förändringar i den relativa fuktigheten.

Sammantaget kan det konstateras att flödet i luftspalten skall vara tillräckligt högt för att ventilera ut den fukt som tränger in i takkonstruktionen. Flödet i ventilationsspalten skall samtidigt begränsas så mycket som möjligt för att undvika att takkonstruktionen kyls ner och på så sätt höga fuktillstånd skapas. I sammanhanget skall det också beaktas att inläckage in i takkonstruktionen har omfattande betydelse för fuktförhållandena enligt kapitel 7.3, Effekten av inläckage genom takpapp in i råspon. Detta innebär att det primärt skall säkerställas att ingen fukt alls tillåts läcka in på vinden. Därefter skall ett flöde ansättas som är tillräckligt högt för att ventilera ut all den fukt som trots allt tränger in. Inläckage får således primärt inte anses kunna kompenseras av högre ventilationsflöden.

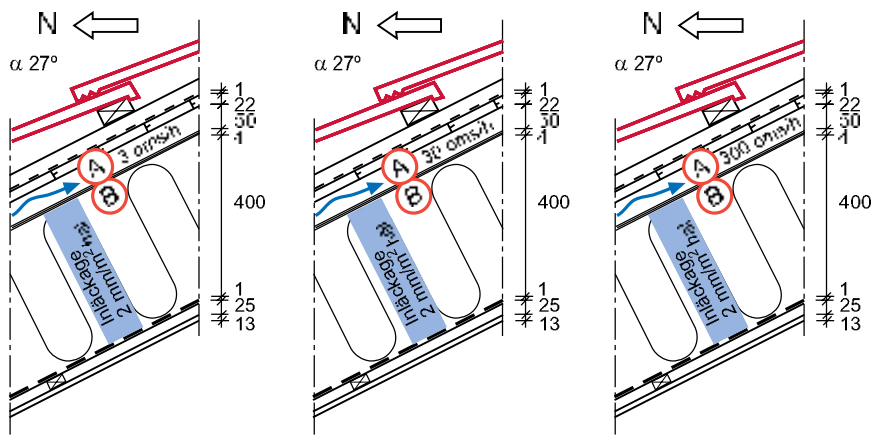
I praktiken skapar situationen ett svår analyserat läge av flera skäl. Dels för att inläckaget beror av flera olika faktorer. En grundläggande förutsättning för låga inläckage är en väl utförd projektering där uteslutande lättbyggda konstruktioner, detaljer och andra lösningar förekommer. Detta ställer även krav på arkitekten som i sin tur inte kan tvinga fram olika former av så kallade "ingenjörskulgranslösningar" på grund av olika former av "extremarkitektur". Vidare skall genomföringar etc. genom takkonstruktionen helst inte förekomma alls. Eftersom detta knappast är tillämpligt i verkligheten ska alla genomföringar i alla fall samlas till så få platser som möjligt, det vill säga att alla genomföringar görs på en och samma plats. Detta gör att fokus på en tät takkonstruktion kan läggas på just denna plats och skadan i värsta fall begränsas till just en, eller ett fåtal platser. I slutändan är det även en förutsättning att konstruktionen uppförs på ett fackmannamässigt sätt.

8.3.3 Slutsats – Olika ventilationsflöden i luftspalten under råsponen

Flödet i luftspalten skall vara tillräckligt högt för att ventilera ut den mängd fukt som tränger in i takkonstruktionen. Flöden som inte ventilerar ut den fukt som tränger in i tillräcklig omfattning är skadligt för takkonstruktionen. Samtidigt skall flödet i luftspalten vara så lågt som möjligt för att inte temperaturen inne i takkonstruktionen skall sänkas. I sammanhanget skall det primärt fokuseras på att tillse så inga inläckage alls sker på vinden eftersom inläckage inte kan kompenseras av högre ventilationsflöden i luftspalten.

8.4 Olika ventilationsflöden i luftspalten utan inläckage i råspont

Med bakgrund av resultaten i tidigare kapitel utvärderas och jämförs fuktillstånd i takkonstruktionen med olika flöden i luftspalten om inga inläckage genom råsponten föreligger enligt Figur 97.



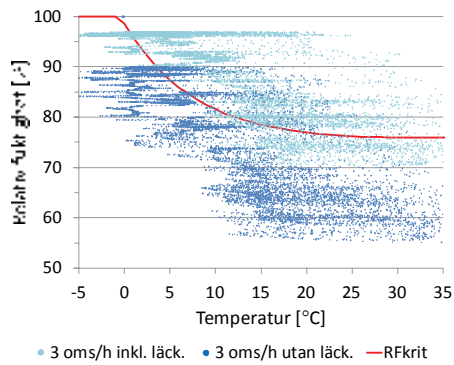
Figur 97. Studerad position A och B med olika ventilationsflöden i luftspalten men utan inläckage in genom takpappen ner i råsponten.

8.4.1 Resultat – Olika ventilationsflöden i luftspalten utan inläckage i råspont

I Figur 98 till 103 visas jämförelser mellan beräkningar för position A på insidan av råsponten och position B i överkant av isoleringen, på insidan av den hårda träfiberskivan som skapar luftspalten i parallelltaket för de olika flödena 3 oms/h, 30 oms/h och 300 oms/h i luftspalten med och utan inläckage utifrån in genom takpappen in i råsponten. Notera att fuktläckage fortfarande är ansatt att förekomma från insidan genom ett mindre hål om 2 mm/m² ut genom den invändiga ångspärren.

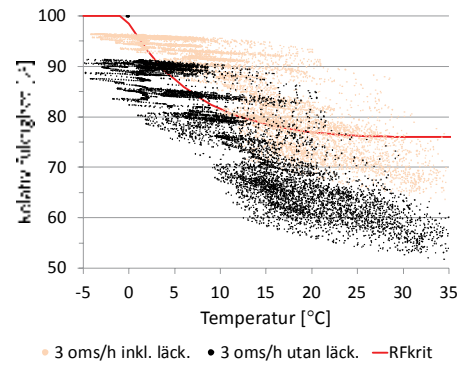
I Figur 104 till 106 visas en mer detaljerad jämförelse för fuktförhållandena i position A och B vid olika flöden om inget inläckage in i råsponten förekommer.

Pos A 3 oms/h med och utan inläckage



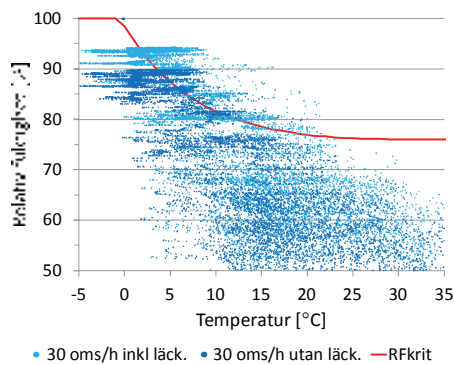
Figur 98. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Lund med 3 oms/h ventilation i luftpalten med inläckage (ljusurkos) och utan inläckage (mörkblå) samt RF_{krit} (röd).

Pos B 3 oms/h med och utan inläckage



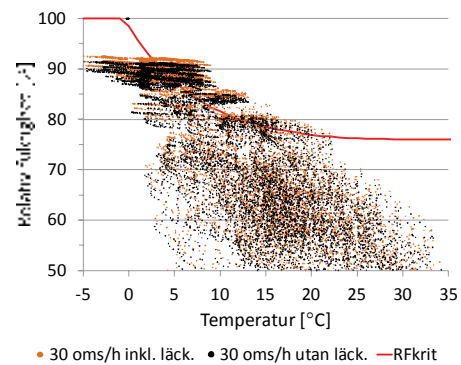
Figur 99. RF jämfört med RF_{krit} i position B i Lund med 3 oms/h ventilation i luftpalten med inläckage (ljusbrun) och utan inläckage (svart) samt RF_{krit} (röd).

Pos A 30 oms/h med och utan inläckage



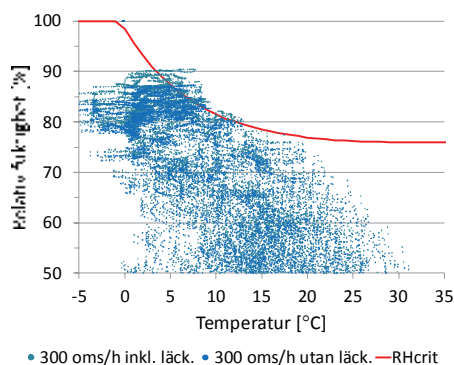
Figur 100. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Lund med 30 oms/h ventilation i luftpalten med inläckage för utgångsfallet (urkos) och utan inläckage (mörkblå) samt RF_{krit} (röd).

Pos B 30 oms/h med och utan inläckage



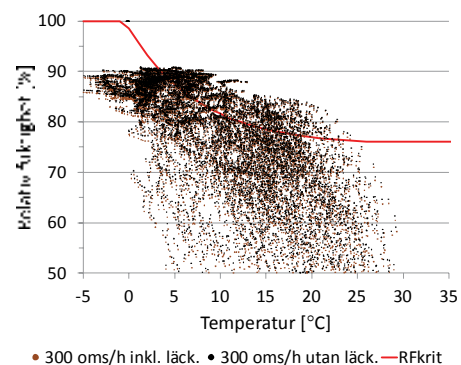
Figur 101. RF jämfört med RF_{krit} i position B i Lund med 30 oms/h ventilation i luftpalten med inläckage för utgångsfallet (brun) och utan inläckage (svart) samt RF_{krit} (röd).

Pos A 300 oms/h med och utan inläckage



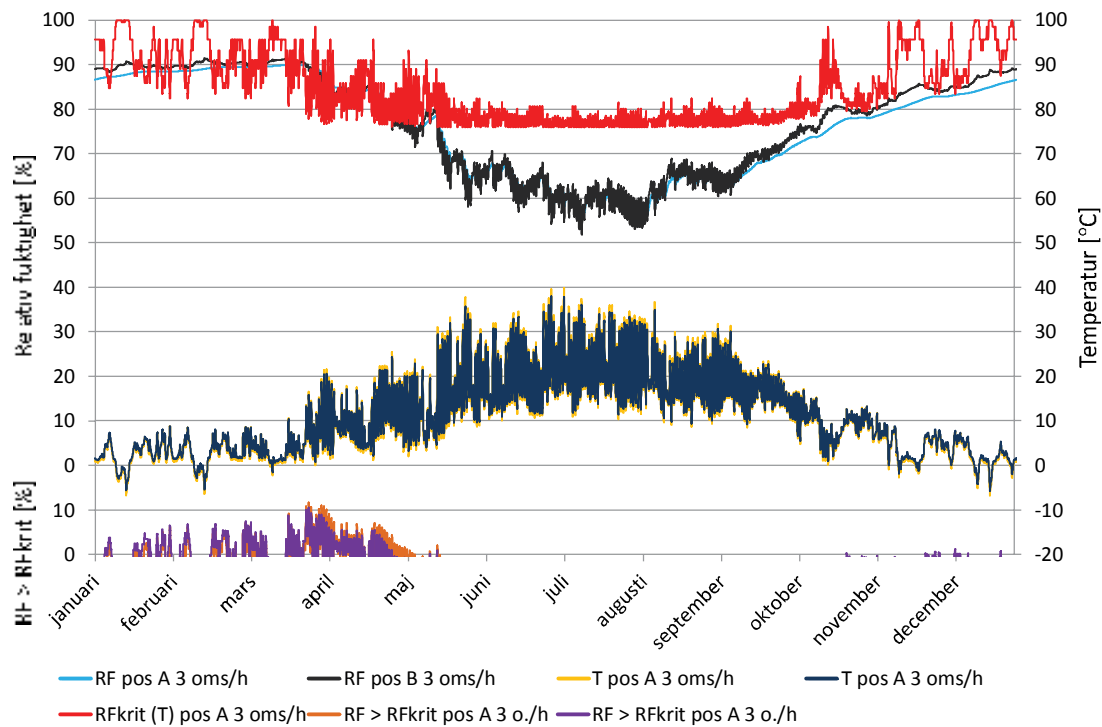
Figur 102. RF jämfört med RF_{krit} i position A i Lund med 300 oms/h ventilation i luftpalten med inläckage (mörkurkos) och utan inläckage (mörkblå) samt RF_{krit} (röd).

