

Risk för fuktrelaterade skador i dränerade enstegstätade fasader

Risken för fuktrelaterade skador i olika typer av en- och tvåstegstätade fasad/ytterväggskonstruktioner



Ordernummer: 27677

AK-konsult

171 23 Solna Strand

Besöksadress: Hemvärnsgatan 15

Växel: 08-795 42 60 www.akkonsult.com

Dokumenttyp	Ordernummer	Rapportdatum	Antal sidor	Antal bilagor
Rapport	27677	2019-06-11	53	2
Uppdragsnamn	Revisionsdatum	Upprättad av		
Utvärdering dränerande enstegstätade fasader		S. Olof Mundt-Petersen		
Beställare	Referens	Granskad av		
Villaägarnas Riksförbund Produktgranskning	Ulf Stenberg			
Beställarens ordernummer			Status	
			Slutlig	

Sammanfattning

Skadorna i enstegstätade fasader är en av Sveriges största byggskaandaler genom tiderna med byggskaador uppgående till mångmiljardbelopp. Under 1990- och 2000-talet byggdes upp emot 22 000 nya småhus och cirka 144 000 nya lägenheter i flerfamiljshus med enstegstätade fasader. Många fasader drabbades av skador och fick rivas varvid tusentals ton byggmaterial kasserades i förtid.

I USA hade motsvarande byggskaandal med fuktskadade enstegstätade fasader konstaterats under tidigt 1990-tal. Till viss del var även samma materialleverantörer inblandade i dessa skadefall som några år senare i Sverige. Även om många byggtreprenörer använde sig av enstegstätade fasader var det långt ifrån alla i Sverige som tog byggmetoden i bruk. Vissa aktörer ställde sig skeptiska till metoden då den inte ansågs vara tillräckligt säker ur ett fuktsäkerhetsperspektiv. Byggmetoden introducerades på marknaden utan någon egentlig utvärdering om huruvida enstegstätade fasader fungerade rent praktiskt som fasadmetod för hus och flera byggtreprenörer hävdade senare att de inte kände till att enstegstätade fasader saknade ett fullgott väderskydd mot främst slagregn och slagregnsinträning.

Enligt Högsta domstolen ansvarar en byggtreprenör som använder sig av en ny konstruktion för att vidta lämpliga åtgärder för att förvissa sig om konstruktionens hållbarhet innan metoden används. Gör entreprenören inte detta, svarar denne för eventuella fel som uppdragas vid användande av konstruktionen¹.

Under de senaste åren har fasadsystem som rätteligen borde benämnas som dränerade enstegstätade fasader tvivelaktigt börjat marknadsföras som tvåstegstätade fasader. De nya dränerade enstegstätade fasaderna skiljer sig något åt från de traditionella enstegstätade fasaderna som introducerades på den svenska marknaden under tidigt 1990-tal. Den dränerade enstegstätade fasaden är tänkt att ha någon form av dränerande klimatskiva av mineralull innanför det yttre putsskiktet.

Mot bakgrund av att erfarenheterna från de enstegstätade fasaderna och att dessa kom att introduceras på den svenska marknaden utan någon relevant utvärdering av metodens lämplighet och jämförelse mot andra traditionella byggsystem har Villaägarna

¹ Högsta domstolen NJA 2015 s 110 samt NJA 2015 s 1040

Produktgranskning² uppdragit till Polygon|AK-Konsult att utreda i vilken mån de dränerade enstegstätade fasaderna fungerar på ett tillfredsställande sätt i jämförelse mot traditionella byggsystem för väggar med en ventilerad luftspalt.

Resultaten av studien visar att för såväl den traditionella enstegstätade fasaden med klimatskiva av cellplast som den enstegstätade fasaden med klimatskiva av mineralull liksom de nyare dränerade enstegstätade fasaderna så kommer nivåer överskridas för när förutsättningar för påväxt av mögel förekommer. Fasadsystem med en klimatskiva av mineralull har generellt en lägre sannolikhet för att drabbas av påväxt av mögel, oavsett förmåga att dränera ut inträngande vatten. Tvåstegstätade fasader med en ventilerad luftspalt är betydligt mer robusta jämfört med enstegstätade fasader och dränerade enstegstätade fasader under förutsättning att de yttre isolerskikten i konstruktionen är så pass diffusionsöppna, dvs mycket genomsläppliga för vattenånga, att inträngande fukt kan torka ut till luftspalten och därifrån ventileras ut.

Fasadens generella utformning med en ventilerad luftspalt är av betydelse för att konstruktionen inte ska riskera att drabbas av fukt- och mögelrelaterade skador. Även dränerande, ventilerande och kapillärbrytande detaljer, genomföringar, anslutningar och infästningar är av stor betydelse för att inga skador ska uppstå. Oavsett fasadlösning måste alla detaljlösningar utföras på ett fuktsäkert sätt där eventuell inträngande fukt dräneras ut.

Ju sämre utformad fasadkonstruktion, desto svårare har den att hantera ett mer krävande klimat. Omgivande förutsättningar i klimatet gör att risken för skador är större och uppkommer snabbare och i större omfattning i Skåne jämfört med Stockholmsområdet. För att avgöra om en konstruktionslösning har förutsättningar för att inte drabbas av skador måste det specifika klimatet på den aktuella platsen beaktas ihop med aktuell konstruktionslösning.

För att undvika fuktskador vid uppförande av nya byggnader samt omfattande fasadrenoveringar av befintliga byggnader ska fasaden utföras tvåstegstätad med en ventilerad spalt som är öppen i botten och toppen. Vidare skall diffusionsöppna isolermaterial och klimatskiva användas i den yttre delen av konstruktionen.

Förutsättningar för mikrobiell påväxt reduceras för såväl enstegstätade som tvåstegstätade fasader i takt med att mängden inträngande slagregn reduceras. Det finns således ett starkt beroende mellan mängden inträngande slagregn och risken för fukt- och mögelrelaterade skador.

Resultaten överensstämmer ur ett generellt perspektiv med tidigare erfarenheter och riktad studie inom området. I sammanhanget kan det dock konstateras att Myndigheter och juridiska instanser, tekniska institut, universitet och högskolor samt facklitteratur har en varierande definition för hur en tvåstegstätad fasad skall uppföras. Mycket olyckligt så förekommer olika funktionskrav. Vidare blandas funktionskrav med beskrivningar av utförandet. Variationer i definitioner har gjort att materialleverantörer mycket tvivelaktigt marknadsför de betydligt mindre robusta dränerade enstegstätade fasaderna som uppenbart kan ge omfattande skador som betydligt mer robusta tvåstegstätade fasadsystem. Det föreligger således skäl till att upprätta en tydlig otvivelaktig definition av begreppen.

² Villaägarnas Riksförbund, produktgranskning, www.villaagarna.se/produktgranskning

Innehållsförteckning

1.	Introduktion	7
1.1.	Bakgrund.....	7
1.2.	Syfte	8
1.3.	Historik och nulägesanalys	8
1.4.	Teori, praktik och begrepp - vad är enstegstätning och tvåstegstätning	9
1.4.1.	Inträngande slagregn.....	11
1.4.2.	Betydande faktorer för att undvika skador från inträngande slagregn.....	11
1.4.3.	Begrepp och definitioner i litteratur och myndighetsutövning	12
1.4.4.	Sammanfattning av begrepp och definitioner.....	15
1.4.5.	Fastställande av begrepp och definitioner	16
1.4.6.	Övriga betydande faktorer som påverkar risken för fuktrelaterade skador.	19
2.	Metod och bedömningsgrunder	21
2.1.	Avgränsningar	21
2.2.	Orsaker till mögelpåväxt.....	22
2.3.	Bedömningsgrunder och analysverktyg - Folosdiagrammet.....	23
2.4.	Klimat och randvillkor.....	26
2.4.1.	Utomhusklimat	26
2.4.2.	Inomhusklimat.....	26
3.	Resultat och analys.....	27
3.1.	Traditionell enstegstätad fasad med klimatskiva av cellplast	27
3.2.	Enstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull.....	28
3.3.	Svagt dränerad enstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull	30
3.4.	Delvis dränerad enstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull	32
3.5.	Helt dränerad enstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull.....	34
3.6.	Tvåstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull	36
3.7.	Tvåstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull utan slagregn.....	38
3.8.	Väl ventilerad tvåstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull	40
3.9.	Väl ventilerad tvåstegstätad fasad med klimatskiva av cellplast	42
4.	Slutsatser	45
5.	Referenser	47
6.	Bilagor	51

1. Introduktion

1.1. Bakgrund

Skadorna i enstegstätade fasader är en av Sveriges största byggskaudaler genom tiderna med byggskaudor uppgående till mångmiljardbelopp. Under 1990- och 2000-talet byggdes upp emot 22 000 nya småhus och cirka 144 000 nya lägenheter i flerfamiljshus med enstegstätade fasader. Många fasader drabbades av skador och fick rivas varvid tusentals ton byggmaterial kasserades i förtid.

I USA hade motsvarande byggskaudal med fuktskadade enstegstätade fasader konstaterats under tidigt 1990-tal. Till viss del var även samma materialleverantörer inblandade i dessa skadefall som några år senare i Sverige. Även om många byggtreprenörer använde sig av enstegstätade fasader var det långt ifrån alla i Sverige som tog byggmetoden i bruk. Vissa aktörer ställde sig skeptiska till metoden då den inte ansågs vara tillräckligt säker ur ett fuktsäkerhetsperspektiv. Byggmetoden introducerades på marknaden utan någon egentlig utvärdering om huruvida enstegstätade fasader fungerade rent praktiskt som fasadmetod för hus och flera byggtreprenörer hävdade senare att de inte kände till att enstegstätade fasader saknade ett fullgott våderskydd mot främst slagregn och slagregnsinträning.

Enligt Högsta domstolen ansvarar en byggtreprenör som använder sig av en ny konstruktion för att vidta lämpliga åtgärder för att förvissa sig om konstruktionens hållbarhet innan metoden används. Gör treprenören inte detta, svarar denne för eventuella fel som uppdragas vid användande av konstruktionen³.

Under de senaste åren har flera puts och fasadleverantörer introducerat nya fasad- och ytterväggssystem. Gemensamt för konstruktionerna är att de är oventilerade och har en mer eller mindre dränerande och tryckutjämnande funktion. I marknadsföringen av de nya fasad- och ytterväggssystemen används begreppet "tvåstegstätad fasad" fittigt. Med hänvisning till tidigare domar⁴ är det ytterst tvivelaktigt om dessa nya oventilerade fasadssystem som introduceras kan benämnas som tvåstegstätade. I sammanhanget rör det sig om dränerade enstegstätade fasadlösningar där klimatskiva som applicerats bakom putsen ska ha en tillräckligt dränerande funktion för att skador inte ska kunna uppstå.

I sammanhanget utnyttjas att olika myndigheter, tekniska institut, universitet- och högskolor samt facklitteratur och juridiska instanser har en något varierande definition för hur en tvåstegstätad fasad ska vara uppbyggd och vilka funktionskrav som ställs. I kombination med att metoder och riktlinjer för randvillkor, begynnelsevillkor, moduluppbyggnad etc. vid utvärdering av vägg och fasadssystem saknas uppstår en situation som riskerar att leda till att omfattande fuktskaudor återigen uppstår i nybyggda hus.

³ Högsta domstolen NJA 2015 s 110 samt NJA 2015 s 1040

⁴ Högsta domstolen NJA 2015 s 110 samt NJA 2015 s 1040.

1.2. Syfte

Denna studie avser att utvärdera samt visa och jämföra risken för fuktrelaterade skador i olika vägg- och fasadlösningar. Vidare sammanställs och definieras begrepp för olika ytterväggs- och fasadlösningar med hänvisning till befintlig litteratur samt utlåtande från juridiska instanser.