Pos B 300 oms/h med och utan inläckage



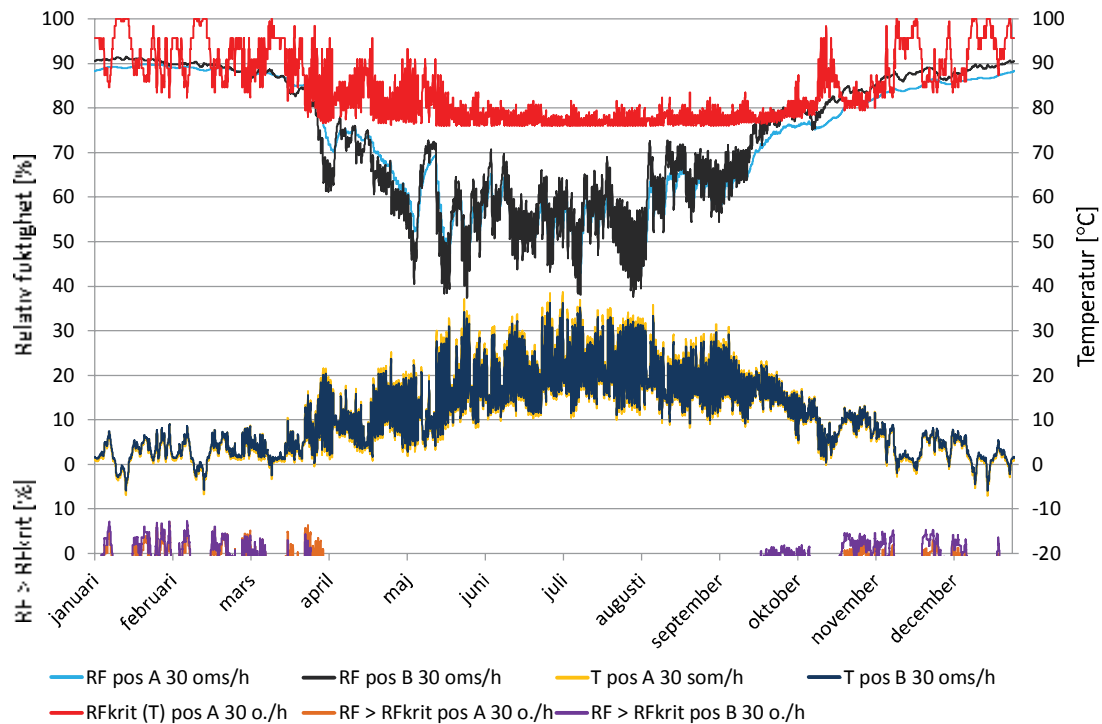
Figur 103. RF jämfört med RF_{krit} i position B i Lund med 300 oms/h ventilation i luftpalten med inläckage (mörkbrun) och utan inläckage (svart) samt RF_{krit} (röd).

Position A och B med 3 oms/h i luftspalten utan inläckage i råsponen i Lund



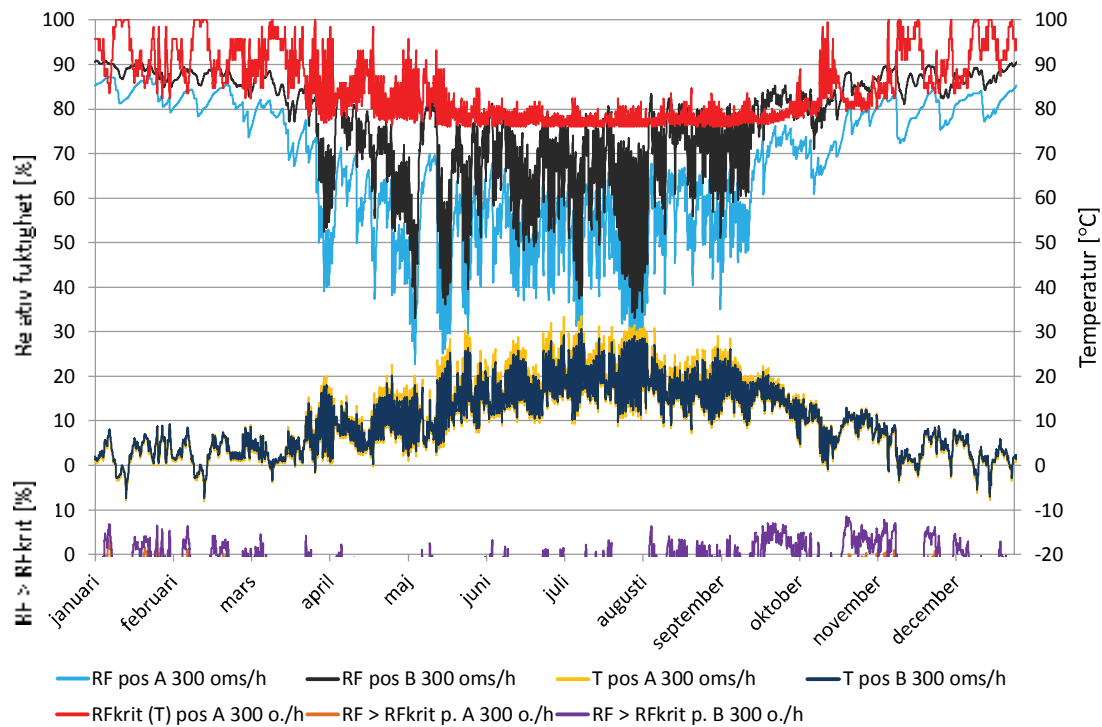
Figur 104. RF i position A och B med 3 oms/h i luftspalten innanför råsponen utan inläckage in i råsponen. RF för position A (turkos) och position B (svart), RF_{krit} beroende av temperatur i position A (röd), temperatur position A (gul) och position B (mörkblå), RF över RF_{krit} position A (brun) och position B (lila).

Position A och B med 30 oms/h i luftspalten utan inläckage i råsponen i Lund



Figur 105. RF i position A och B med 30 oms/h i luftspalten innanför råsponen utan inläckage in i råsponen. RF för position A (turkos) och position B (svart), RF_{krit} beroende av temperatur i position A (röd), temperatur position A (gul) och position B (mörkblå), RF över RF_{krit} position A (brun) och position B (lila).

Position A och B med 300 oms/h i luftspalten utan inläckage i råsponen i Lund



Figur 106. RF i position A och B med 300 oms/h i luftspalten innanför råsponen utan inläckage in i råsponen. RF för position A (turkos) och position B (svart), RF_{krit} beroende av temperatur i position A (röd), temperatur position A (gul) och position B (mörkblå), RF över RF_{krit} position A (brun) och position B (lila).

8.4.2 Analys – Olika ventilationsflöden i luftspalten utan inläckage i råspons

Utan inläckage genom takpappen in i råsponen blir den relativa fuktigheten som förväntat generellt sett något lägre i både position A på insidan av råsponen och i position B i ovankant av isoleringen på insidan av masonitskivan som skapar luftspalten innanför råsponen. Enligt Figur 104 till 106 blir också den relativa fuktigheten i position B högt upp i isoleringen på insidan av den masonitskiva som skapar luftspalten något högre med större risk för mögelpåväxt jämfört med position A på insidan av råsponen oavsett vilket flöde som förekommer i luftspalten om inget inläckage ner i råsponen förekommer.

Enligt Figur 102 och 103 samt i enlighet med föregående kapitel föreligger ingen större skillnad av fuktförhållandena varken i position A eller B om det är ett högt luftflöde i ventilationsspalten oavsett om inläckage in i råsponen förekommer eller inte. Enligt Figur 101 är inte heller skillnaden speciellt stor i position B vid lägre flöden som 30 oms/h eftersom positionen ligger relativt långt från inläckagets lokalisering. I position A som ligger i stort sett i direkt anslutning till inläckaget genom takpappen ner i råsponen syns påverkan av inläckaget dock tydligt även vid 30 oms/h i luft spalten, enligt Figur 100.

Av Figur 104 till 106 framgår att varken ett för högt eller för lågt flöde skall förekomma i spalten för att så bra fukttekniska förhållanden som möjligt med lägsta möjliga risk för att mögelpåväxt ska kunna uppstå. Det bör beaktas att ett fuktläckage genom ett mindre hål med en diameter om 2 mm/m² i den inre ånspärren fortfarande är ansatt i beräkningen. I praktiska sammanhang bör svårigheterna att nå ett idealt luftflöde i luftspalten beaktas. Förutom storleken på spaltöppningar så har även omgivande klimat, främst i form av vind och vindriktning stor betydelse för vilket flöde som

uppstår i spalten (Falk 2010). Ett sätt att kontrollera flödet i spalten är med en styrd övertycksventilation likande den fläkt som finns i de fuktsäkerhetsapplikationer som kan monteras i vindsutrymmen och kryppgrunder (Ventotech 2014; Trygghetsvakten 2014).

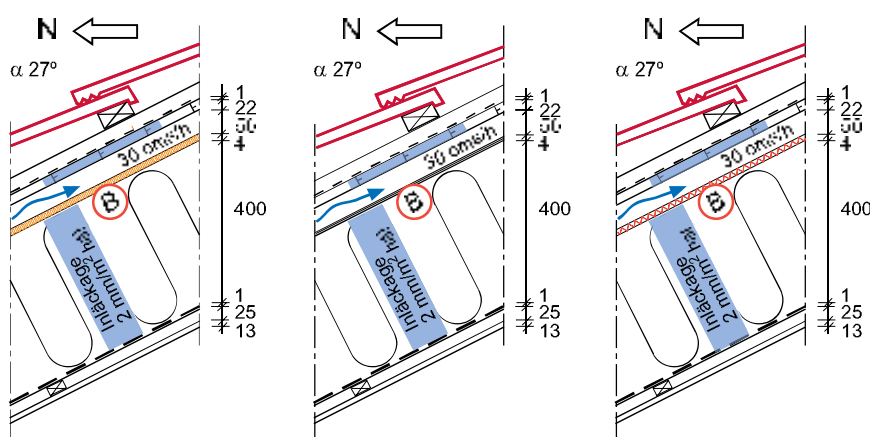
8.4.3 Slutsats – Olika ventilationsflöden i luftspalten utan inläckage i råspont

Sett ur både position A och position B och förutsättningen att inget inläckage sker in genom takpappen ner i råsponten skall flödet begränsas men samtidigt inte vara varken för högt eller för lågt vilket i praktiken kan vara mycket svårt. Primärt skall alla inläckage av fukt in i takkonstruktionen förhindras. Ventilationsflödet i spalten skall därefter vara så pass högt att all fukt som tränger in i takkonstruktionen ventileras ut, samtidigt som flödet skall vara så lågt som möjligt. Notera att ett högre flöde i luftspalten inte får motivera ett slarvigt utfört arbete med håligheter som i sin tur leder till inläckage in i takkonstruktionen.

8.5 Cellplast eller styv mineralull som luftspaltbildande skiva

Vissa takkonstruktioner är försedda med en cellplastskiva eller en styv mineralullskiva för att hålla tillbaka isoleringen och skapa luftspalten på insidan av råsponten. I utgångsfallet utgörs denna skiva av en diffusionsöppen porös träfiberskiva.

Nedan studeras påverkan på fuktförhållandena i position B om den diffusionsöppna träfiberskivan ersätts med en mer diffusionstät cellplastskiva jämfört träfiberskivan alternativt ersätts med en mer diffusionsöppen mineralullsskiva som antas ha samma ångtäthet som underliggande isolering. Cellplastskivan har ett S_d -värde på 0,50 m vilket innebär att den är cirka tio gånger så tät jämfört träfiberskivans täthet med ett S_d -värde på 0,0625 m. Mineralullskivan antas ha en täthet som i motsats till cellplastskivan är cirka fem gånger mer diffusionsöppen jämfört träfiberskivan i utgångsfallet och har ett S_d -värde på 0,013 m. Exempel på studerade konstruktioner redovisas i Figur 107. Fallet med en mineralullskiva liknar i stora drag beräkningsmodellen för ett fall med en kallvind när ingen diffusionstät skiva ligger ovanpå mineralullsisoleringen. För att påverka värmeförhållandena så lite som möjligt i modellen sätts cellplastskivan och mineralullskivan lika tjocka som träfiberskivan även om detta i praktiken kan vara något tunt.

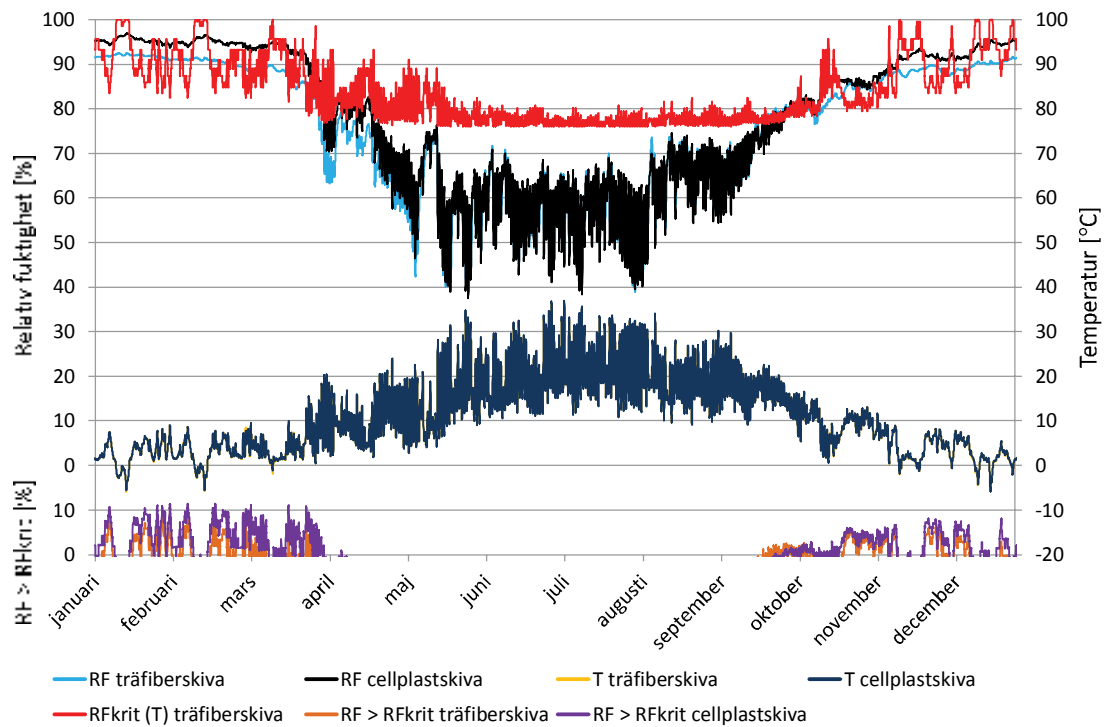


Figur 107. Konstruktioner med de olika materialen, mineralull, träfiberskiva och cellplast, på den skiva som skapar en luftspalt på insidan av råsponten.

8.5.1 Resultat – Cellplast eller styv mineralull som luftspaltbildande skiva

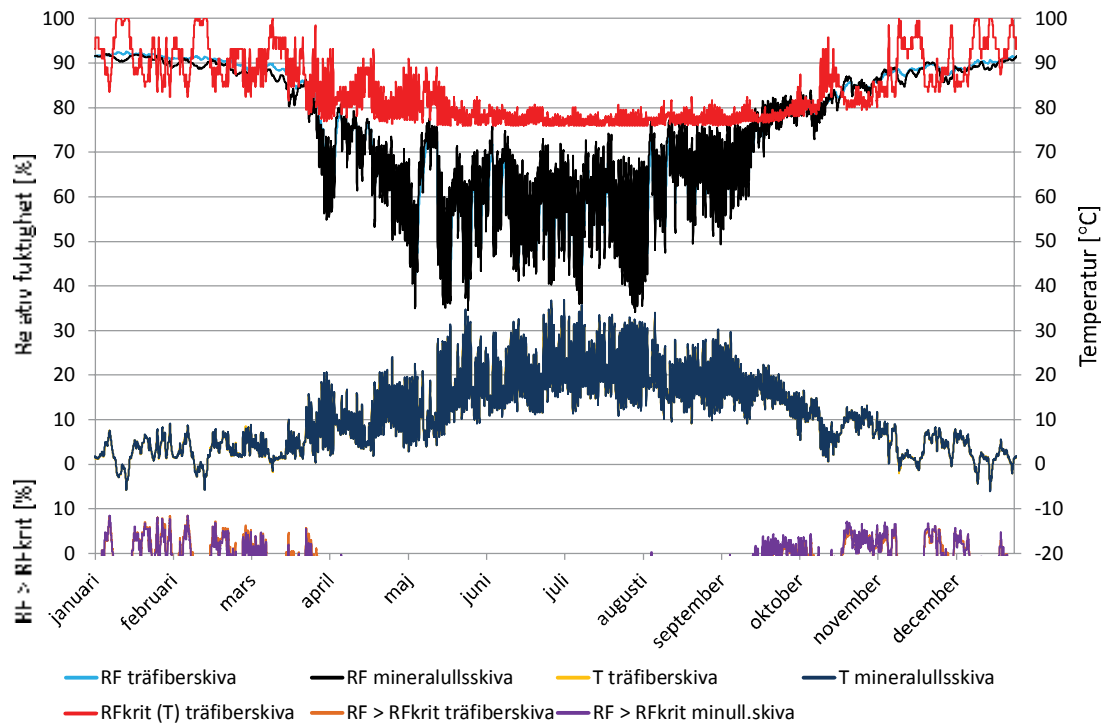
I Figur 108 och 109 nedan redovisas en jämförelse för fuktförhållandena om den luftspaltbildande skivan är av cellplast eller styv mineralull jämfört med träfiberskivan som är ansatt i utgångsfallet.

Luftspaltbildande skiva av cellplast jämfört med träfiberskiva i Lund – Position B



Figur 108. RF i position B med luftspaltbildande skiva av cellplast respektive träfiber på utsida isolering. RF för träfiberskiva (turkos) och cellplastskiva (svart), RF_{krit} beroende av temperatur för träfiberskiva (röd), temperatur träfiberskiva (gul) och cellplastskiva (mörkblå), RF över RF_{krit} träfiberskiva (brun) och cellplast (lila).

Luftspaltbildande skiva av styv mineralull jämfört med träfiberskiva i Lund – Position B



Figur 109. RF i position B med luftspaltbildande skiva av styv mineralull respektive träfiber på utsida isolering. RF för träfiberskiva (turkos) och styv mineralull (svart), RF_{krit} beroende av temperatur för träfiberskiva (röd), temperatur träfiberskiva (gul) och styv mineralull (mörkblå), RF över RF_{krit} träfiberskiva (brun) och styv mineralull (lila).

8.5.2 Analys – Cellplast eller styv mineralull som luftspaltbildande skiva

För konstruktionen med en cellplastskiva som skapar den ventilerade luftspalten mot råsponten uppstår en situation där fukt som läcker in genom ångspärren från insidan inte tillåts diffundera genom cellplastskivan i samma utsträckning som för träfiberskivan och den styva mineralullskivan enligt Figur 108 och 109. Detta gör att fukt buffras upp på insidan av cellplastskivan och skapar en högre relativ fuktighet jämfört fallen med träfiberskiva eller mineralullskiva. För förhållandena mellan träfiberskivan och den ännu mer diffusionsöppna styva mineralullskivan är det i stort sett ingen större skillnad. Detta beror i sin tur på att den fukt som läcker in i takkonstruktionen från insidan i detta fall är så pass liten att den hinner att diffundera igenom träfiberskivan ungefär lika snabbt som genom den än mer diffusionsöppna mineralullskivan.

När fukten väl trängt igenom den luftspaltbildande skivan ventileras den ut av ventilationsflödet i luftspalten som finns på utsidan av den aktuella skivan.

8.5.3 Slutsats – Cellplast eller styv mineralull som luftspaltbildande skiva

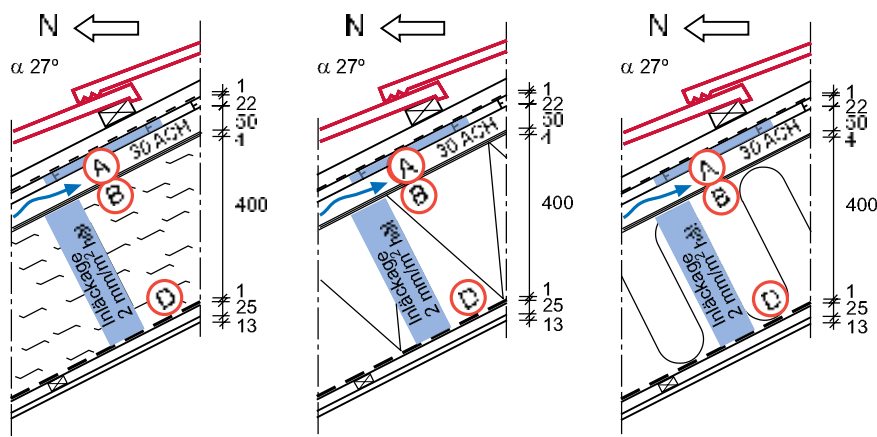
Eventuella luftspaltbildande skivor måste vara så pass diffusionsöppna att fuktläckage inifrån som på ett eller annat sätt tar sig igenom ångspärren kan diffundera genom aktuell skiva. Skivan får således inte vara så pass tät att fukt buffras på insidan av den och där kan orsaka skador. Förvisso kanske inte skador uppstår på den mer mögelbeständiga cellplasten men på närliggande träbjälkar i takstolen eller eventuell organisk isolering kan fortfarande skadas på grund av omgivande förhållanden med en hög relativ fuktighet.

8.6 Andra isolermaterial

Möjligheten att använda andra isolermaterial och konsekvenserna av detta ur ett fukttekniskt perspektiv studeras. Inverkan av andra material för den luftspaltbildande skivan har redan utvärderats enligt ovan.

Den relativa fuktigheten i olika positioner med de två olika materialen cellplast och cellulosafibrer som isolering i takkonstruktionen utvärderas och jämförs mot grundfallet med mineralullisolering. Cellplastisoleringen och cellulosafibrerna har samma värmekonduktivitet, det vill säga isolerförmåga, som mineralullen. Däremot förekommer andra skillnader i materialegenskaper. Cellplasten är till exempel betydligt ångtätare än de andra materialen och har således ett betydligt högre ånggenomgångsmotstånd (WUFI; Cammerer). Cellulosafibrer har cirka två till tre gånger så hög värmekapacitet som cellplast och mineralull. Vidare har cellulosafibrer också en högre fuktkapacitet jämfört med cellplast och mineralull (WUFI).

Eftersom materialegenskaperna kan påverka andra positioner utöver den initialt mest fuktkritiska positionen, position A, på insidan av råsponten, så utvärderas även position B, i ovankant av isoleringen på insidan av den luftspaltbildande träfiberskivan samt position D längst ner i isoleringen på utsidan av ångspärren enligt Figur 110.

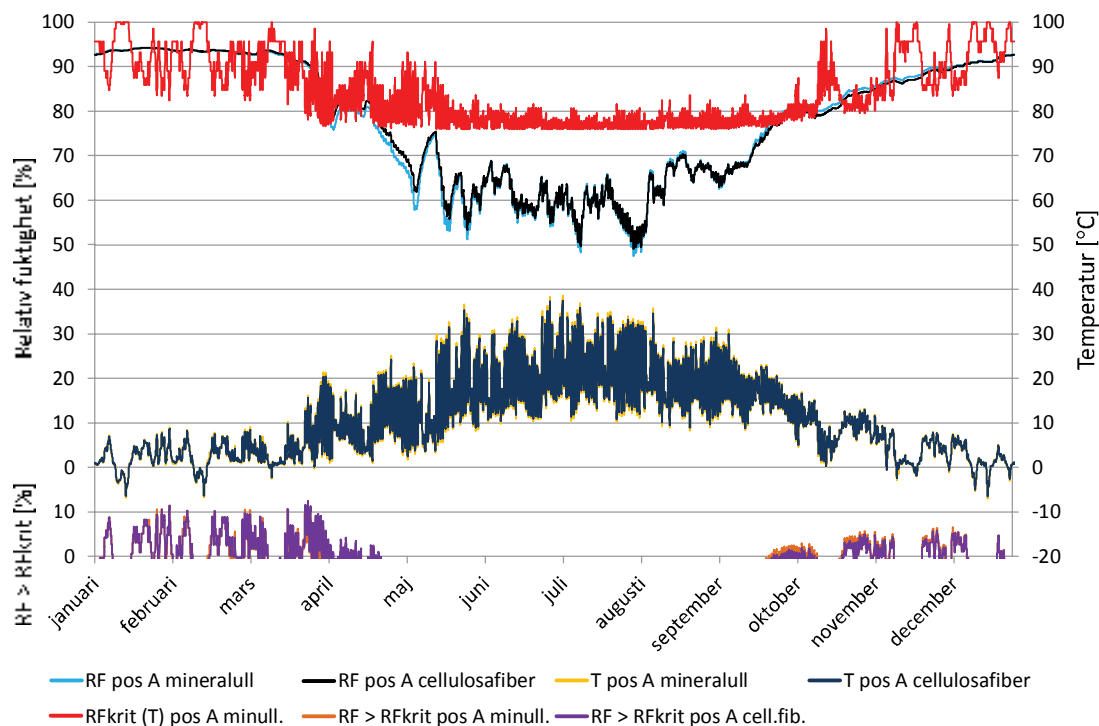


Figur 110. Position A, B och D i konstruktioner med olika de isolermaterialen cellulosafiber, cellplast och mineralull.