1.3. Historik och nulägesanalys

Ur ett generellt perspektiv är det främsta skälet till att bygga hus med enstegstätade fasader att det är en relativt produktionsvänlig byggmetod där en förhållandevis bra isolerförmåga kan erhållas. Historiskt härstammar konstruktionen från oljekrisen på 1970-talet när huvudsakligen stenhus tilläggsisolerades utvändigt med cellplast som därefter putsades. De organiska och i sammanhanget mer fukttåliga murade väggarna klarade oftast de höga fukttillstånd som uppstod på baksidan av tilläggsisoleringen av cellplast.

Problematiken med inträngande vatten i traditionella odränerade enstegstätade fasader uppmärksammades i större omfattning i samband med att fukt- och mögelrelaterade skador uppdagades i nyproducerade bostäder i Hammarby Sjöstad i början av 2000-talet. Initialt hänvisades till bristande väderskydd under produktionsskedet, vilket i sammanhanget även var en starkt bidragande orsak till skadorna⁵, men sannolikt inte förklarade hela skadebilden.

Internationellt var problematiken känd sedan tidigare och redan under mitten av 1990-talet kom alarmerande rapporter från bland annat USA om att konstruktionslösningen inte fungerade⁶ ⁷. Efter fuktskadorna i Hammarby Sjöstad upphörde en större entreprenör med riskkonstruktionen på eget initiativ och ytterligare en större trähustillverkare utvärderade sitt byggsystem genom SP, nuvarande RI.SE, och ändrade därefter sin fasadlösning till en väl ventilerad tvåstegstätad fasad. Ironiskt nog blev de företag som själva konstaterade och upphörde med riskkonstruktionen ifrågasatta av stora delar av övriga byggindustrin. Trots kännedom om riskkonstruktionen i branschen dröjde det tills 2007 innan SP släppte en rapport som tydligt visade på skadebilden och i praktiken gjorde att konstruktionslösningen begränsades kraftigt i nyproduktion⁸ ⁹.

Parallellt med flera tvistemål initierades från 2008 och framåt flera utvecklingsprojekt där olika typer av dränerade enstegstätade konstruktioner utvärderades. Även om flertalet projekt skedde utan allmän insyn hos enskilda företag är det vida känt att försöken inte föll väl ut, antingen av tekniska aspekter eller marknadsmässiga skäl, varvid produktionsmetoden upphörde.

Konsekvenserna av de omfattande fuktskadorna medförde även att det regelverk, Boverkets byggregler, BBR, som reglerar krav vid uppförande av hus justerades och uppdaterades i mitten

⁵ Samuelsson och Wänggren, Fukt och mögelskador Hammarby Sjöstad, SP rapport 2002:15, SP Byggnadsfysik, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, 2002.

⁶ Lstiburek, The fundamental flaw of EIFS, Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings VII – International Conference 1995, Florida, USA.

⁷ Jansson och Hansén, Putsade enstegstätade regelväggar – Erfarenheter från undersökningar som SP utfört, SP rapport 2015:01, Hållbar samhällsbyggnad, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2015.

⁸ Jansson, Samuelsson och Mjörnell, Fuktskador i putsade odränerade regelväggar – lägesrapport oktober 2007, SP rapport 2007:36, Energiteknik, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2007.

⁹ Jansson, Samuelsson och Mjörnell, Skador i putsade träregelväggar, Bygg & Teknik 1:2007.

av 2000-talet. Från 2006 ställs krav på att risken för fuktrelaterade skador ska beaktas, utvärderas och hanteras redan i projekteringsskedet innan ett hus uppförs¹⁰.

Trots justeringar och krav på att risken för fuktskador ska beaktas i tidiga skeden sedan 2006 konstaterar Boverket själva att vatten- och fuktrelaterade skador är de vanligast förekommande problemen. Vidare konstaterar Boverket att det råder en avsaknad av statligt finansierad- och oberoende forskning¹¹. I praktiken ställs således krav på en fuktsäker byggprocess samtidigt som det saknas praktiskt tillämpbara riktlinjer för hur verktyg ska användas och hur man i praktiken kan uppföra fuktsäkra byggnader. Situationen blir ännu mer olycklig av att andra statliga myndigheter uppenbart motarbetar och försummar byggrelaterade forsknings- och utvecklingsinsatser. Detta sker parallellt med att statliga incitament och fristående utredningar tydligt indikerar att andelen träbaserade material i byggnader ska öka, samtidigt kräver dessa träbaserade hus ett stort engagemang och kunskap för att förhindra fuktrelaterade skador. I enlighet med såväl statliga som fristående utredningar visar även vår erfarenhet att det råder en omfattande kompetensbrist rörande tekniska egenskapskrav hos granskande myndigheter samt att sanktionsmöjligheter mot brister i en byggnads tekniska egenskapskrav i praktiken saknas¹²
¹³ ¹⁴.

1.4. Teori, praktik och begrepp - vad är enstegstättning och tvåstegstättning

Lätta ytterväggskonstruktioner utgörs av en rad olika skikt. Skikten har i sin tur en eller flera olika funktioner. Vidare kan samma funktion förekomma i flera olika skikt. Nedan redovisas schematiskt hur en traditionell en- och tvåstegstätad vägg med utvändig putsad fasad kan vara uppbyggd. Exempelen i figur 1 och 2 utgör två ytterligheter där denna studie jämför dessa två ytterligheter samt en rad olika utföranden och lösningar som mellan dessa två ytterligheter.

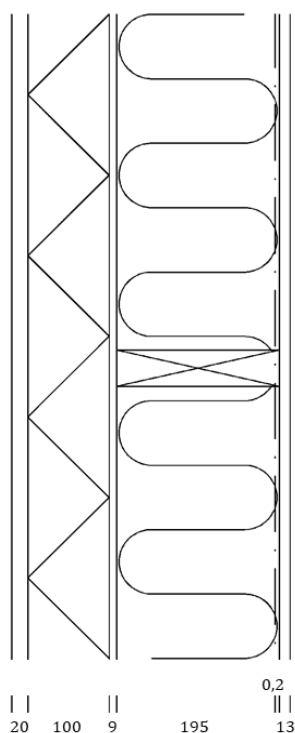
¹⁰ Boverket, BFS 2006:12 BBR:12, Regelsamling för byggande – Boverkets byggregler, BBR, Boverket, 2006.

¹¹ Boverket, Kartläggning av fel, brister och inom byggsektorn, Rapport 2018:36, Boverket 2018.

¹² Boverket, Kartläggning av fel, brister och inom byggsektorn, Rapport 2018:36, Boverket 2018.

¹³ IVA, Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademin, Staffan Eriksson, Samhällsbyggande, drivmedel och energi, IVA-projektet Innovation i skogsnäringen, IVA 2017.

¹⁴ Regeringen, Inventering för ett ökat industriellt träbyggande, 15 december 2016, www.regeringen.se/artiklar/2016/12/inventering-av-mojligheter-for-ett-okat-industriellt-trabyggande/.



20 mm Puts

- Estetik
- Skydd mot mekanisk påverkan
- Regn, lufttryck och klimatskydd

100 mm Klimatskiva av cellplast

- Isolering
- Bryta köldbryggor
- Putsbärare

9 mm Uteqipsskiva

- Bärande - stom- och vindstabiliserande
- Infästning av utanpåliggande klimatskiva

195 mm Isolering med mellanliggande reglar

- Isolering
- Bärande
- Brandskydd

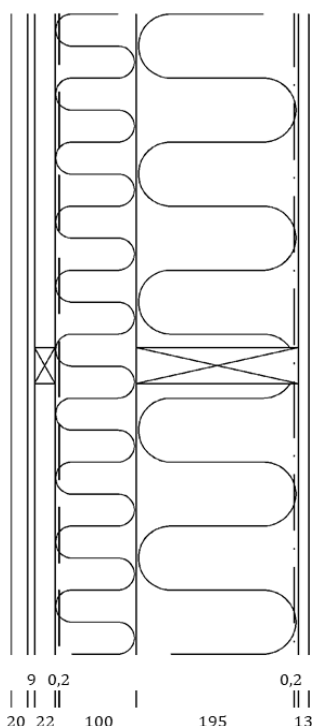
0,2 mm Ångspärr

- Hindrar fuktig luft från att tränga in i väggen
- Hindrar energiförlust genom läckage av varm luft

13 mm Gipsskiva

- Brand
- Estetik, underlag för tapet eller målning
- Bärande - stom- och vindstabiliserande

Figur 1. Exempel på en traditionell enstegstättad fasad inklusive respektive skikts väsentliga funktioner redovisat i ett horisontalsnitt.



20 mm Puts

- Estetik
- Skydd mot mekanisk påverkan
- Regn, lufttryck och klimatskydd

9 mm cementfiberskiva

- Putsbärare

22 mm luftspalt med stående eller perforerad plåtläkt

- Tryckutjämnande
- Dränerande av inträngande vatten
- Ventilation och uttorkning av fukt som trängt in konstruktionen
- Kapillärbrytande som begränsar fukt att tränga in i väggen

0,2 mm Vindduk

- Vattenavvisande
- Vindskydd för förbättrad isolerförmåga i klimatskivan

100 mm Klimatskiva av styv mineralull

- Isolering
- Bryta köldbryggor
- Putsbärare

195 mm Isolering med mellanliggande reglar

- Isolering
- Bärande
- Brandskydd

0,2 mm Ångspärr

- Hindrar fuktig luft från att tränga in i väggen
- Hindrar energiförlust genom läckage av varm luft

13 mm Gipsskiva

- Brand
- Estetik, underlag för tapet eller målning
- Bärande - stom- och vindstabiliserande

Figur 2. Exempel på en traditionell tvåstegstättad fasad inklusive respektive skikts väsentliga funktioner redovisat i ett horisontalsnitt.

Av figur 1 och 2 enligt ovan framgår att en väsentlig skillnad är luftspalten samt att den tvåstegstätade fasaden med detta även har en dränerande, ventilerande, tryckutjämnande och kapillärbrytande funktion.

1.4.1. Inträngande slagregn

Oavsett väggens konstruktion visar flera såväl nationella som internationella studier att inläckage av vatten sker i väggar som utsätts för slagregn^{15 16 17}. Sannolikt är även inträngande slagregn även en av de dominerande orsaker till skador i såväl en- som tvåstegstätade ytterväggskonstruktioner. Inläckaget sker normalt sett vid detaljer, genomföringar, anslutningar, infästningar mm. men kan även ske genom en mer eller mindre plan ytterväggsyta.

Svenska och Europeiska direktiv för hur det inträngande slagregnet ska hanteras i projekteringsskedet innan ett hus uppförs saknas trots att data för att ta fram relevanta riktlinjer finns. De enda riktlinjer som finns för att beakta inverkan av slagregn redovisas i en amerikansk standard där 1 % av den nederbörd som träffar fasaden antas läcka in i konstruktionen. Mängden inträngande slagregn har uppskattats baserat på erfarenhet från hur omfattande skador som noterats jämfört med resultat från beräkningar. Hur långt in läckaget ska antas tränga in är svävande men minst innanför det yttre regnavviskande skiktet eller "där som anses mest rimligt"¹⁸. Inläckage av slagregn sker i såväl en- som tvåstegstätade fasader. Dock sker inläckaget i olika stor omfattning, delvis olika långt in i konstruktionen samt att olika förutsättningar för att avlägsna inträngande slagregn genom dränering och uttorkning föreligger för en- och tvåstegstätade fasader. Inverkan av slagregn har i vissa sammanhang försumrats vilket i parallella och reviderade studier tvärt om visar att skador uppstår om slagregnet beaktas¹⁹.

1.4.2. Betydande faktorer för att undvika skador från inträngande slagregn

För att säkerställa att skador inte uppstår i konstruktionen finns en rad olika åtgärder som kan vidtas såväl enskilt som tillsammans. Oavsett åtgärd så måste inträngande slagregn antingen hindras från att tränga in eller avlägsnas tillräckligt snabbt och i tillräcklig omfattning innan skador uppstår.

¹⁵ Olsson, Slagregnstäthet hos fasader och vindskydd, Bygg & Teknik 2:2014, s 32.