8.6.1 Resultat - andra isoleringsmaterial

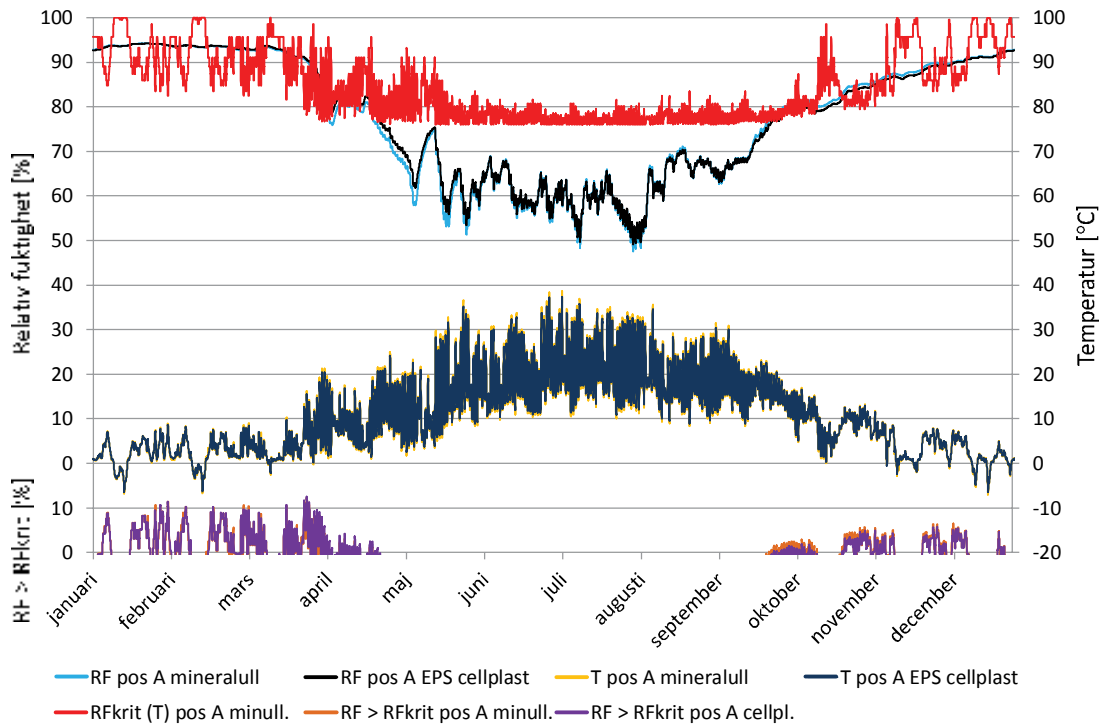
De två materialen jämförs mot resultatet för position A i Figur 111 och 112, för position B i Figur 113 och 114 samt för position D i Figur 115 och 116. Förhållandena i Figur 116 visas för en tre års period i syfte att påvisa den fuktbuffering som sker i position D för fallet med cellplastisolering.

Cellulosafibrer jämfört med mineralull som isolering i Lund - Position A



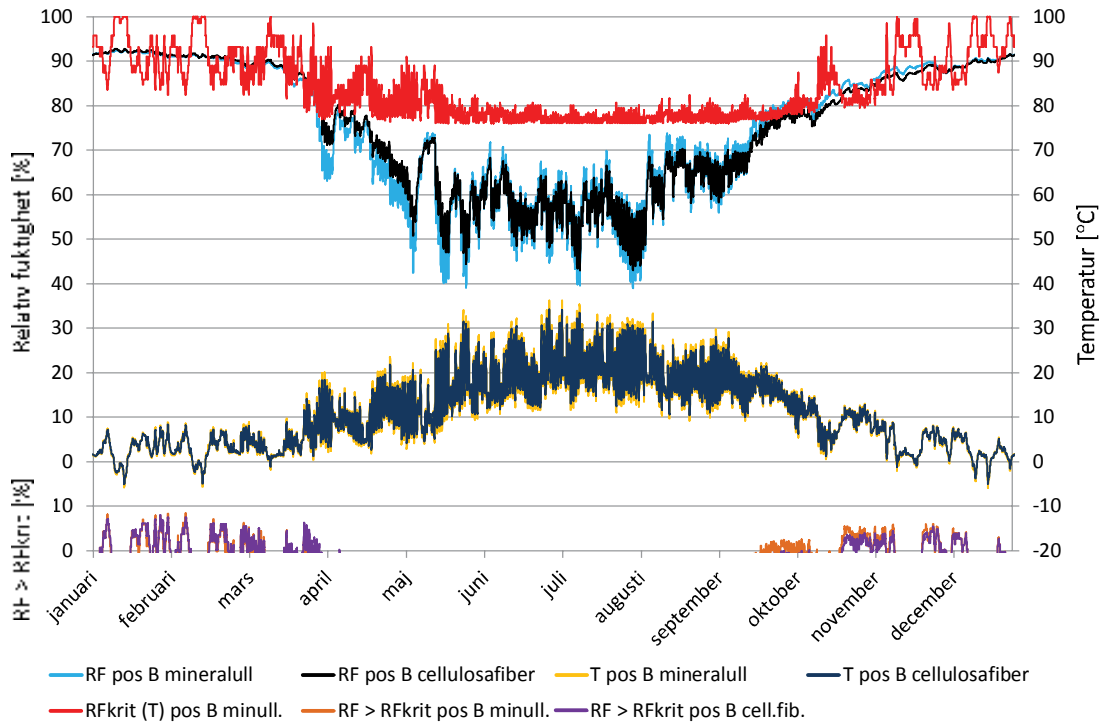
Figur 111. RF i position A med cellulosafibrer respektive mineralull (utångsfallet) som isolering. RF för mineralull (turkos) och cellulosa (svart), RF_{krit} beroende av temperatur för mineralull (röd), temperatur mineralull (gul) och cellulosa (mörkblå), RF över RF_{krit} mineralull (brun) och cellulosa (lila).

Cellplast jämfört med mineralull som isolering i Lund – Position A



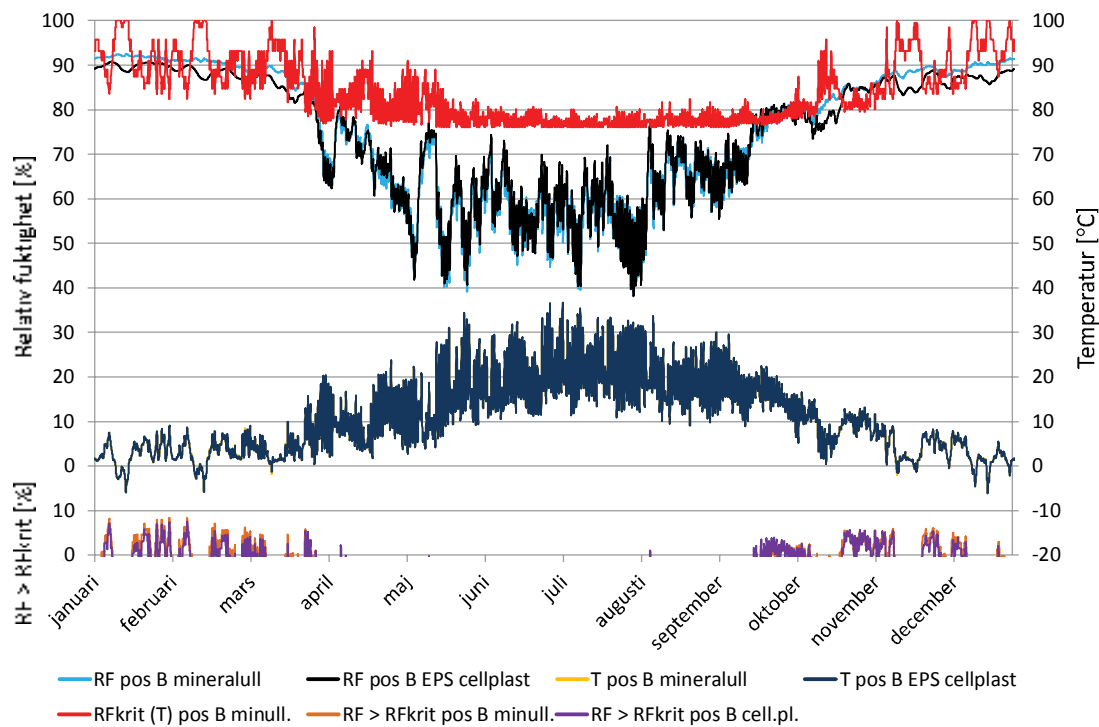
Figur 112. RF i position A med cellplast respektive mineralull (utångsfallet) som isolering. RF för mineralull (turkos) och cellplast (svart), RF_{krit} beroende av temperatur för mineralull (röd), temperatur mineralull (gul) och cellplast (mörckblå), RF över RF_{krit} mineralull (brun) och cellplast (lila).

Cellulosafibrer jämfört med mineralull som isolering i Lund – Position B



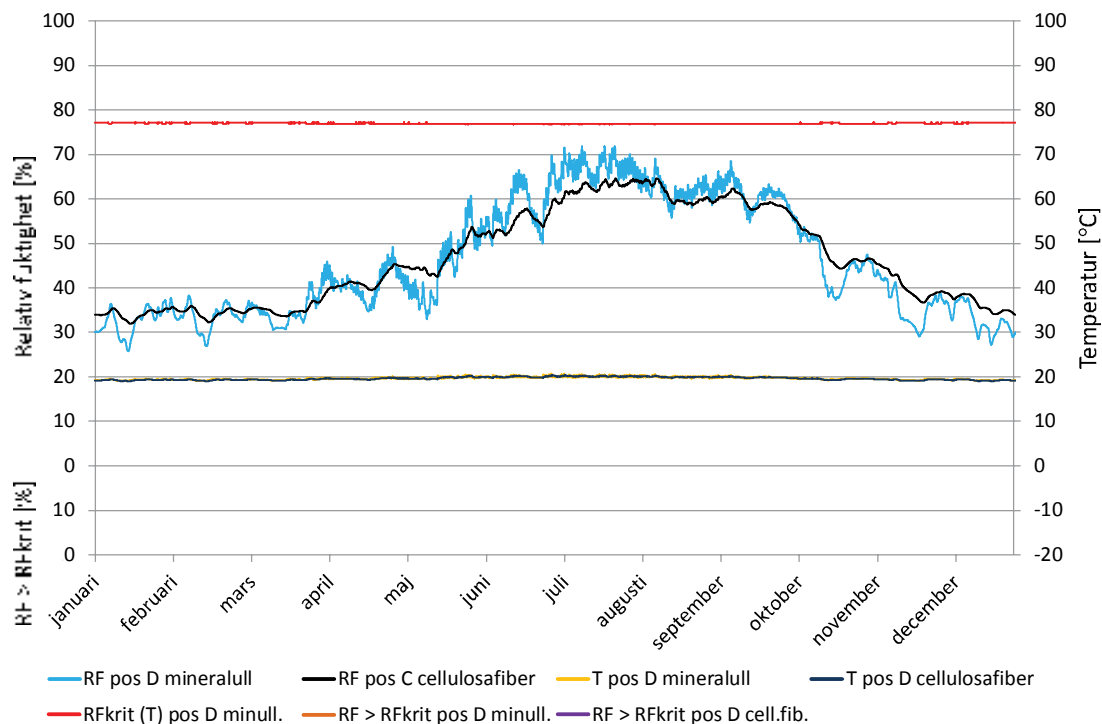
Figur 113. RF i position B med cellulosafibrer respektive mineralull (utångsfallet) som isolering. RF för mineralull (turkos) och cellplast (svart), RF_{krit} beroende av temperatur för mineralull (röd), temperatur mineralull (gul) och cellplast (mörckblå), RF över RF_{krit} mineralull (brun) och cellplast (lila).