¹⁶ Mundt-Petersen, Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Rapport TVBH-3059, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2015.

¹⁷ Olsson, Driving rain tightness, intrusion rates and phenomenology of leakages in defects of facades: A new calculation algorithm, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsteknologi, Chalmers, Göteborg 2018.

¹⁸ ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.

¹⁹ Samuelsson, Jansson, Putsade regelväggar, SP rapport 2009:16, Energiteknik, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2009.

Generellt kan följande åtgärder vidtas för att hindra att fuktrelaterade skador uppstår:

- Tätt skikt som hindrar eller kraftigt begränsar inträngande slagregn från att tränga in igenom yttre skiktet. Genom en tät och väl utförd fasadlösning kan vatten hindras från att tränga in i konstruktionen. Detta har i praktiken visat sig vara omöjligt och vatten tränger normalt sett alltid in i konstruktionen på ett eller annat sätt. Väl utförda detaljer, genomföringar, anslutningar mm är dock en viktig faktor då dessa kan reducera mängden inträngande vatten. Täta skikt i de yttre delarna av konstruktionen kommer sannolikt att stänga in det vatten som tränger in och därav orsaka omfattande skador.
- Dränerande och vattenutledande funktioner i de yttre delarna av fasaden som direkt tillser att inträngande slagregn dräneras och leds ut ur konstruktionen. En sådan funktion kan till exempel vara en luftspalt med vattenutledande sockelbleck i botten.
- Ventilering av luftspalt. Luftspalten måste vara tillräckligt bred, ca 20 mm, och inte ha några större hinder. En väl ventilerad luftspalt gör att fukt som trängt in i spalten ventileras ut samtidigt som omgivande material som fuktats upp, såväl insidan av yttre fasadskikt och eventuella skikt längre in i konstruktionen, torkas ut av den mestadels torrare luft som leds in i luftspalten.
- Kapillärbrytande skikt som hindrar att vatten transporteras in i konstruktionen. Ett kapillärbrytande skikt kan utgöras av en luftspalt eller en kapillärbrytande isolering av till exempel mineralull.
- Tryckutjämnande skikt skapar ett tryckfall över de yttre delarna av fasaden. Genom en tryckutjämnning reduceras mängden vatten som kan tryckas in i väggkonstruktionen. Ett tryckutjämnande skikt kan utgöras av till exempel en luftspalt eller en porös tryckutjämnande isolering.

1.4.3. Begrepp och definitioner i litteratur och myndighetsutövning

Nedan redovisas exempel på olika begrepp och definitioner av vad som definierar en och tvåstegstätad fasad hämtade från litteratur, certifieringar och domar.

Fukthandbok – praktik och teori, Jesper Arfvidsson, Lars-Erik Harderup, Ingemar Samuelsson²⁰

En- och tvåstegstätning behandlas i kap 32:13 Fasadfogar och berör huvudsakligen frågeställningen i utförande av specifika anslutningar, genomföringar, detaljer och infästningar mm. En- och tvåstegstätning definieras på följande sätt:

”Enstegstätning innebär att fogarna måste göras helt täta. Regnskydd och vindskydd ligger i samma plan”

”Tvåstegstätning innebär att regn och vindskydd skiljs åt. Fogarna i regnkappan ges en bredd som gör att vattenfilm ej kan bildas över dem. Detta uppnås om fogbredden är större än 4-5 mm. Fogutformningen måste naturligtvis också vara sådan att vatten inte kan rinna in i väggen på grund av tyngdkraften. Luftrummet bakom regnkappan kan antingen vara en hel luftspalt eller en tryckkammare i anslutning till fogen”.

Ovan redovisade definitioner överensstämmer med föregående upplaga av fukthandboken²¹

²⁰ Arfvidsson, Harderup, Samuelsson, Fukthandbok – praktik och teori, AB Svensk byggtjänst, fjärde upplagan, Bulls Graphics, Halmstad 2017.

²¹ Nevander, Elmarsson, Fukthandbok – praktik och teori, AB Svensk byggtjänst, tredje upplagan, Mölnlycke 2011.

Byggnadsfysik – så fungerar hus av Carl-Eric Hagentoft och Kenneth Sandin²²

”Regntäthet, den så kallade tvåstegsprincipen, som används då slagregnsskyddet består av en ventilerad och dränerande ytterbeklädnad, kan också utnyttjas för att förhindra att regnvatten tränger igenom fogar i en betongvägg. Ett första skydd för att reducera vattenmängderna som kommer in vid fogen kan utföras med en ej helt tät första ”front”, en regnskärm. Bakom denna finns en luftkanal där resterande inträngda regnvatten kan dräneras bort eller tillfälligt ackumuleras för att senare rinna tillbaka ut. Den tidigare vattentäta väggen där fogen direkt görs vatten- och vindtät följer enstegstättningsprincipen.”

Tillämpad byggnadsfysik av Bengt-Åke Petersson²³

En- och tvåstegstätning behandlas i kapitel 6.2 Väggar under rubriken fasadfogar och fokuserar på detaljer mm.

”Enstegstätning. En fog som är tätad i ett steg – enstegstätning – innebär att regnskyddet och vindtätningen ligger i samma plan. Hela tätningen ligger därmed i själva fogen som skall ta upp hela den totala lufttrycksdifferensen mellan utomhus och inomhus...”

”Tvåstegstätning. En fog som är tätad i två steg – tvåstegstätning – innebär att regnskydd och vindskydd skiljs åt. Medan vindskyddet i fogen är placerat längst in utformas fogen i regnkappan på sådant sätt att inte regnvatten kan rinna rakt in i fogen. Detta medför att lufttrycksdifferensen över regnskyddet i det närmaste blir noll och därmed ingen drivkraft för vattnet att komma in i väggen.”

Praktisk byggnadsfysik, Kenneth Sandin²⁴

Frågor rörande en- och tvåstegstätning behandlas i flera olika kapitel och olika förutsättningar.

Kapitel 5.5.2 Konstruktionsprinciper berör frågeställningen för en- och tvåstegstättade detaljer mm. I princip identiska redogörelser jämfört med vad som framgår i fukthandboken enligt ovan redovisas.

Kapitel 5.5.3 Fuktblastningar där enstegstätning definieras även som ett vattentätt ytskikt.

”Ett vattentätt ytskikt (enstegstätning) innebär att allt regnvatten ska förhindras att tränga in i väggen genom ytskiktet. Det finns normalt inget skikt längre in i väggen som fungerar som en extra säkerhet. Som exempel på dessa ytterväggar kan nämnas puts direkt på värmeisolering, tät färg på murverk och betongelement med täta fogar”

Vidare definieras inte tvåstegstätning i detta sammanhang mer än att följande redovisas:

”En ventilerad och dränerande ytterbeklädnad innebär att det ytterst finns ett ”skal” som avleder huvuddelen av slagregnet. Bakom detta skal finns en dränerande luftspalt som kan ta hand om det vatten som tränger in genom det yttre skalet. Detta är en vedertagen princip som normalt fungerar bra. Inget vatten ska tränga in bakom luftspalten. Som exempel på denna väggtyp kan nämnas en traditionell skalmur, träpanel och puts på skivor”

²² Hagentoft, Sandin, Byggnadsfysik – så fungerar hus, Studentlitteratur AB, Interark, Polen 2017.

²³ Petersson, Tillämpad byggnadsfysik, Studentlitteratur, Scangraphic, Danmark 2007.

²⁴ Sandin, Praktisk byggnadsfysik, Studentlitteratur AB, Lund, Elanders Hungary 2011.

Kapitel 5.5.4 Träregelevägg med luftspalt redovisar för olika materialskikts funktion.

"Den yttersta beklädnadens uppgift är främst att avleda slagregn så att detta inte tränger in i väggen"

"Vindskyddet utanför den bärande stommen... .. En annan funktion är att fungera som ett sekundärt fuktskydd med avseende på inträngande regnvatten. Detta vindskydd måste vara helt fuktbeständigt om det kan komma i kontakt med fukt utifrån"

"För att ta hand om och avleda det regnvatten som trots allt tränger in genom flertalet utvändiga fasadskikt bör det finnas en luftspalt mellan fasadskiktet och bakomliggande vägg. Denna luftspalt ska kunna dränera bort det inträngande vatten och även vara ventilerade så att det vatten som absorberas av fasadskiktet ska kunna torka ut så snabbt som möjligt. Luftspalten ska även fungera som ett tryckutjämnande skikt enligt beskrivningen av tvåstegstätning i avsnitt 5.5.2."

Vandrande fukt Strålände värme – så fungerar hus, Carl-Eric Hagentoft²⁵

En- och tvåstegsprincipen behandlas i kapitel 14 Ytterväggarna

"Regntäthet. Den så kallade tvåstegsprincipen, som används då slagregnsskyddet består av en ventilerad och dränerande ytterbeklädnad, kan också utnyttjas för att förhindra att regnvatten tränger genom fogar i en betongvägg... .. Den tidigare nämnda vattentäta väggen där fogen direkt görs vatten- och vindtät benämns följa den s.k. enstegsprincipen."

Högsta domstolen NJA 2015 s 110 samt NJA 2015 s 1040, mål T 916-13

Högsta domstolen skriver i domskälen till domen i mål T-916-13 under rubriken Bakgrund punkten 2. " Enstegstättningen innebär, till skillnad från tvåstegstättade fasader, att det inte finns någon luftspalt bakom det yttre skiktet"

Ventilerad luftspalt i yttervägg: luftomsättningar och konvektiv fukttransport, Jörgen Falk²⁶

Licentiatavhandlingen redovisar mätningar, beräkningar och modeller för uttorkning i av fukt i olika typer av ventilerade luftspalter. Frågan rörande enstegstättning berörs initialt i kapitel 1 Introduktion och problemställning utan att innebörd och utformning av en enstegstättad fasad definieras. Däremot ges exempel på en tvåstegstättad fasad "I en av de principer som omnämns utförs putsen inte mot isolering utan mot en fukttålig skiva med en bakomliggande, dränerad och ventilerad luftspalt. En putsfasad i detta utförande blir tvåstegstättad."

I kapitel 10 Enkla jämförande uttorkningsberäkningar framgår "Som nämns i kapitel 1 har enstegstättade putsade fasader (ingen luftspalt) på regelstommar i betydande omfattning drabbats av fuktproblem."

I kapitel 10.2.2 Fasad med puts på isolering framgår vidare "I den enstegstättade väggen måste hela uttorkningsförloppet ske genom att ånga diffunderar genom puts och isolering." vilket innebär att dränerande funktion saknas.

²⁵ Hagentoft, Vandrande fukt Strålände värme – så fungerar hus, Studentlitteratur, Narayana Press Denmark, 2002.

²⁶ Falk, Ventilerad luftspalt i yttervägg: luftomsättningar och konvektiv fukttransport, Rapport TVBM-3155, Licentiatavhandling, Avd för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2010.

1.4.4. Sammanfattning av begrepp och definitioner

Hur en enstegstätad respektive tvåstegstätad fasad definieras varierar mellan dels funktionskrav och dels utförande.

Gemensamt är att en tvåstegstätad fasad ska ha en tryckutjämnande funktion. Nästan samtlig litteratur anger att det också ska finnas en dränerande funktion. I flera sammanhang anges även att ventilerad funktion skall eller bör finnas. Ingenstans anges specifikt att en kapillärbrytande funktion skall finnas vilket å andra sidan i praktiken uppfylls med en dränerande funktion.

I de fall tvåstegstätningen definieras med ett faktiskt utförande samt i bilder innehåller denna en luftspalt. I vissa fall anges det att luftspalten skall eller bör vara ventilerad medan bara en luftspalt anges i andra fall utan att det framgår huruvida spalten ska vara ventilerad eller inte.

Ett fall anger att enstegstätningen uppfylls när regn och vindtätning ligger i samma skikt vilket skulle kunna tolkas så att alla andra lösningar beaktas som tvåstegstätade, även om någon dränerande, ventilerade och kapillärbrytande förmåga inte finns.

Högsta domstolen anger i en uppmärksammas dom²⁷ att en tvåstegstätad fasad skall utgöras av en luftspalt, vilken i praktiken gör att kravet på tryckutjämnande, dränerande och kapillärbrytande funktion uppfylls. Det anges inte huruvida denna luftspalt skall vara ventilerad eller inte även om luftspalter bakom det yttersta fasadsiktet normalt sett alltid är ventilerade i någon grad. RI.SE, tidigare SP, hävdar att den tryckutjämnande, dränerande och kapillärbrytande funktionen kan erhållas på annat sätt, till exempel genom en porös mineralullsisolering.

I de fall en luftspalt förekommer så är denna normalt sett ventilerad. Att så är nödvändigt samt omfattningen av ventilationen redovisas dock endast i vetenskapliga publikationer^{28 29}. Omfattningen av ventilationen kan variera men normalt sett så erhålls en tillräckligt kraftig ventilation för att ventileras bort all överskottsfukt vid en minst 20 mm tjock luftspalt som har tillräckliga öppningar i botten och toppen samt inte är helt hermetisk sluten³⁰. Mätningar visar att ett tillräckligt högt flöde erhålls vid liggande perforerande ställäkt eller liggande läkt med utanpåliggande lockpanel^{31 32}. Av byggnadstekniska skäl är normalt sett luftspalten alltid minst 22 mm då denna tjocklek behövs på trälakten för att kunna fästa utanpåliggande fasadmateriäl. Flera olika studier redovisar behovet av ett tillräckligt högt ventilationsflöde i luftspalten och att detta många gånger är helt avgörande inverkan för att även torka ut fukt som tränger in i väggen^{33 34}.

²⁷ Högsta domstolen NJA 2015 s 110 samt NJA 2015 s 1040.

²⁸ Falk, Ventilerad luftspalt i yttervägg: luftomsättningar och konvektiv fukttransport, Rapport TVBM-3155, Licentiatavhandling, Avd för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2010.

²⁹ Mundt-Petersen, Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Rapport TVBH-3059, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2015.

³⁰ Falk, Ventilerad luftspalt i yttervägg: luftomsättningar och konvektiv fukttransport, Rapport TVBM-3155, Licentiatavhandling, Avd för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2010.

³¹ Falk, Ventilerad luftspalt i yttervägg: luftomsättningar och konvektiv fukttransport, Rapport TVBM-3155, Licentiatavhandling, Avd för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2010.

³² Mundt-Petersen, Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Rapport TVBH-3059, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2015.

³³ Falk, Ventilerad luftspalt i yttervägg: luftomsättningar och konvektiv fukttransport, Rapport TVBM-3155, Licentiatavhandling, Avd för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2010.

³⁴ Mundt-Petersen, Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Rapport TVBH-3059, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2015.

Definitionerna skiljer sig åt och det kan tolkas olika. I sammanhanget blir det av betydelse, både i definitionsmässig mening och tillämpad mening, om en tvåstegstätad fasad ur ett utförande perspektiv även ska inkludera en luftspalt med följderna att ett funktionskrav på ventilation och i förlängningen uttorkande effekt finns.

1.4.5. Fastställande av begrepp och definitioner

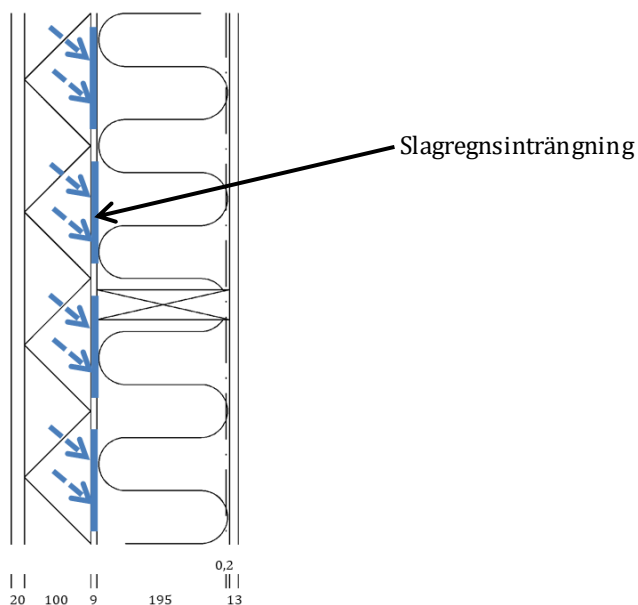
Mot bakgrund av de något avvikande uppfattningar som råder rörande hur en tvåstegstätad fasad skall utformas samt vilka funktionskrav som inkluderas definieras olika ytterväggs- och fasadsystem enligt nedan.

Traditionell enstegstätad fasad

Även kallad enstegstätad fasad eller traditionell enstegstätad fasad med klimatskiva av cellplast.

Precis som framgår i föregående mening så består väggen av en homogen klimatskiva av cellplast som appliceras på utsidan av reglarna eller på utsidan av en skiva som i sin tur applicerats på utsidan av regelstommen. Cellplasten beläggs i sin tur med puts.

Utöver det utvändiga putsskiktet saknar ytterväggssystemet dränerande, kapillärbrytande, tryckutjämnande och ventilerande funktion.



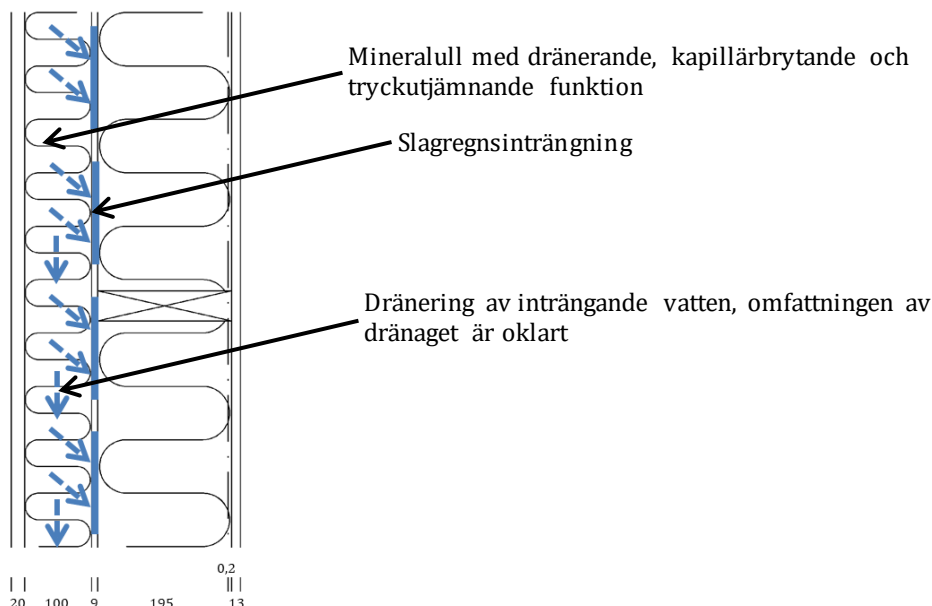
Figur 3. Exempel på en traditionell enstegstätad fasad redovisad i ett horizontalsnitt, samma som figur 1 med tillägget att även inträngande slagregn redovisas.

Dränerad enstegstätad fasad

Även kallad dränerad enstegstätad fasad med tryckutjämnning. Ibland har även konstruktionen benämnts som enstegstätad. Mot bakgrund av ovan redovisat har aktuell fasad och ytterväggskonstruktion mycket tvivelaktigt benämnts tvåstegstätad vid marknadsföring.

Konstruktionen består av en mineralullsbaserad klimatskiva med intentionen att denna ska vara dränerande, tryckutjämnande och kapillärbrytande. Mineralullsskivan monteras på utsidan av en fukttålig skiva som sitter utanpå reglarna. Mineralullsskivan putsas utvändigt.

Ytterväggssystemet ska ha en dokumenterat dränerande, tryckutjämnande och kapillärbrytande funktion för att kunna benämnas dränerad enstegstätad fasad. Ytterväggssystemet saknar ventilerande funktion vilket i sin tur inte möjliggör en uttorkande effekt. Den dränerande, tryckutjämnande samt kapillärbrytande förmågan reducerar mängden slagregn som tränger in i konstruktionen och därmed risken för skada. Hur mycket inträngande slagregn reduceras är dock oklart.

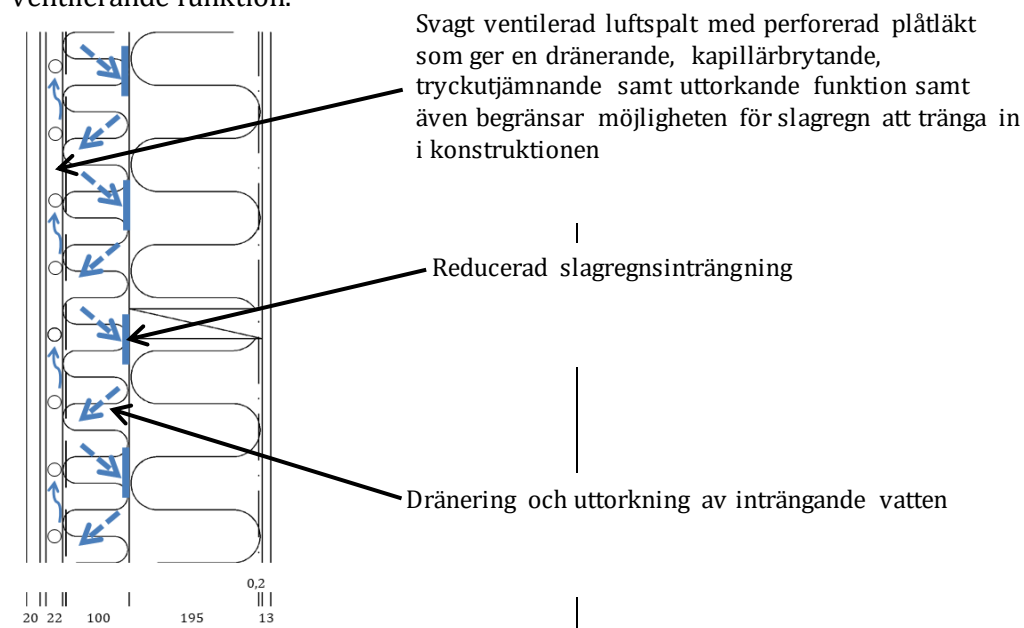


Figur 4. Exempel på en dränerad enstegstätad fasad med mineralull som putsbärare i ett horisontalt snitt med tillägget att inträngande slagregn och potentiell dränerande effekt även redovisas.

Tvåstegstättad fasad

Ytterväggskonstruktionen har en luftspalt innanför det yttre fasadskiktet med en dränerande, tryckutjämnande, kapillärbrytande och delvis reducerad ventilerande funktion. Exempel på faktorer som reducerar ventilation är till exempel liggande perforerad plåtläkt, lockpanel med mindre glipor mellan liggande läkt och lockbräda eller en luftspalt med begränsade öppningar i botten eller toppen.

Ytterväggssystemet ska ha en dränerande, tryckutjämnande, kapillärbrytande och ventilerande funktion. Mindre begränsningar i luftspalten gör att väggkonstruktionen saknar en väl ventilerande funktion.