Cellplast jämfört med mineralull som isolering i Lund – Position B



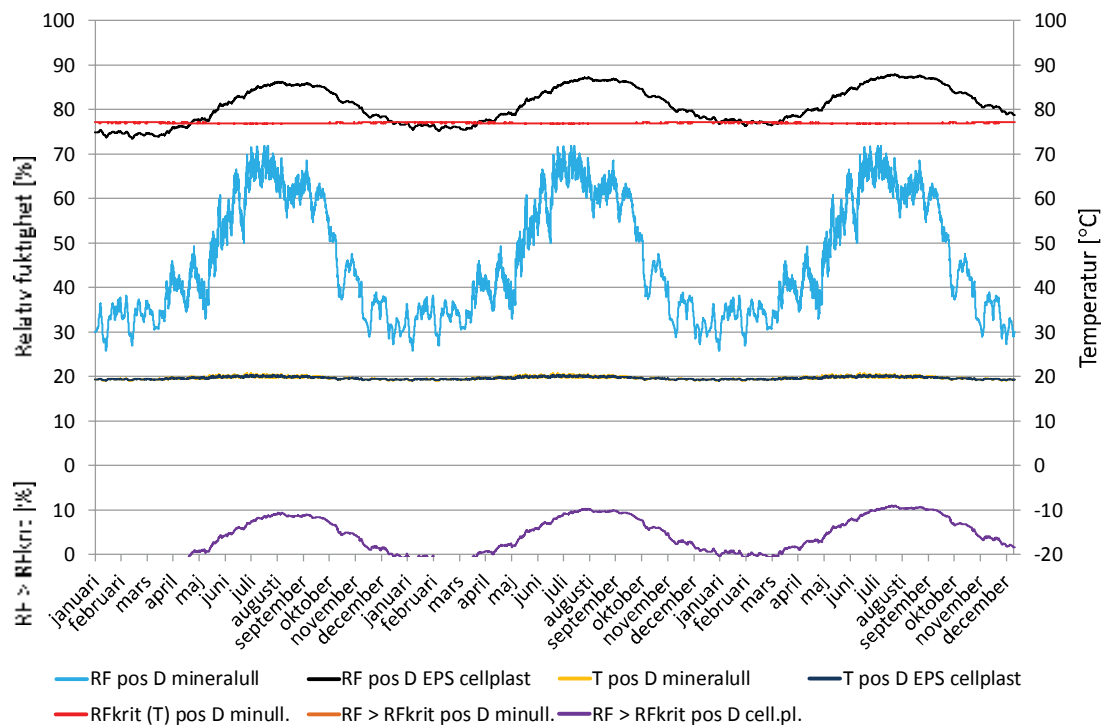
Figur 114. RF i position B med cellplast respektive mineralull (utångsfallet) som isolering. RF för mineralull (turkos) och cellplast (svart), RF_{krit} beroende av temperatur för mineralull (röd), temperatur mineralull (gul) och cellplast (mörkblå), RF över RF_{krit} mineralull (brun) och cellplast (lila).

Cellulosafibrer jämfört med mineralull som isolering i Lund – Position D



Figur 115. RF i position D med cellulosafibrer respektive mineralull (utångsfallet) som isolering. RF för mineralull (turkos) och cellplast (svart), RF_{krit} beroende av temperatur för mineralull (röd), temperatur mineralull (gul) och cellplast (mörkblå), RF över RF_{krit} mineralull (brun) och cellplast (lila).

Cellplast jämfört med mineralull som isolering i Lund – Position D



Figur 116. RF i position D för en treårsperiod med cellplast respektive mineralull (utångsfallet) som isolering. RF för mineralull (turkos) och cellplast (svart), RF_{krit} beroende av temperatur för mineralull (röd), temperatur mineralull (gul) och cellplast (mörkblå), RF över RF_{krit} mineralull (brun) och cellplast (lila).

8.6.2 Analys – Andra isolermaterial

Fuktförhållandena för de tre isolermaterialen mineralull, cellplast och cellulosafibrer är i stort sett likvärdiga i position A och B oavsett vilket av de tre isolermaterialen som används. En marginell förbättring, med något lägre relativ fuktighet, kan noteras under vissa perioder för cellplast och cellulosafibrer jämfört mineralull. I fallet med cellplast så beror det på att fukt från insidan inte diffunderar ut till position A och B i samma omfattning som med cellulosafibrer eller mineralullsisolering. I fallet med cellulosafibrer så beror det på den något bättre fuktkapaciteten, och eventuellt även värmekapaciteten, hos cellulosaisoleringen. Det vill säga fukt tas upp och lagras i cellulosaisoleringen och sedan avges vid lägre relativ fuktighet i större utsträckning jämfört med mineralull. Även om det generellt sett inte har någon större påverkan så är det intressant i det avseendet att cellulosafibrernas fuktbuffringsförmåga har som störst positiv påverkan under tidig höst, främst i oktober, enligt Figur 111 och 113, när inga andra kända åtgärder såsom till exempel extra isolering på utsidan av råsponten, har någon större positiv inverkan på fuktförhållandena, enligt tidigare redovisade resultat i Figur 63 till 66.

I position D är isolering med cellulosafiber något bättre jämfört med mineralull. Återigen beror det på cellulosafibrernas något bättre förmåga att lagra fukt jämfört med mineralullen. Detta gör att en lägre relativ fuktighet erhålls när den relativa fuktigheten är som högst. I sammanhanget skall det nämnas att några kritiska förhållanden när mögelpåväxt är möjlig inte uppstår för fallen med varken mineralull eller cellulosafibrer i position D.

För fallet med cellplast visas mycket alvarliga problem i position D enligt Figur 116. Dels för att omfattande kritiska förhållanden förekommer när förutsättningar för mögelpåväxt föreligger. Men

framförallt för att cellplasten är så pass tät att den fukt som tränger in i takkonstruktionen genom ångspärren inte kan diffundera ut till luftspalten där den sen kan ventileras ut. Detta leder till att fukt ackumuleras i position D för fallet med cellplastisolering. Figur 116 redovisar en period över 3 år där det framgår att den relativa fuktigheten hela tiden ökar. Detta är ett tydligt tecken på att fukt ackumuleras. Cellplast är således inget alternativ för att användas till isolering i takbjälklaget eftersom risken för skador i konstruktionen är omfattande.

Cellulosaisolering ger något lägre fukttillstånd jämfört mineralull när det används som isolering i takkonstruktionen. I sammanhanget bör det beaktas att cellulosaisolering är ett organiskt material där mögelpåväxt lättare uppstår jämfört mineralull. Detta skulle kunna vara av betydelse främst i position B. Den i sammanhanget lilla förbättringen av fuktförhållandena som cellulosaisoleringen skapar är i sammanhanget försumbar.

8.6.3 Slutsats – Andra isolermaterial

Ur ett fukttekniskt perspektiv går det generellt lika bra att använda mineralull som cellulosa till isolering i takkonstruktionen. Cellulosaisoleringen ger något lägre fuktförhållanden på grund av sin något högre fukt- och värmekapacitet, framförallt under perioder då andra åtgärder visat sig ha lägre verkan. Det bör dock beaktas att cellulosaisoleringen har större risk för att skadas av mögelpåväxt då det är ett organiskt material.

Cellplast ska inte användas som isolering i konstruktioner om denna riskerar att stänga in fukt samt skapa fuktackumulation vilket i sin tur kan ge upphov till skador.

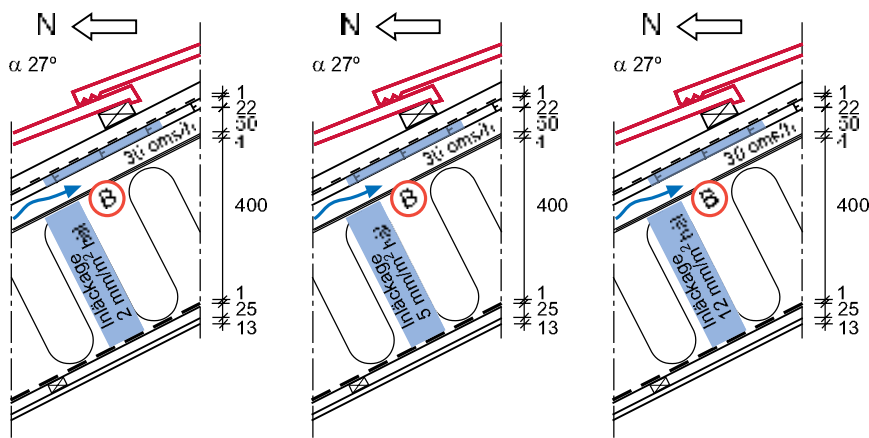
9 Parameterstudie – Förändringar av innertaket

Nedan redovisas konsekvenser av förändringar i takkonstruktionens insida vilket i detta sammanhang avses förändringar i konstruktionens ångspärr. Förändringarna redovisas för position B och med klimatförhållanden för Lund.

Anledningen till att position B studeras är för att det är i den position där de mest kritiska fukttillstånden riskerar att uppstå vid ökat inläckage genom ångspärren. Inläckande fukt in i takkonstruktionen som tar sig genom den skiva som skapar luftspalten kan ventileras ut. Den tidigare mest fuktkritiska positionen på insidan av råsponten, position A, påverkas därför sekundärt av ökat inläckage genom ångspärren, även om positionen självklart kommer utsättas för högre fuktförhållanden vid ett ökat inläckage genom ångspärren.

9.1 Olika inläckage genom ångspärren

Nedan studeras konsekvenserna för fuktförhållanden om ett ökat inläckage uppstår genom hål i den invändiga ångspärren. Hålen kan till exempel uppkomma från genomföringar för eldragning, installation av infällda spotlights eller liknande. I utgångsfallet har ett mindre hål med en diameter om 2 mm/m^2 antagits förekomma. Nedan studeras påverkan på fuktförhållanden om håldiametern ökas till 5 mm/m^2 samt 12 mm/m^2 . Det mindre hålet med 5 mm/m^2 diameter avser en mycket väl monterad ångspärr med mindre hål som uppkommit på grund av slarv eller liknande som ger ett inläckageflöde på ca $0,15 \text{ l/s, m}^2$. Hålet med 12 mm diameter/m² motsvarande inläckageflöde enligt gamla BBR krav på $0,8 \text{ l/s, m}^2$ (Georgsdottir och Sawirs 2012). Notera att en mindre förändring av håldiametern har stor påverkan på fuktflödet igenom det aktuella hålet. Exempel på studerade fall redovisas i Figur 117.

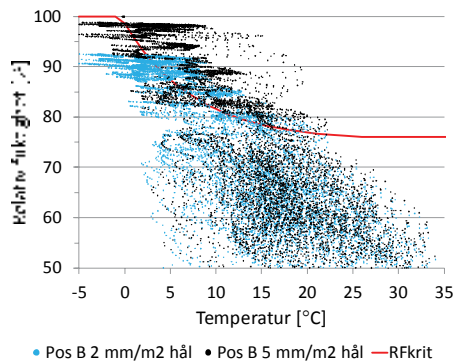


Figur 117. Studerad position B och konstruktioner med olika stora hål, 2 mm/m^2 , 5 mm/m^2 , 12 mm/m^2 , ångspärren och således olika stora inläckage in genom ångspärren.

9.1.1 Resultat – Olika inläckage genom ångspärren

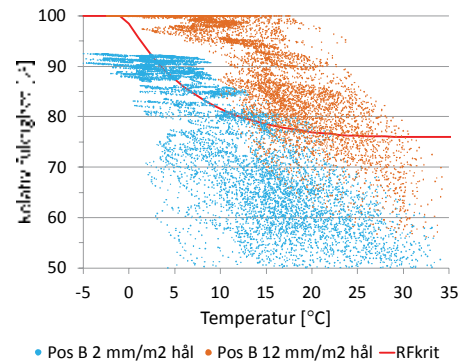
Figur 118 och 119 visar fuktförhållanden vid ett hål i ångspärren med en diameter på 2 mm/m^2 jämfört med ökad håldiameter till 5 mm/m^2 respektive 12 mm/m^2 .

Håldiameter 2 och 5 mm/m² – Position B



Figur 118. RF jämfört med RF_{krit} i position B i Lund för utgångsfallet med ett 2 mm/m² stort hål i ångspärren (turkos) jämfört med ett 5 mm/m² stort hål (svart) och RF_{krit} (röd).

Håldiameter 2 och 12 mm/m² – Position B



Figur 119. RF jämfört med RF_{krit} i position B i Lund för utgångsfallet med ett 2 mm/m² stort hål i ångspärren (turkos) jämfört med ett 12 mm/m² stort hål (brun) och RF_{krit} (röd)

9.1.2 Analys – Olika inläckage genom ångspärren

Av Figur 118 och 119 framgår att större hål i ångspärren snabbt försämrar fuktförhållandena i takkonstruktionen. Bara en mindre ökning av håldiametern från 2 mm/m² till 5 mm/m² skapar snabbt ohållbara förhållanden i position B i takkonstruktionen. Vid större hål, som till exempel 12 mm/m² blir förhållandena uppenbart ohållbara med mycket stor risk för omfattande skador.

Resultaten går i linje med tidigare resultat från inläckage genom takpappen i kapitel 7.3 ner i råsponten där precis som redovisats i Figur 118 och 119 endast mindre ökning i inläckaget snabbt skapar ohållbara förutsättningar och fuktförhållanden som sannolikt kommer ge skador.

För att kunna montera ångspärren utan risk för hål måste förutsättningar för att kunna utföra detta finnas. Dessa förutsättningar skapas under projekteringen där enkla samt bygg och monteringsvänliga lösningar alltid är att föredra. I största möjligaste mån skall genomföringar genom ångspärren undvikas. Vidare skall även anslutningar mellan olika ångspärrar undvikas om så är möjligt. Om detta inte är möjligt skall goda förutsättningar finnas för att enkelt täta mellan två olika ångspärrar samt vid genomföringar. Vidare måste anslutningar till andra byggnadsdelars ångspärr vara lätta att genomföra.

9.1.3 Slutsats – Olika inläckage genom ångspärren

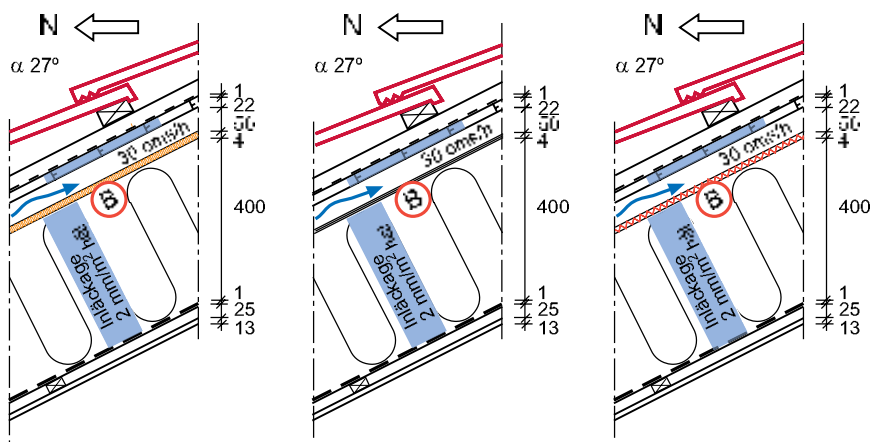
Takkonstruktioner är mycket känsliga inläckage genom hål i ångspärren. Även mindre inläckage skapar snabbt försämrade och i praktiken ohållbara fuktförhållanden i takkonstruktionen. Goda förutsättningar för, samt ett fackmannamässigt utfört montage av takkonstruktionens inre ångspärr är av stor vikt för att taket inte ska drabbas av fuktrelaterade skador.

Ett enkelt sätt att minska risken för skador är att ta bort eller i alla fall minimera antalet platser där inläckage lätt uppstår, såsom genomföringar, fönster och detaljer.

9.2 Olika inläckage genom ångspärren och cellplast eller styv mineralull som luftspaltbildande skiva

Tidigare resultat visar på vikten av att ha en diffusionsöppen luftspaltbildande skiva i anslutning till position B som kan släppa igenom fukt som tränger in i takkonstruktionen ut i den ventilerade luftspalten för att sedan ventileras ut ur takkonstruktionen. Nedan studeras därför påverkan på

fuktförhållandena i position B vid olika inläckage från insidan och samtidigt som träfiberskivan ersätts med en mer diffusionstät cellplastskiva alternativt ersätts med en mer diffusionsöppen mineralullsskiva. Studerade exempel illustreras i Figur 120.



Figur 120. Position B med konstruktioner med olika material på de luftspaltbildande skivorna samt olika stora hål, 2 mm/m², 5 mm/m², 12 mm/m², i ångspärren och således olika stora inläckage in genom ångspärren.

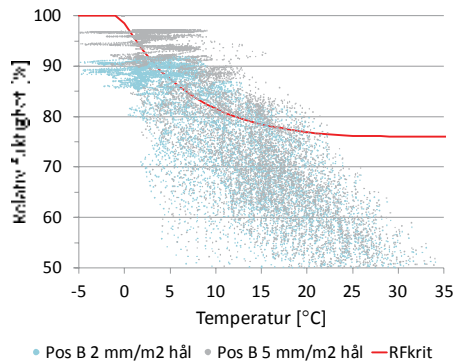
Inläckagen baseras på om håldiametern ökas från 2 mm/m² till 5 mm/m² samt till 12 mm/m² enligt kapitel 9.1. Cellplastskivan har ett Sd-värde på 0,50 m vilket är cirka tio gånger så tät jämfört träfiberskivans täthet med ett Sd-värde på 0,0625 m. Mineralullskivan antas ha en täthet som tvärt emot cellplastskivan är mer diffusionsöppen jämfört träfiberskivan och har ett Sd-värde på 0,013 m.

Fallet med en mineralullskiva liknar i sin beräkningsmodell i stora drag fallet med en kallvind där ingen diffusionstät skiva finns ovanpå mineralullsisoleringen. För att påverka värmeförhållandena så lite som möjligt i modellen sätts cellplastskivan och mineralullskivan lika tjocka som träfiberskivan även om detta i praktiken kan vara något tunt.

9.2.1 Resultat – Olika inläckage genom ångspärren och cellplast eller styv mineralull som luftspaltbildande skiva

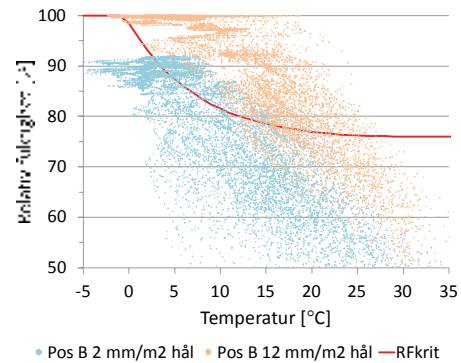
I Figur 121 till 126 jämförs fuktförhållandena om den luftspaltbildande skivan är av cellplast eller styv mineralull jämfört den träfiberskivan som är ansatt i utgångsfallet med de olika håldiametrarna 2 mm/m², 5 mm/m² samt 12 mm/m².

**Styv mineralullsskiva mot lufspalt.
Håldiameter 2 och 5 mm/m² – Position B**



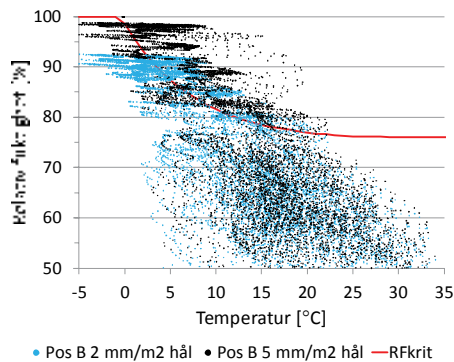
Figur 121. RF jämfört med RF_{krit} i position B i Lund med en diffusionsöppen styv mineralullsskiva och 2 mm/m² (ljusturkos) och 5 mm/m² (grå) hål i ångspärren samt RF_{krit} (röd).

**Styv mineralullsskiva mot lufspalt.
Håldiameter 2 och 12 mm/m² – Position B**



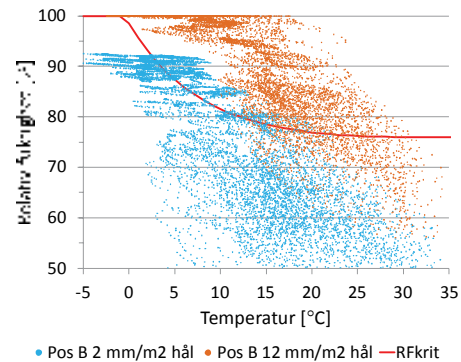
Figur 122. RF jämfört med RF_{krit} i position B i Lund med en diffusionsöppen styv mineralullsskiva och 2 mm/m² (ljusturkos) och 12 mm/m² (ljusbrun) hål i ångspärren samt RF_{krit} (röd).

**Träfiberskiva mot luftspalt. Håldiameter
2 och 5 mm/m² – Position B**



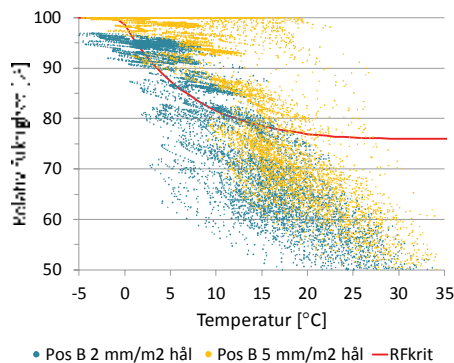
Figur 123. RF jämfört med RF_{krit} i position B i Lund med en träfiberskiva och 2 mm/m² (turkos) och 5 mm/m² (svart) hål i ångspärren samt RF_{krit} (röd). (Samma resultat som i Figur 117).

**Träfiberskiva mot luftspalt. Håldiameter
2 och 12 mm/m² – Position B**



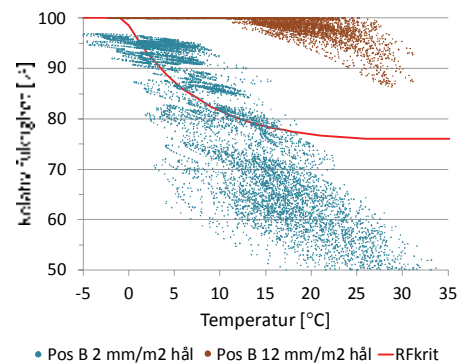
Figur 124. RF jämfört med RF_{krit} i position B i Lund med en träfiberskiva och 2 mm/m² (turkos) och 12 mm/m² (svart) hål i ångspärren samt RF_{krit} (röd). (Samma resultat som i Figur 118).

**Cellplastskiva mot luftspalt. Håldiameter
2 och 5 mm/m² – Position B**



Figur 125. RF jämfört med RF_{krit} i position B i Lund med en diffusionstät cellplastskiva och 2 mm/m² (mörkturkos) och 5 mm/m² (gul) hål i ångspärren samt RF_{krit} (röd).

**Cellplastskiva mot luftspalt. Håldiameter
2 och 12 mm/m² – Position B**



Figur 126. RF jämfört med RF_{krit} i position B i Lund med en diffusionstät cellplastskiva och 2 mm/m² (mörkturkos) och 12 mm/m² (mörkbrun) hål i ångspärren samt RF_{krit} (röd).

9.2.2 Analys – Olika inläckage genom ångspärren och cellplast eller styv mineralull som luftspaltbildande skiva

Vid jämförelse mellan Figur 121 till 126 framgår att en diffusionsöppen skiva som ger förutsättningar för eventuell fukt inne i konstruktionen att torka ut upp i luftspalten för att sedan kunna ventileras ut ur konstruktionen är klart bättre jämfört med diffusionstätare skivor, till exempel cellplastskivor. Vid ökat inläckage in i takkonstruktionen är det extra viktigt att inga diffusionstäta skivor förekommer eftersom det snabbt kommer att ge upphov till skador. I enlighet med tidigare visas igen att takkonstruktionen är mycket känslig även för mindre inläckage. Figur 126 visar konsekvenserna av en diffusionstät skiva på insidan av luftspalten och ett större hål om 12 mm/m² i ångspärren. Vid större inläckage genom konstruktionen, vilket förvisso inte får förekomma, blir det således extra viktigt med en diffusionsöppen skiva mot luftspalten. Notera att flödet i luftspalten måste vara anpassat så att det är tillräckligt högt för att ventileras ut all fukt som tränger in i takkonstruktionen. Ett för högt flöde i luftspalten medför dock en risk för skador varför det återigen bör belysas att inläckage av olika slag primärt ska begränsas så mycket det bara går.