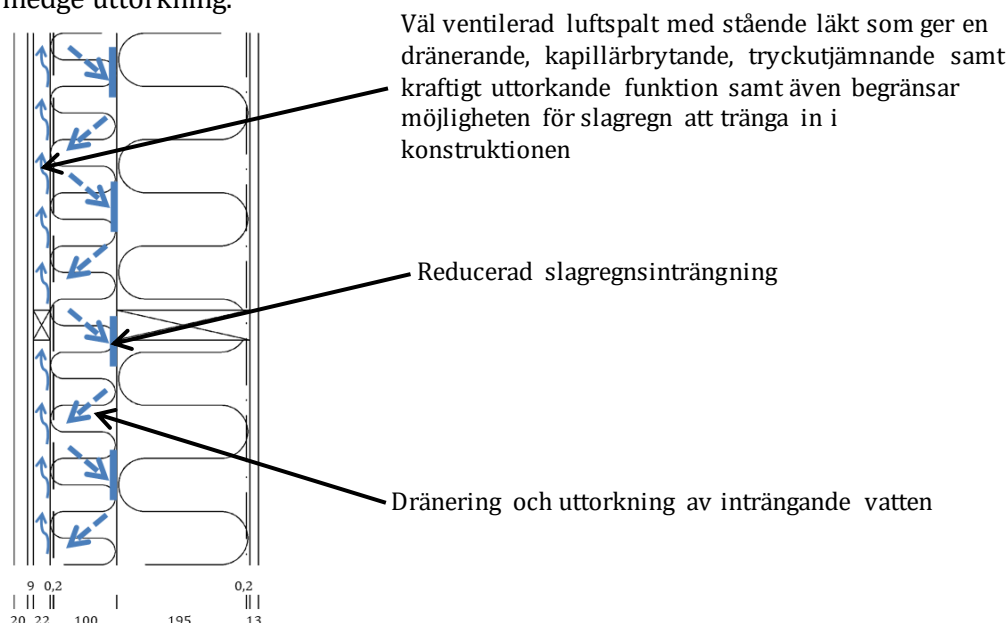


Figur 5. Exempel på en tvåstegstättad fasad med liggande perforerad plåtläkt redovisat i ett horizontalsnitt med tillägget att även inträngande slagregn, dränering och uttorkning av inträngande vatten samt ventilation i luftspalten redovisas.

Väl ventilerad tvåstegstätad fasad

Ytterväggskonstruktionen har en väl ventilerad luftspalt innanför det yttre fasadskiktet. Luftspalten är minst 20 mm bred och det finns möjlighet för luften att flöda från botten till toppen utan större hinder så att minst 20 luftomsättningar per timme är möjligt i spalten. Bortsett från mindre serösa aktörer på marknaden så uppfyller normalt sett en tvåstegstätad fasad dessa kriterier.

Ytterväggssystemet ska ha en dränerande, tryckutjämnande, kapillärbrytande och väl ventilerande funktion. Den väl ventilerade funktioner skapar en uttorkande effekt från kringliggande material. Notera att kringliggande material måste vara diffusionsöppna för att medge uttorkning.



Figur 6. Exempel på en väl ventilerad tvåstegstätad fasad med stående läkt redovisat i ett horisontalsnitt, samma som figur 2 med tillägget att även inträngande slagregn, dränering och uttorkning av inträngande vatten samt ventilation i luftspalten redovisas.

1.4.6. Övriga betydande faktorer som påverkar risken för fuktrelaterade skador

Utöver inträngande slagregn samt hur detta beaktas och hanteras i ytterväggskonstruktionen finns givetvis ytterligare faktorer som är av stor betydelse för om risken för fukt- och mögelrelaterade skador riskerar att uppstå.

Väggkonstruktionens materials beständighet mot höga fukttillstånd

Olika byggnadsmaterial är olika motståndskraftiga mot höga fukttillstånd. Organiska byggnadsmaterial, såsom träreglar, plywood och OSB-skivor har lättare för att drabbas av mikrobiell påväxt såsom mögelpåväxt. Kartongbeklädda gipsskivor löper en högre risk att drabbas av mikrobiell påväxt även om de bedöms som något mer tåliga jämfört med rent organiska material. Helt oorganiska material såsom stålreglar och rena betongtytor löper normalt sett mindre risk för att drabbas av mikrobiell påväxt. För limmade plastmattor på betongbjälklag finns dock risk för fuktrelaterade skador i limmet. Även om olika typer av mineralullsisolering beaktas som oorganiska byggnadsmaterial så finns komponenter som gör att dessa kan drabbas av fuktrelaterade skador, främst kraftig lukt, om de utsätts för höga fukttillstånd.

Det är inte fel att använda organiska byggnadsmaterial, tvärt om så är det mycket miljövänligare att använda organiska byggnadsmaterial. För att undvika risken för fukt och mögelrelaterade skador är det dock viktigt att olika åtgärder i syfte att eliminera risken för skador vidtas.

Väggkonstruktionens materialegenskaper

Utöver väggens ingående materials beständighet mot höga fukttillstånd finns andra faktorer av betydelse. Bland annat så behöver normalt sett alla material utanför den invändiga ångspärren och andra invändiga tätskikt vara tämligen diffusionsöppna. Detta för att fukt som tränger in i väggen eller diffunderar ut genom väggen från insidan ska kunna torka ut utan att stängas in mellan två täta skikt. Täta skikt i de yttre delarna av en väggkonstruktion kommer således sannolikt att orsaka skador, oavsett om väggen är en- eller tvästegstätad.

Omgivande utomhusklimat

Omgivande utomhusklimat har stor påverkan för om inte bara väggkonstruktionen utan hela huset riskerar att drabbas av fukt och mögelrelaterade skador. Just det omgivande klimatet, med en stor mängd slagregn, är en stor orsak till att omfattningen av skador i traditionellt enstegstätade fasader är mer omfattande i Skåne och på Västkusten.

Idag saknas dimensionerande klimatdata samt anvisningar för hur denna ska användas för de verktyg som finns för att beakta risken för fukt och mögelrelaterade skador i projekteringsskedet.

Mögelmodeller

Efter det att temperatur och relativ fuktighet beräknats för en specifik position som bedömts som den mest kritiska används dessa data som ingångsvärden i en mögelmodell. Med hjälp av en mögelmodell utvärderas förutsättningarna för mikrobiell påväxt att ske på ett specifikt material under rådande temperatur och relativ fuktighet. Beroende på hur konstruktionen är uppbyggd så utvärderas normalt sett förutsättningarna för påväxt av mögel på organiskt material såsom trä, plywood eller OSB skivor.

Idag finns en handfull olika mögelmodeller. Strukturen och hur modellerna är uppbyggda varierar. Laborativa experiment visar på relativt god överensstämmelse medan praktiskt tillämpade studier i verkliga förhållanden tyvärr visar på betydligt sämre överensstämmelse.

2. Metod och bedömningsgrunder

Studien utförs som en parameterstudie där olika ytterväggs- och fasadlösningar studeras och jämförs med varandra. Utgångspunkten är en vanligt förekommande enstegstätad fasad där ytterväggskonstruktionen är identisk för samtliga studerade fall från skiktet med regler och isolering och inåt. Endast den mest kritiska positionen på utsidan av reglarna studeras.

Parameterstudien är utförd med det endimensionella beräkningsverktyget WUFIPro5.3. Programvaran har tidigare blint verifierats med god överensstämmelse mot verkliga förhållanden.

Ansatta randvillkor, initiala villkor och omgivande klimat baseras primärt på gällande svenska och europeiska standarder. I de fall riktlinjer eller standarder saknats har utomeuropeiska riktlinjer använts samt randvillkor baserat på erfarenheter från tidigare studier med jämförelser mellan mätningar och beräkningar använts ^{35 36}.

Jämförelsen mellan de olika konstruktionslösningarna har utförts i Folosdiagrammet ^{37 38}. Diagrammet visar under hur lång tid och hur mycket RF kritisk överskrids. RF kritisk definieras i studien som ett tillstånd då mikrobiell påväxt är möjlig baserat på en tysk modell för organiskt material, LIM I, framtagna av Sedlbauer ^{39 40}. Tiden och hur mycket RF kritisk överskrids för respektive studerad konstruktion jämförs med samtliga studerade konstruktioner.

2.1. Avgränsningar

Studien utgår från en ytterväggskonstruktion uppbyggd på träreglar och begränsas till förändringar i uppbyggnaden utanför skiktet med regler och isolering. Eventuellt inträngande slagregn antas alltid nå träreglarna om inget annat specifikt anges ^{41 42}. Vägghkonstruktionerna studeras i en dimension utan specifik hänsyn tagen till detaljer, genomföringar, anslutningar såsom till exempel fönster, markisinfästningar, el-dosor, infästningar av stuprör, hörn på byggnader mm. I sammanhanget bör dock beaktas att mängden slagregn som tränger in i en konstruktion till stora delar beror på hur väl utförda detaljer mm är.

Utvärdering av den specifika risken för mikrobiell påväxt utöver vad som redovisas i Folosdiagrammet har inte utförts då studien fokuserar på att visa skillnader mellan olika fasadlösningar utan att primärt ta ställning till huruvida skador uppstår eller inte uppstår. Även om risken för mikrobiell påväxt inte studeras primärt så visar Folosdiagrammet om förutsättningar för skador överhuvudtaget föreligger.

³⁵ SIS, Swedish Standards Institutet, Svensk standard, Svens standard SS-EN 15026:2007, Fukt- och värmeteknisk funktion hos byggnadsdelar och konstruktioner – numerisk simulering av fukttransport, 2007.

³⁶ Mundt-Petersen, Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Rapport TVBH-3059, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2015.

³⁷ Mundt-Petersen, Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Rapport TVBH-3059, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2015.

³⁸ Mundt-Petersen, Wallentén, Toratti och Heikkinen, Moisture risk evaluation and determination of required measures to avoid mould damage using the Folos 2D visual mould chart, Thermophysics 2012, Slovakien 2012.

³⁹ Sedlbauer, Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components, Doktorsavhandling, Fraunhofer Institute of Building Physics, University Stuttgart, Tyskland, 2001.

⁴⁰ Sedlbauer, Krus och Breuer, Mould growth prediction with a new biohygrothermal method and its application in practice, IX. Polska Konferencja Naukowo-Techniczna Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Materiały konferencyjne., sid 594-601, Polen 2003.

⁴¹ Olsson, Driving rain tightness, intrusion rates and phenomenology of leakages in defects of facades: A new calculation algorithm, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsteknologi, Chalmers, Göteborg 2018.

⁴² Mundt-Petersen, Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Rapport TVBH-3059, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2015.

Studien avgränsas vidare till att fokusera på fortfarighetstillståndet utan att ta närmare hänsyn till initial påverkan av till exempel byggfukt. Mängden byggfukt i en konstruktion beror på ett flertal kringliggande faktorer såsom till exempel fukttillstånd i materialet vid inbyggnad, vald produktionsmetod med eller utan möjlighet till väderskyddat montage samt förutsättningar för uttorkning. Samtliga redovisade resultat visar år fem då byggnaden har nått jämnvikt. I de fall byggfukt förekommer i stommen som är i liknande omfattning som inträngande slagregn och om möjligheter till extra torkinsatser saknas är dock förutsättningarna för uttorkning av byggfukt liknande de som sker för uttorkning av slagregn.

Ur ett generellt perspektiv måste det beaktas att alla byggnader och deras förutsättningar är unika. Omgivande topografi, terräng, vegetation, lokalt klimat samt brukarbeteende kan ha stor påverkan på väggkonstruktionen ur ett fukttekniskt perspektiv. Produktionstekniska förutsättningar och genomförande likväl som fackmannens förmåga och kompetens har än mer påverkan på förutsättningarna för en byggnad att inte drabbas av fuktrelaterade skador. Resultaten i denna rapport får därför inte användas för att ersätta nödvändiga fuktsäkerhetsdimensioneringar som alltid skall utföras genom en fuktsäkerhetsprojektering innan en ny byggnad uppförs⁴³. Vidare redovisas ingen detaljerad beskrivning av felkällor i denna rapport utöver vad som sker inom ramen för de olika studerade fallen. En fördjupad beskrivning av möjliga felkällor och avvikelser finns i programvarans manual samt av Mundt-Petersen^{44 45}.

2.2. Orsaker till mögelpåväxt

Studier visar att risken för mögelpåväxt beror av flera olika faktorer och idag finns en rad olika modeller 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^{46 47 48 49 50 51 52}.

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 långvariga förhållande med en RF över 75 % och temperaturer runt 20 °C så bedöms att mögelpåväxt kan ske på trä och annat organiskt material. Vid en högre RF i kombination med temperaturer över ca 15 °C sker påväxt snabbare. En lägre temperatur kan tillåta en något högre

⁴³ Boverket, BFS 2018:15 BBR 27, Regelsamling för byggande – Boverkets byggregler, BBR, Boverket, 2018.

⁴⁴ WUFI PRO 5.3. Release: 5.3.4.1263.CB.24.78.0.14. Fraunhofer Institute of Building Physics, Tyskland.

⁴⁵ Mundt-Petersen, Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Rapport TVBH-3059, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2015.

⁴⁶ Johansson, Samuelson, Ekstrand-Tobin, Mjörnell, Sandberg, och Sikander. Kritiskt fukttillstånd för mikrobiell tillväxt på byggnadsmaterial – kunskapssammanfattning, SP rapport 2005:11, SP Energiteknik, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2005.

⁴⁷ Johansson, Determination of the critical moisture level for mould growth on building materials. Doktorsavhandling, Rapport TVBH-1020, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2014.

⁴⁸ Sedlbauer, Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components, Doktorsavhandling, Fraunhofer Institute of Building Physics, University Stuttgart, Tyskland.

⁴⁹ Sedlbauer, Krus och Breuer, Mould growth prediction with a new biohygrothermal method and its application in practice, IX. Polska Konferencja Naukowo-Techniczna Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Materiały konferencyjne, sid 594-601, Polen 2003.

⁵⁰ Viitanen, Vinha, Salminen, Ojanen, Peuhkuri, Paajanen, och Lähdesmäki, K. Moisture and biodeterioration risk of building materials and structures. Journal of Building Physics 2010:33(3):201-24.

⁵¹ Togerö, Svensson Tengberg och Bengtsson, m-model: a method to assess the risk for mould growth in wood structures with fluctuating hygrothermal conditions, 9th Nordic Symposium on Building Physics – NSB 2011.

⁵² Thelandersson och Isaksson, Mould resistance design (MRD) model for evaluation of risk for microbial growth under varying climate conditions. Journal of Building and Environment 2013:65:18-25.

relativ fuktighet utan att risk för påväxt föreligger. Sammanställningar för kritiska nivåer för mögelpåväxt på vanligt förekommande byggnadsmaterial har bland annat utförts av Johansson ^{53 54}.

2.3. Bedömningsgrunder och analysverktyg - Folosdiagrammet

I denna studie redovisas tidsaspekten och omfattning för om förutsättningar om och hur omfattande mikrobiell påväxt kan ske. Detta görs utan närmare fokus på om och i så fall när kritiska nivåer uppnåtts, dvs om en skada sker. Syftet är att genom kvantitativa modeller tydligt kunna jämföra risken för skador uppstår mellan olika konstruktioner, utan att för den delen primärt värdera om en skada riskerar att uppstå eller inte.

Analysverktyget visar således hur mycket och hur länge förutsättningar för mikrobiell påväxt, mögel, finns i ett specifikt klimat. Beroende på omgivande klimat samt en rad andra parametrar och faktorer kommer risken för skador variera i det specifika fallet.

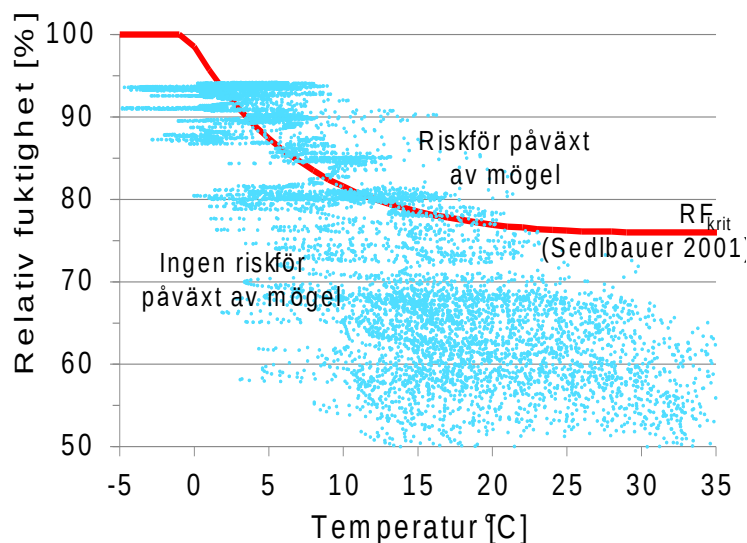
I analysverktyget definieras $RF_{kritisk}$, RF_{krit} , som gränsen för när förutsättningar för att mögel kan gro och påväxt av mögel är möjlig enligt Figur 7. I praktiken avser detta aspekterna relativ fuktighet och temperatur i de krav som anges i BBR. Eftersom det tar en viss tid för mögel att gro 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 som även inkluderar tidsaspekten ⁵⁵.

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 7. Varje enskild punkt i diagrammet motsvarar förhållandena för temperatur och relativ fuktighet en specifik timme i en studerad position.

⁵³ Johansson, Samuelson, Ekstrand-Tobin, Mjörnell, Sandberg, och Sikander. Kritiskt fukttillstånd för mikrobiell tillväxt på byggnadsmaterial – kunskapssammanfattning, SP rapport 2005:11, SP Energiteknik, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2005.

⁵⁴ Johansson, Determination of the critical moisture level for mould growth on building materials. Doktorsavhandling, Rapport TVBH-1020, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2014.

⁵⁵ Boverket, BFS 2018:15 BBR 27, Regelsamling för byggande – Boverkets byggregler, BBR, Boverket, 2018.



Figur 7. 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 riskfria⁵⁶.

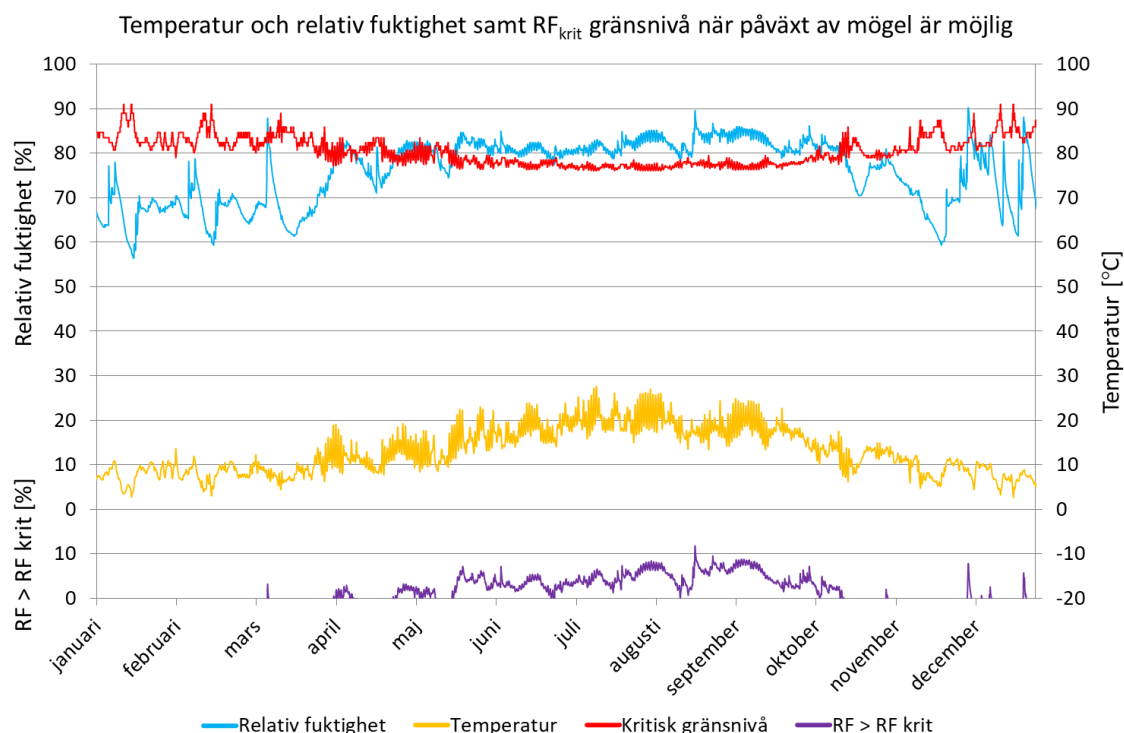
Med varaktighet avses under hur lång period RF_{krit} överskrids. Anledningen till att påväxt av mögel ibland inte sker trots att RF_{krit} överskrids är att det krävs en viss varaktighet, tid, då RF (turkos) är högre än RF_{krit} (röd) för att påväxt av mögel ska ske. Är varaktigheten, dvs tiden, kort 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 diagrammet i Figur 8 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 7. 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 8 genom linjen RF över RF_{krit} (lila). 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} (lila) inte ska synas. Det beskrivna sättet att betrakta sambandet mellan temperatur, RF, RF_{krit} och varaktighet kallas för Folosdiagram och används genomgående i rapporten⁵⁷.

⁵⁶ Sedlbauer, Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components, Doktorsavhandling, Fraunhofer Institute of Building Physics, University Stuttgart, Tyskland.

⁵⁷ Mundt-Petersen, Wallentén, Toratti och Heikkinen, Moisture risk evaluation and determination of required measures to avoid mould damage using the Folos 2D visual mould chart, Thermophysics 2012, Slovakien 2012.

Varaktighetens inverkan för om påväxt av mögel sker visas inte numeriskt i Folosdiagrammet 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 position⁵⁸. Hur mycket och i vilken omfattning mikrobiell påväxt sker i studerade fall i denna studie redovisas inte separat då studien primärt avser att jämföra olika fasad och väggkonstruktioners förutsättningar för påväxt av mögel.



Figur 8. Förhållandet mellan RF och RF_{krit} över tiden, inklusive varaktighet. Röd linje avser RF_{krit} beroende av temperatur enligt förhållande redovisat i Figur 7. Turkos linje avser RF . Gul linje avser temperatur och lila linje visar hur mycket samt under vilka perioder RF överskrider RF_{krit} . Samtliga värden avser en specifik position i ett studerat tak⁵⁹.

I korthet kan man sammanfatta det med att ju högre RF (turkos) är över röda linjen under längre tid, desto sämre är det och ju högre är risken för mögeltillväxt. Detta redovisas i den lila linjen ($RF > RF_{krit}$) längst ner i Folosdiagrammet enligt figur 8.

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 ⁶⁰. För att

⁵⁸ Thelandersson och Isaksson, Mould resistance design (MRD) model for evaluation of risk for microbial growth under varying climate conditions. Journal of Building and Environment 2013;65:18-25.

⁵⁹ Mundt-Petersen, Wallentén, Toratti och Heikkinen, Moisture risk evaluation and determination of required measures to avoid mould damage using the Folos 2D visual mould chart, Thermophysics 2012, Slovakien 2012.

⁶⁰ Horner, Morey, Lingman, Younger, 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 2001.

undvika risk för påväxt av mögel skall således byggnadsmaterial hållas fria från smuts samt vara torra^{61 62 63}. Vidare påverkar omgivande mikrobiella förhållanden risken för påväxt av mögel men detta är inget som berörs närmare i denna rapport.

Även om det ligger utanför denna studie så kan Folosdiagrammet även användas för utvärdering om vilka faktorer och parametrar som orsakat eller riskerar att orsaka skador.

2.4. Klimat och randvillkor

Start- och randvillkor redovisas i bilaga 1. Klimat och materialdata enligt WUFIs materialdatabas samt enligt erfarenheter och riktlinjer från Mundt-Petersen 2015^{64 65}.

2.4.1. Utomhusklimat

Beroende på var i Sverige en byggnad placeras så varierar risken för att ytterväggar ska drabbas av fukt och mögelrelaterade skador mot bakgrund av de variationer som finns i utomhusklimatet. Fasad och den yttre delen av ytterväggens uppbyggnad måste anpassas till omgivande klimat och beakta de fuktlaster som det klimatet utsätter väggen för.

Valt klimat för den aktuella studien är ett medelvärdesbaserat klimat för staden Lund i Skåne samt Stockholm. För aktuell studie så är valt klimat inte dimensionerande vilket gör att resultaten inte heller kan användas för dimensionerande syften⁶⁶.