Anledningen till att äldre byggnader klarat sig helt utan invändig ångspärr i taket är en kombination av flera olika faktorer. Generellt sett var fuktproduktionen lägre förr i tiden på grund av att man tvättade sig och tvättade sina kläder i mindre omfattning. Detta innebär att mängden fukt som kunde tränga upp i luftspalten eller det kalla vindsutrymmet var mindre. Vidare gjorde otätheter i klimatskalet att en större mängd fukt även trängde ut genom väggar. Otätare takkonstruktioner medförde en högre ventilation vilken också hade möjlighet att avlägsna större mängder fukt. Kallvinden och luftspalter samt således insidan på råsponen var även varmare på grund av en sämre isolering i taken samt många gånger en varm murstock som primärt höll vindsutrymmet varmare. Sammantaget bidrog samtliga av dessa faktorer till lägre fuktförhållanden i takkonstruktioner jämfört dagens tak.

9.2.3 Slutsats – Olika inläckage genom ångspärren och cellplast eller styv mineralull som luftspaltbildande skiva

Skivmaterialet på insidan av luftspalten vilken håller tillbaka isoleringen och skapar luftspalten skall vara av så diffusionsöppet material som möjligt för att ge förutsättningar för fukt som trängt in i takkonstruktionen att ventileras ut. Det bör dock påtalas att fokus primärt måste ligga på att förhindra inläckage av fukt i takkonstruktionen som är mycket känslig för fukt. Desto mer fukt som trängt in i takkonstruktionen desto viktigare är det att skivan på insidan av luftspalten är diffusionsöppen. Notera att en mycket diffusionsöppen skiva kan ge upphov till genomblåsning av den underliggande isoleringen vilket i sin tur kan ha negativ inverkan på isolerförmågan.

10 Slutsatser

Initialt presenteras de huvudsakliga slutsatser som framkommit i studien. Därefter redovisas en sammanställning av generella förutsättningar som bör beaktas eller är av underordnad betydelse för fuktsäkerhet vid uppförande av takkonstruktioner i trä. Detta inkluderar även delvis slutsatser från tidigare sammanfattade studier. Presenterade slutsatser och åtgärder kan få konsekvenser för andra discipliner såsom brand, energi, akustik, statik och arkitektur.

10.1 Huvudsakliga slutsatser

Nedan presenteras de nya huvudsakliga slutsatser som framgår i studien.

Jämförelser och utvärdering av i stort sett samtliga redovisade beräkningar visar att takkonstruktioner överlag är känsliga för fukt- och mögelrelaterade skador där även mindre läckage och felaktigheter i konstruktionen snabbt kan få omfattande negativa konsekvenser. För att säkerställa en fuktsäker takkonstruktion måste därför en rad olika frågor och faktorer noggrant och omsorgsfullt beaktas i så gott som samtliga av byggprocessens delar.

Vid uppförande av takkonstruktioner i trä måste såväl invändiga som utvändiga tätskikt vara helt täta och inga former av läckage får förekomma. I praktiken innebär detta att den invändiga ångspärren skall vara helt tät. Vidare måste den utvändiga takpappen, plåt, tegel- eller betongpannor eller motsvarande vattenavvisande skikt uppföras så att inget vattenläckage in till råsponten förekommer. I sammanhanget måste även potentiella håligheter i anslutning till och kring genomföringar mm tätas omsorgsfullt både mot det invändiga och utvändiga tätskiktet. Förslagsvis samlas genomföringar till en gemensam plats, företrädesvis en höjdpunkt på taket, där fokus på täthet kan göras.

Ventilationsflödet i spalten på insidan av råsponten eller på en kallvind skall vara så lågt som möjligt för att säkerställa en så hög temperatur som möjligt samt begränsa möjligheten att fukt ventileras in utifrån. Samtidigt måste ventilationsflödet vara så pass högt att all fukt som läcker in i takkonstruktionen ventileras ut. Notera att ett högre ventilationsflöde primärt inte får motiveras med eller användas som kompensation för brister i det invändiga eller utvändiga tätskiktet och att fokus primärt skall ligga på att få fungerande invändigt och utvändiga tätskikt utan inläckage in i takkonstruktionen.

Mot bakgrund av att det i praktiken kan vara mycket svårt att erhålla ett optimalt ventilationsflöde i luftspalten på insidan av råsponten eller på en kallvind bör möjligheten till en styrd ventilation baserad på rådande fukt- och värmeförhållanden noggrant övervägas. Motsvarande produkter kan många gånger även kompletteras med värmeslingor eller motsvarande för att ytterligare säkerställa en fuktsäker takkonstruktion.

Även om det inte studerats separat i denna studie så kan man mot bakgrund av tidigare studier konstatera att takkonstruktioner i trä måste uppföras under väderskydd alternativt under dagar då uppehållsväder föreligger för att säkerställa att de inte drabbas av fukt- och mögelrelaterade skador (Olsson m.fl. 2010; Olsson 2014).

Eventuella skivor i de yttre delarna av takkonstruktionen som syftar till att skapa en ventilerad luftspalt på insidan av råsponten skall vara så diffusionsöppna som möjligt för att eventuell inträngande fukt skall kunna torka ut till luftspalten och sedan därifrån ventileras ut ur takkonstruktionen.

10.2 Förutsättningar och rekommendationer för att uppföra fuktsäkra takkonstruktioner i trä

Nedan sammanfattas en rad förutsättningar och rekommendationer för uppförande av fuktsäkra takkonstruktioner i trä mot bakgrund av redovisad information i rapporten. Redovisade förutsättningar och rekommendationer kan anses självklara för många men erfarenhet visar att flera nyproducerade hus med trä-, träbaserade- eller andra organiska material i stommen brister på en eller flera punkter. Notera att rapporten inte belyser detaljer samt att parameterstudien avser endimensionella beräkningar. För att säkerställa en hög fuktsäkerhet ska alltid en fullständig fuktsäkerhetsprojektering genomföras i ett tidigt skede, till exempel med hjälp av ByggaF (Norling Mjörnell 2007; Mjörnell m.fl. 2011).

1. Variationen mellan olika utomhusklimat har stor påverkan för huruvida en takkonstruktion riskerar att drabbas av fukt- och mögelrelaterade skador. Variationen i utomhusklimatet avser både olika orter i Sverige men även variationer på samma ort mellan olika år.
2. Inomhusklimatet kan också ha påverkan på huruvida takkonstruktionen riskerar att drabbas av fukt- och mögelrelaterade skador. En betydligt lägre inomhustemperatur, främst sommartid genom till exempel aktiv kylning inomhus, riskerar att påverka fuktförhållanden inne i takkonstruktionen negativt.
3. Beroende av eventuella inläckage ut genom ångspärren in i takkonstruktionen kan fuktförhållandena i inomhusluften påverka fuktförhållandena inne i takkonstruktionen.
4. Yttertakets kulör ger en visuellt noterbar effekt vid hygrotermiska fuktberäkningar. Samtidigt är förändringarna så pass små mellan de olika kulörerna att det kan ifrågasättas om takkulören har någon större betydelse i praktiken.
5. Olika yttertaksmaterial ger en synlig effekt och det kan konstateras att tunga yttertakkonstruktioner av till exempel taktegel har något bättre fuktförhållanden jämfört med lätta takkonstruktioner av till exempel takpapp. Skillnaderna är dock så pass små att det inte går att fastställa att det generellt går att fastställa att ett tungt är att beakta som en fuktsäkrare takkonstruktion.
6. Inläckage in genom det yttre tätskiktet såsom till exempel takpapp och takpannor ner i råsponten får inte förekomma. Även mindre läckage riskerar att orsaka omfattande fukt- och mögelrelaterade skador.
7. Lägre takvinkel skapar generellt sett något bättre fuktförhållandanden inne i takkonstruktion. Förbättringen är dock av marginell karaktär och sker huvudsakligen under perioder då ingen risk för skador föreligger i alla fall.
8. Takkonstruktioner med utvändig isolering på utsidan av råsponten har generellt sett bättre förhållanden inne i takkonstruktionen och en lägre risk för fukt- och mögelrelaterade skador. Förbättringen är dock inte så pass stor att takkonstruktioner med utvändig isolering generellt är att beakta som fuktsäkra. Vid tjockare isolering på utsidan av råsponten, över cirka 50 mm, minskar kraftigt de bättre förhållandena. Förbättringen är generellt sett inte beroende av takkulör, yttre takbeklädnadsmaterial samt takvinkel även om positiva effekter av tyngre jämfört lättare takkonstruktioner kan reduceras något.

9. Beräkningstekniskt är kallvindar och parallelltak relativt lika. Noterbart är dock att använda endimensionella beräkningsmodeller till exempel inte beaktar fukt som i ett parallelltak kan frigöras från ett varmt tak riktat mot söder och sedan via luften kan transporteras i luftspalten mot en annan del av taket som är riktad mot norr och där kondensera på grund av en lägre temperatur.
10. Generellt sett så försämras fuktförhållandena av ökad isolertjocklek inne i takkonstruktionen. De försämrade förhållandena reduceras dock i omfattning desto tjockare isolering som finns i takkonstruktionen. Vid isolertjocklekar över cirka 400 mm är försämringarna generellt sätt av mindre dignitet.
11. Ventilationsflödet i luftspalten på insidan av råsponen eller kallvinden skall vara så pass högt att all den fukt som oavsiktligt kommit in i konstruktionen skall ventileras ut. För att uppnå så bra förhållanden som möjligt och med detta reducera risken för att fukt ventileras in utifrån samt att ventilation sänker temperaturen inne i takkonstruktionen skall samtidigt ventilationen vara så pass låg som möjligt. I förlängningen innebär detta att fokus primärt skall ligga på att invändiga och utvändiga tätskikt skall vara helt täta och att mängden fukt som oavsiktligt tränger in i takkonstruktionen skall elimineras.
12. Fuktsäkerheten hos helt oventilerade takkonstruktioner, så kallade varmtak, kan ifrågasättas då eventuella inläckage av fukt, om än mycket små, inte kan ventileras ut och på sikt ge upphov till fukt- och mögelrelaterade skador.
13. Eventuella luftspaltbildande skivor som håller tillbaka isoleringen i takkonstruktionen och på så vis skapar en ventilerad luftspalt skall vara av så diffusionsöppna material som möjligt, nästan lika diffusionsöppna som underliggande isolering, för att säkerställa att eventuell fukt som oavsiktligen trängt in i takkonstruktionen ska kunna torka ut till luftspalten för att sedan ventileras ut. Notera att skivornas ångtäthet även skall anpassas så att genomblåsning i underliggande isolering undviks för att bibehålla isolerförmågan.
14. Ur ett fukttkniskt perspektiv går det generellt sett lika bra att använda mineralull som cellulosa till isolering i takkonstruktionen. Cellulosaisoleringen ger försumbart lägre fuktförhållanden på grund av sin något högre fukt- och värmekapacitet, framförallt under perioder då andra åtgärder visat sig ha lägre verkan. Det bör dock beaktas att cellulosaisoleringen har större risk för att skadas av mögelpåväxt då det är ett organiskt material varför detta isolermaterial kan ifrågasättas, främst för isolering långt ut, i de kallare delarna av takkonstruktionen.
15. Cellplast ska inte användas som isolering i takkonstruktioner om denna riskerar att stänga in fukt samt skapa fuktackumulation vilket i sin tur kan ge upphov till skador.
16. Byggnader skall uppföras på ett sådant sätt att trä och annat fuktkänsligt material inte utsätts för fritt vatten från nederbörd eller på annat sätt samt är torrt vid leverans. Detta genomförs förslagsvis genom att husmontage av prefabricerade element eller moduler sker under dagar då uppehållsväder kan garanteras samt att tätt tak erhålls samma dag som montaget påbörjades. Alternativt kan huset och taket resas under ett väderskydd, till exempel ett heltäckande tält.
17. Då längre regnfria perioder inte kan garanteras i Sverige måste lösvirkeshus byggas under väderskydd för att säkerställa att trä inte utsätts för fritt vatten som kan orsaka mögelskador.

18. Takkonstruktioner i trä är mycket känsliga för inläckage av fuktig luft, in genom hål och otätheter i den invändiga ångspärren. Även mindre inläckage skapar snabbt försämrade och i praktiken ohållbara fuktförhållanden i takkonstruktionen ur ett fukttekniskt perspektiv. För att säkerställa att en tät ångspärr erhålls krävs bland annat omsorgsfullt projekterade och enkla byggbara lösningar samt ett fackmannamässigt utfört montage av takkonstruktionens inre ångspärr. Stor vikt skall även läggas vid genomföringar som med fördel samlas i grupp. Håltagning för till exempel spotlights eller liknande bör noga övervägas om det riskerar att skada den invändiga ångspärren. Konsekvenserna av täta material innanför den ventilerade luftspalten riskerar att ytterligare försämma förhållandena och öka risken för fukt- och mögelrelaterade skador.

11 Referenser

BSR/ ASHRAE 160P, 2009, Criteria for moisture – control design analysis in buildings. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA.