2.4.2. Inomhusklimat

Precis som utomhusklimatet så kan de boendes brukarvanor påverka om det förekommer risk för fukt- och mögelrelaterade skador i den aktuella konstruktionen. Förvisso beroende av konstruktionens utformning och potentiella brister samt med undantag för badrum och kök så är den inre påverkan relaterad till brukarvanor av underordnad betydelse i sammanhanget.

Valt inomhusklimat baseras på Svensk Standard, SS-EN 15026.

⁶¹ Johansson, Samuelson, Ekstrand-Tobin, Mjörnell, Sandberg, och Sikander. Kritiskt fuktillstånd för mikrobiell tillväxt på byggnadsmaterial – kunskapssammanfattning. SP rapport 2005:11, SP Energiteknik, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2005.

⁶² Johansson, Determination of the critical moisture level for mould growth on building materials. Doktorsavhandling, Rapport TVBH-1020, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2014.

⁶³ Boverket, BFS 2018:15 BBR 27, Regelsamling för byggande – Boverkets byggregler, BBR, Boverket, 2018.

⁶⁴ WUFI PRO 5.3 Material database – Generic materials, LTH och Fraunhofer-IBP – Holzkirchen, Germany. Release: 5.3.4.1263.DB.24.78.0.14. Fraunhofer Institute of Building Physics, Tyskland.

⁶⁵ Mundt-Petersen, Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Rapport TVBH-3059, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2015.

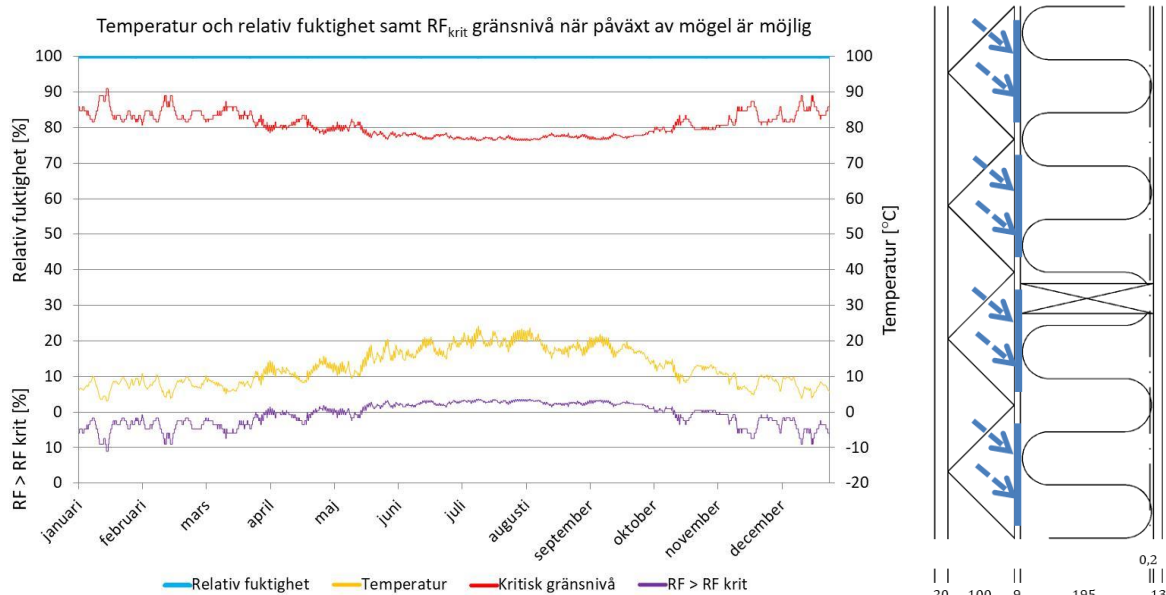
⁶⁶ WUFI PRO 5.2 Climate database, Sweden, Europe. Release: 5.3.4.1263.DB.24.78.0.14. Fraunhofer Institute of Building Physics, Tyskland.

3. Resultat och analys

Nedan redovisas en rad olika konstruktionslösningar tillsammans med en kort beskrivning inklusive parametrar, funktioner och förutsättningar som är av specifik betydelse i sammanhanget och för studien som helhet. I samtliga fall är det utsidan av träreglar som bedöms som den mest kritiska positionen ur ett fuktsäkerhetsperspektiv och därför också den position som utvärderats. Samtliga studerade fall redovisas för de två olika städerna Lund och Stockholm. Notera att en typ av medelvärdesbaserat klimat använts i utvärderingen. Detta medelvärdesbaserade klimatet är inte att beakta som dimensionerande klimatdata och resultaten i rapporten får således inte användas för dimensionerande underlag.

3.1. Traditionell enstegstätad fasad med klimatskiva av cellplast

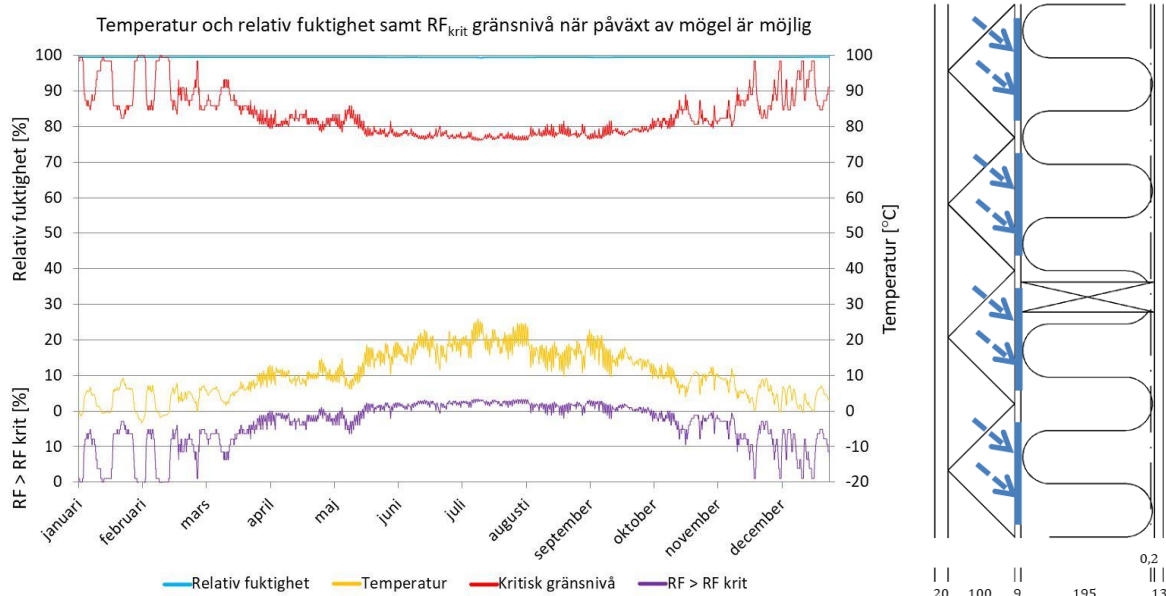
I figur 9 A och B redovisas resultatet från en traditionell enstegstätad fasad med en yttre klimatskiva av cellplast och utanpåliggande puts. I beräkningsmodellen har slagregn beaktats enligt de förutsättningar som den enda standard som finns inom området anger⁶⁷. Inträngande slagregn har således applicerats om 1 % bakom klimatskivan av cellplast.



Figur 9 A – Lund. RF jämfört med RF_{krit} för en traditionell enstegstätad fasad med klimatskiva av cellplast samt beaktande av inträngande slagregn om 1 %⁶⁸. RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt $RF > RF_{krit}$ i position A (lila). Notera att det är så pass fuktigt att den turkosa linjen ligger konstant på 100% RF .

⁶⁷ ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.

⁶⁸ ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.



Figur 9 B – Stockholm. RF jämfört med RF_{krit} för en traditionell enstegstätad fasad med klimatskiva av cellplast samt beaktande av inträngande slagregn om 1 %⁶⁹. RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt $RF > RF_{krit}$ i position A (lila). Notera att det är så pass fuktigt att den turkosa linjen ligger konstant på 100% RF.

Aktuell väggkonstruktion återspeglar den typ som påvisat omfattande fukt- och mögelrelaterade skador på flera platser i landet, främst Skåne och Västkusten. Fasad- och väggkonstruktionen minskade kraftigt i utförande efter det att SP rapporterat om skadorna⁷⁰.

Resultatet visar en situation där utsidan av reglarna utsätts för konstant extremt höga nivåer om 98 – 100 % relativ fuktighet för både fallet i Lund och i Stockholm. Den turkosa linjen som visar RF ligger konstant i topp av diagrammet. Orsaken till en hög relativa fuktigheten beror av att den täta cellplastskivan gör att inträngande slagregn inte kan torka ut. Resultaten visar att det är uppenbart att skador kommer inträffa.

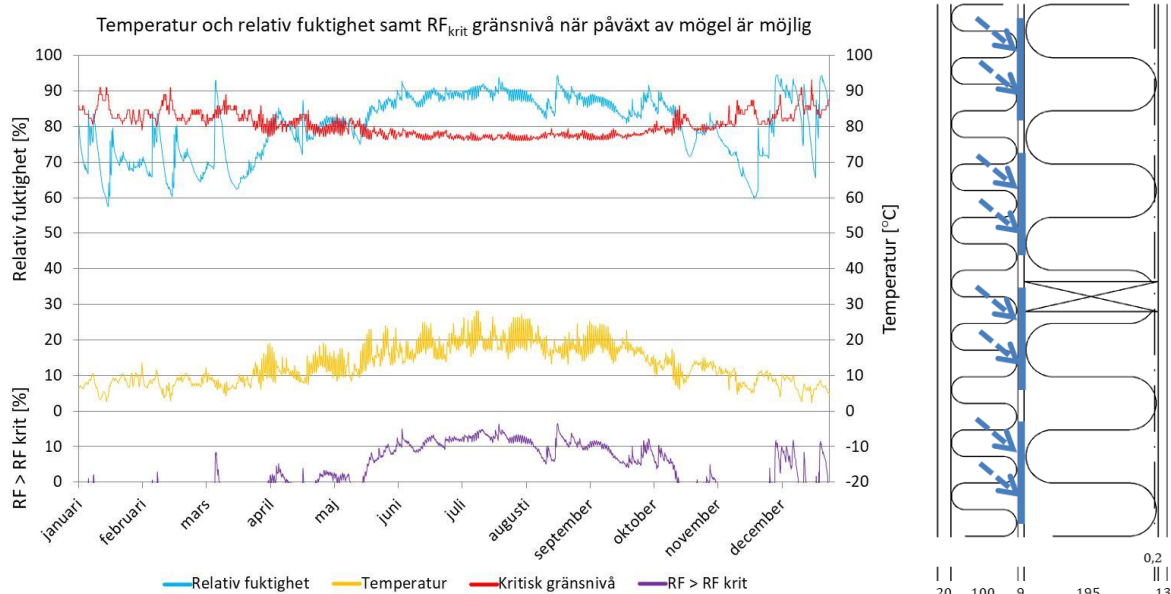
3.2. Enstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull

Figur 10 A och B redovisar resultatet från en enstegstätad fasad där klimatskivan utgörs av en styv mineralullsskiva. I aktuellt fall har den styva klimatskivan av mineralull en begränsad dränerade, kapillärbrytande och tryckutjämnande funktion. Inträngande slagregn har applicerats om 1 % bakom klimatskivan av styvmineralull enligt gällande standard⁷¹.