Arfvidsson, J. och Sikander, E., 2002, Fuktsäkert byggande, Enkät om kunskapsläget, FoU-Väst Rapport 0205, ISSN 1402-7410.

Mjörnell, K., Arfvidsson, J., och Sikander, E., 2011, A method for including moisture safety in the building process, Indoor and Built Environment, Vol 21:4 583-594, October 2011.

BBR, BBR 22 – Boverkets byggregler, 2015, BFS 2015:3, Boverket. Referensen avser BBR 12 – BBR 22.

Bagge, H., 2011, Building performance – Methods for improved prediction and verification of energy use and indoor climate, Doctoral thesis, Report TVBH-1019, Div. of Building Physics, Lund University, Sweden.

Boverket, 2009, Så mår våra hus – Redovisning av regeringsuppdrag beträffande byggnaders tekniska utformning mm, Boverket, Karlskrona, Sverige.

Cammerer, J., Achtziger, J., Lambda after measurements, FIW Munchen.

EN 13788, 2001, SS-EN 13788:2001 – Hygrothermal performance of building components and elements – Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation – Calculation methods, Swedish standard institute, SIS.

Esping, B., Brander, P., Salin, J.-G., Fukt i trä för byggindustrin – Fuktegenskaper, krav, hantering och mätning, Rapport 2005:24, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP Träteknik, Sverige.

Falk, J., 2010, Ventilrad luftspalt i yttervägg – luftomsättningar och konvektiv fukttransport, Licentiat uppsats, Rapport TVBM-3155, Avd. för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Sverige.

Framtidens trähus, Projekt information, www.framtidenstrahus.se, 2014-12-21.

Georgsdottir, T. och Sawirs, E., 2012, Fuktbelastning i takkonstruktioner med perforerad ångspärr – En undersökning och jämförelse av två snedtakkonstruktioner från Isover, Examensarbete vid LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg, Lund, Sverige.

Hansson, D. och Lundgren, N., 2009, Problematiken isolering vindsbjälklag i uteluftsventilerade kallvindar, Examensarbete vid KTH Campus Haninge, Stockholm, Sverige.

Harderup, L.-E. och Arfvidsson, J., 2008, Fuktsäkerhet i kalla vindsutrymmen – slutrapport, Rapport TVBH-3050, Avd. för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Sverige.

Hedenblad, G., 1996, Materialdata för fukttransportberäkningar, Rapport T19:1996, Byggnadsforskningsrådet, Stockholm.

Horner, E., Morey, P. R., Lingman, B. K. and Younger, B., 2001, How quickly must gypsum board and ceiling tile be dried to preclude mold growth after a water accident?, ASHRAE Conference IAQ 2001, Moisture, Microbes and Health Effects: Indoor Air Quality and Moisture in Buildings, San Francisco, USA.

Hägerstedt, S.O., 2012, Fuktsäkra träkonstruktioner – Vägledning för utformning av träbaserade väggar, Rapport TVBH-3052, Avd. för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Sverige.

Hägerstedt, S.O. and Arfvidsson, J., 2010, Comparison of field measurements and calculations of relative humidity and temperature in wood framed walls, Thermophysics 2010, Valtice, Czech Republic.

Hägerstedt, S.O. and Harderup, L.-E., 2010, Importance of a proper applied airflow in the façade air gap when moisture and temperature are calculated in wood framed walls, 5th International symposium on building and ductwork air-tightness, 2010, Copenhagen, Denmark.

Hägerstedt, S.O. and Harderup, L.-E., 2011a, Control of moisture safety design by comparison between calculations and measurements in passive house walls made of wood, XII DBMC, 12th International conference on durability of building materials and components, Porto, Portugal.

Hägerstedt, S.O. and Harderup, L.-E., 2011b, Comparison of measured and calculated temperature and relative humidity with varied and constant air flow in the façade air gap, NSB 2011, 9th Nordic symposium on building physics, Tampere, Finland.

IEA Annex 24, 1996, Kummur Kumran, M., Heat, air and moisture transport in insulated envelope parts, Task 3: Material properties. International Energy Agency, Energy conservation in building community system.

Ingelsson, M., och Olsson, M., 2013, Fuktanalys av klimatvind – mögelproblematik på vindsutrymme. Examensarbete vid LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg, Lund, Sverige.

Isaksson, T., Thelandersson, S., Ekstrand-Tobin, A. and Johansson, P., 2010, Critical conditions for onset of mould growth under varying climate conditions, Building and Environment, Vol 45 1712–1721, January 2010.

Johansson, P., 2012, Critical moisture conditions for mould growth on building materials, Licentiate thesis, Report TVBH-3051, Div. of Building Physics, Lund University, Sweden.

Johansson, P., 2014, Determination of the critical moisture level for mould growth on building materials. Doctoral thesis, Report TVBH-1020, Div. of Building Physics, Lund University, Sweden.

Johansson, P., Samuelsson, I. Ekstrand-Tobin, A., Mjörnell, K., Sandberg, P.-I. och Sikander, E., 2005, Kritiskt fuktillstånd för mikrobiell tillväxt på byggnadsmaterial – kunskapssammanfattning, Rapport 2005:11, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP Energiteknik, Sverige.

Krus, M., 1996, Moisture Transport and Storage Coefficients of Porous Mineral Building Materials, IBP Fraunhofer, Germany.

Nevander, L.-E. och Elmarsson, B., 1994, Fukt – handboken – praktik och teori, AB Svensk byggtjänst, Tredje utgåvan, 2007.

Nevander, L.-E. och Elmarsson, B., 1991, Fuktsäkerhetsdimensionering av träkonstruktioner, Rapport R38:1991, Lunds Universitet, Byggeforskningsrådet.

Nielsen, K. F., Holm G., Uttrup, L. P. and Nielsen, P. A., 2004, Mould growth on building materials under low water activities. Influence of humidity and temperature on fungal growth and secondary metabolism, *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 54:4, 325-336, December 2004.

Norling Mjörnell, K., 2007, ByggaF – metod för fuktsäkert byggande, FoU-Väst.

Mundt-Petersen, S.O., 2012, Literature study / State-of-the-art – Mould and moisture safety in constructions, Report TVBH-3053, Div. of Building Physics, Lund University, Sweden.

Mundt-Petersen, S.O., 2013a, Moisture safety in wood frame constructions – What do we know today? – A literature overview, Sustainable Building Conference 2013, SB13, Oulu, Finland.

Mundt-Petersen, S.O., 2013b, Moisture safety in wood frame walls – Blind evaluation of the hygrothermal calculation tool WUFI 5.0 using field measurements and determination of factors affecting the moisture safety, Licentiate thesis, Report TVBH-3059, Div. of Building Physics, Lund University, Sweden.

Mundt-Petersen, S.O. 2013c. Comparison of hygrothermal measurements and calculations in a single-family wooden house on the west coast of Sweden. Report TVBH-3054. Lund University, Div. of Building Physics, Lund University, Sweden.

Mundt-Petersen, S.O. 2013d. Comparison of hygrothermal measurements and calculations in a multi-family wooden house on the north-eastern coast of Sweden. Report TVBH-3055. Lund University, Div. of Building Physics, Lund University, Sweden.

Mundt-Petersen, S.O. 2013e. Comparison of hygrothermal measurements and calculations in a single-family wooden house in the Swedish town of Växjö. Report TVBH-3056. Lund University, Div. of Building Physics, Lund University, Sweden.

Mundt-Petersen, S.O. 2013f. Comparison of hygrothermal measurements and calculations in a multi-family wooden house in the Swedish town of Växjö. Report TVBH-3057. Lund University, Div. of Building Physics, Lund University, Sweden.

Mundt-Petersen, S.O. 2013g. Comparison of hygrothermal measurements and calculations in a single-family wooden house in the Swedish municipality of Upplands-Bro, Report TVBH-3058, Div. of Building Physics, Lund University, Sweden.

Mundt-Petersen, S.O., 2015, Moisture safety in wood frame buildings – Blind evaluation of the hygrothermal calculation tool WUFI using field measurements and determination of factors affecting the moisture safety, Doctoral thesis, Report TVBH-1021, Div. of Building Physics, Lund University, Sweden.

Mundt-Petersen, S.O. and Harderup, L.-E., 2013, Validation of a 1D transient heat and moisture calculation tool under real conditions, Performance of the exterior envelopes of whole buildings XII – International conference 2013, Florida, USA.

Mundt-Petersen, S.O. and Harderup, L.-E., 2015, Predicting hygrothermal performance in cold roofs using a 1D transient heat and moisture calculation tool, *Building and Environment*, Vol. 90, 215-231 August 2015.

Mundt-Petersen, S.O., Harderup, L.-E. and Arfvidsson, J., 2013, Important factors affecting the risk of mold growth in well-insulated wood frame walls in northern European climates, Performance of the exterior envelopes of whole buildings XII – International conference 2013, Florida, USA.

Mundt-Petersen, S.O., Wallentén, P., Toratti, T. and Heikkinen, J., 2012, Moisture risk evaluation and determination of required measures to avoid mold damage using the Folos 2D visual mold chart. Thermophysics 2012 – Conference proceedings, 17th International Meeting of Thermophysical Society, Podkylava, Slovakia.

Olsson, L. 2014, Moisture conditions in exterior wooden walls and timber during production and use, Licentiate thesis, Lic 2014:2, Department of civil and environmental engineering, Chalmers university of Technology.

Olsson, L., Mjörnell, K. och Johansson, P., 2010, Kartläggning av fuktförhållanden vid prefabricerat trähusbyggande, Rapport 2010:02, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP Energiteknik, Sverige.

Paroc 2002, Produktinformation – byggboken.

Persson Lindgren C., 2010, Bygg fuktsäkra takkonstruktioner – slutrapport. SBUF projekt 12321, <http://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/4A9A17EA-7028-4BD0-BFDD-312FF6947CF6/FinalReport/SBUF%2012321%20Slutrapport%20Bygg%20fukts%C3%A4kra%20takkonstruktioner.pdf>, hämtad 2014-10-22.

Pietrzyk, K., Samuelson, I. and Johansson, P., 2011, Modelling reliability of structure with respect to incipient mould growth, NSB 2011, 9th Nordic Symposium on Building Physics, Tampere, Finland.

SBUF, Om SBUF, Hur SBUF arbetar, Kunskapsspridning, Projektregister, <http://epi7.sbuf.client.constructit.se/Projekt/?Status=5>, hämtad 2016-05-16.

Sedlbauer, K., 2001, Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components, Doctoral thesis, Fraunhofer Institute for Building Physics, Universität Stuttgart.

Sedlbauer, K., Krus, M. and Breuer, K., 2003, Mould growth prediction with a new biogrothermal method and its application in practice, IX Polska Konferencja Naukowo-Techniczna 2003, Łódź, Polen.

SMHI, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Klimatdata, Metrologi, Medelmonlighet, <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/medelmonlighet-over-hela-aret-1.4102>, hämtad 2015-12-31.

Thelandersson, S. and Isaksson, T., 2013, Mould resistance design (MRD) model for evaluation of risk for microbial growth under varying climate conditions, Building and Environment, Vol 65, 18-25, July 2013.

Togerö, Å., Svensson Tengberg, C. and Bengtsson, B., m-model: a method to assess the risk for mould growth in wood structures with fluctuating hygrothermal conditions, NSB 2011, 9th Nordic Symposium on Building Physics, Tampere, Finland.

Trygghetsvakten, 2016, www.trygghetsvakten.se, hämtad 2016-06-26.

Ventotech, 2016, www.ventotech.com, hämtad 2016-06-26.

Viitanen, H., Vinha, J., Salminen, K., Ojanen, T., Peuhkuri, R., Paajanen, L. and Lähdesmäki, K., 2010, Moisture and biodeterioration risk of building materials and structures, *Journal of Building Physics*, Vol. 33:3 201-224, January 2010.

Walker, I.S. and Forest, T.W., Field measurements of ventilation rates in attics, *Building and Environment*, Vol. 30:3 333-347.

Wallentén, P., 2014, Räkna F, Rapport TVBH-XXXX, Avd. för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Sverige.

WoodBuild, Projektbeskrivning, <https://www.sp.se/sv/index/research/woodbuild/sidor/default.aspx>, hämtad 2015-11-24.

WUFI, WUFI PRO 5.2, Användare manual, Materialdatabas samt Klimatdatabas, IBP – Holzkirchen, Release: 5.2.0.972.DB.24.76. Fraunhofer Institute for Building Physics, Holzkirchen, Tyskland.