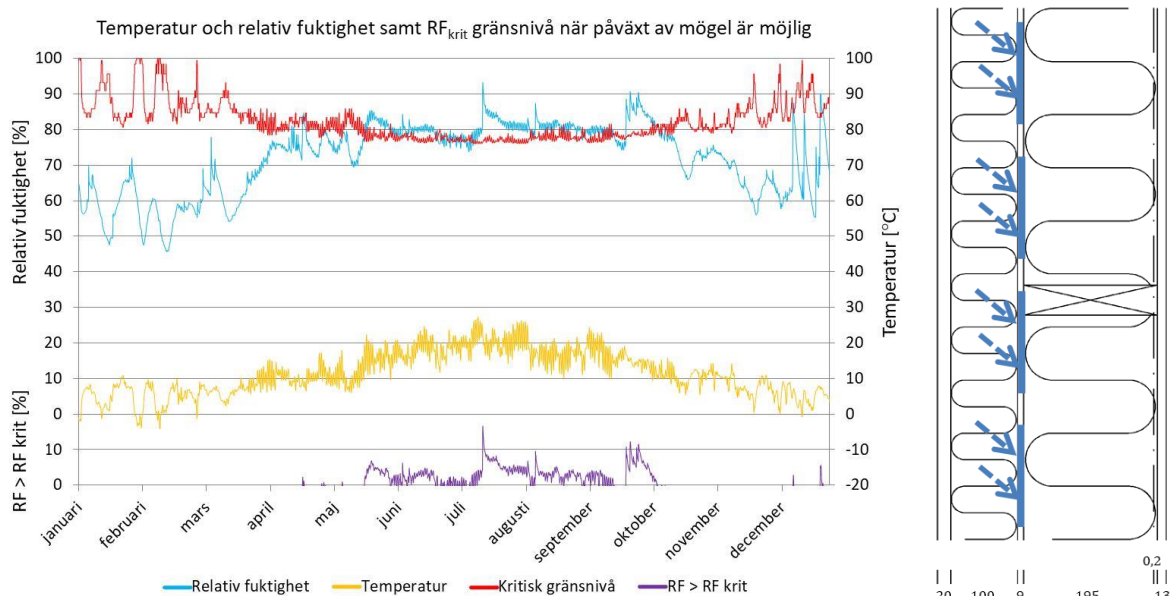
⁶⁹ ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.

⁷⁰ Jansson, Samuelsson och Mjörnell, Fuktskador i putsade odränerade regelväggar – lägesrapport oktober 2007, SP rapport 2007:36, Energiteknik, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2007.

⁷¹ ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.



Figur 10 A – Lund. RF jämfört med RF_{krit} för en enstegstättad fasad med klimatskiva av mineralull samt beaktande av inträngande slagregn om 1 %⁷². RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt $RF > RF_{krit}$ i position A (lila).



Figur 10 B – Stockholm. RF jämfört med RF_{krit} för en enstegstättad fasad med klimatskiva av mineralull samt beaktande av inträngande slagregn om 1 %⁷³. RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt $RF > RF_{krit}$ i position A (lila).

Konstruktionen är uppbyggd på samma sätt som vägg- och fasadlösningar som tvivelaktigt marknadsförs som en tvåstegstättad fasadlösning. En i sammanhanget betydande faktor är hur stark dränerande, kapillärbrytande och tryckutjämnande funktion den styva mineralullsskivan

⁷² ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.

⁷³ ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.

har. I aktuellt fall har den dränerande, kapillärbrytande och tryckutjämnande förmågan hos klimatskivan ansetts vara begränsad i enlighet med gällande standard och inträngande slagregn om 1 % har ansatts efter den enda standard som behandlar frågan⁷⁴.

Även i denna konstruktion har omfattande skador inträffat även om de uppskattningsvis varit färre till antalet och inte lika omfattande som i den traditionella enstegstätade fasaden med en klimatskiva av cellplast. Jämförelser mellan figurerna 9 och 10 bekräftar även att skadorna bör vara mer omfattande för konstruktioner med en klimatskiva av cellplast jämfört en konstruktion med en klimatskiva av styv mineralullskiva. Den diffusionsöppna mineralullskivan gör att inträngande slagregn inte stängs in samt även ges förutsättningar för att torka utåt genom diffusion. Trots detta visar resultatet i figur 10 A avseende Lund att RF kritisk överskrids kraftigt under långa perioder av året och att det finns goda förutsättningar för mikrobiell påväxt under perioden maj till oktober. Figur 10 B som avser klimat för Stockholm påvisar också perioder då mikrobiell påväxt är möjlig. Av jämförelse mellan figur 10 A för Lund och 10 B för Stockholm så framgår tydligt att risken för skador beroende på omgivande klimat är betydligt större i Lund.

3.3. Svagt dränerad enstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull

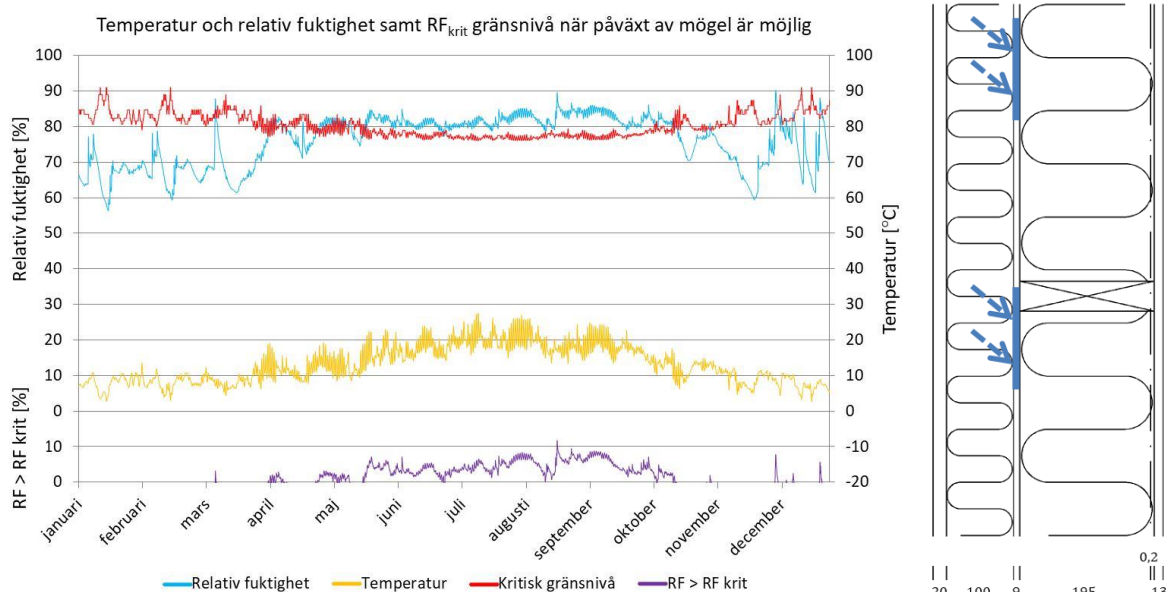
Figur 11 A och B redovisar resultatet från en enstegstätad fasad där klimatskivan utgörs av en styv mineralullsskiva som antas ha en svagt dränerande, kapillärbrytande och tryckutjämnande förmåga. Inträngande slagregn som ansatts bakom klimatskivan har därför reducerats till 0,5 %. Slagregnet beaktas således men bara i hälften så stor omfattning som gällande standard föreskriver⁷⁵.

En kvalitativ bedömning är att aktuell konstruktion skulle kunna motsvara den typ av fasad- och vägglösning som tvivelaktigt marknadsförs som en tvåstegstätad fasad. Bedömningen grundar sig på att inläckage av slagregn även konstaterats i flera olika typer av tvåstegstätade fasader med luftspalt där förutsättningarna för att hindra och begränsa slagregnsinläckage är bättre jämfört med studerat fall med en enstegstätad fasad utan luftspalt⁷⁶.

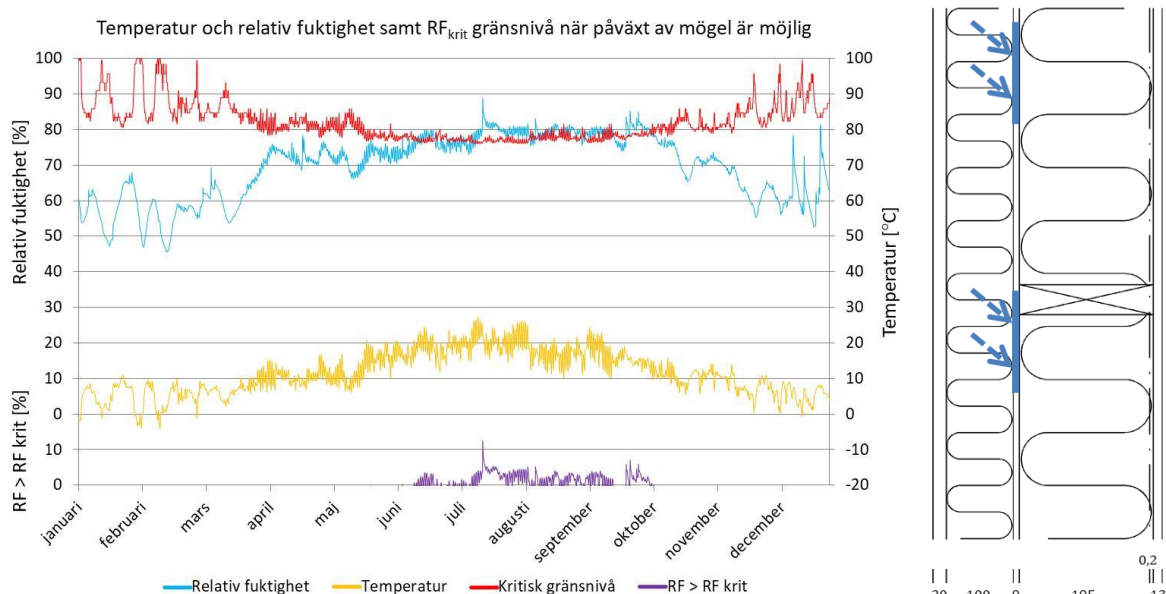
⁷⁴ ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.

⁷⁵ ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.

⁷⁶ Mundt-Petersen, Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Rapport TVBH-3059, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2015.



Figur 11 A – Lund. RF jämfört med RF_{krit} för en enstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull samt beaktande av en reducerad mängd inträngande slagregn om 0,5 %. RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt RF > RF_{krit} i position A (lila).



Figur 11 B – Stockholm. RF jämfört med RF_{krit} för en enstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull samt beaktande av en reducerad mängd inträngande slagregn om 0,5 %. RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt RF > RF_{krit} i position A (lila).

Väggkonstruktionen är uppbyggd på samma sätt som de vägg- och fasadlösningar som tvivelaktigt marknadsförs som tvåstegstätade fasader. I praktiken för det sig således om en dränerad enstegstätad fasad

Jämförelse visar att med en halverad inträngande slagregnsmängd om 0,5 %, jämfört 1 % som föreskrivs i tillgänglig standard⁷⁷, så reduceras risken för mikrobiell påväxt. För fall A i Lund är det främst omfattningen av hur kraftigt kritiska gränsvärden överskrids. Perioden för hur länge kritiska gränsvärden överskrids är förhållandevis lika jämfört situationen med 1 % slagregnsinträngning. För motsvarande fall i Stockholm reduceras både hur kraftigt kritiska gränsvärden överskrids men även perioden vilket beror på att de perioder som låg över RF_{krit} huvudsakligen har reducerats på ett sådant sätt att de nu ligger under gränsvärdet.

Återigen bekräftas att klimatet i Stockholm med mindre mängd slagregn gör att risken för skador också är lägre. Resultatet för Stockholm indikerar även tillräckligt korta perioder över kritiska gränsvärden. Det ska dock noteras att använd klimatdata inte är dimensionerande vilket innebär att hårdare klimat med mer nederbörd, slagregn och högre fuktnivåer kommer att förekomma under vissa år vilket i sin tur kan ge upphov till en skada.

Jämfört med föregående fall med 1 % slagregnsinträngning visar resultatet att klimatskivans dränerande, kapillärbrytande och tryckutjämnande förmåga samt faktiskt utförande av detaljer som avgör hur mycket slagregn som läcker in blir helt avgörande för om skador riskerar att inträffa.

3.4. Delvis dränerad enstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull

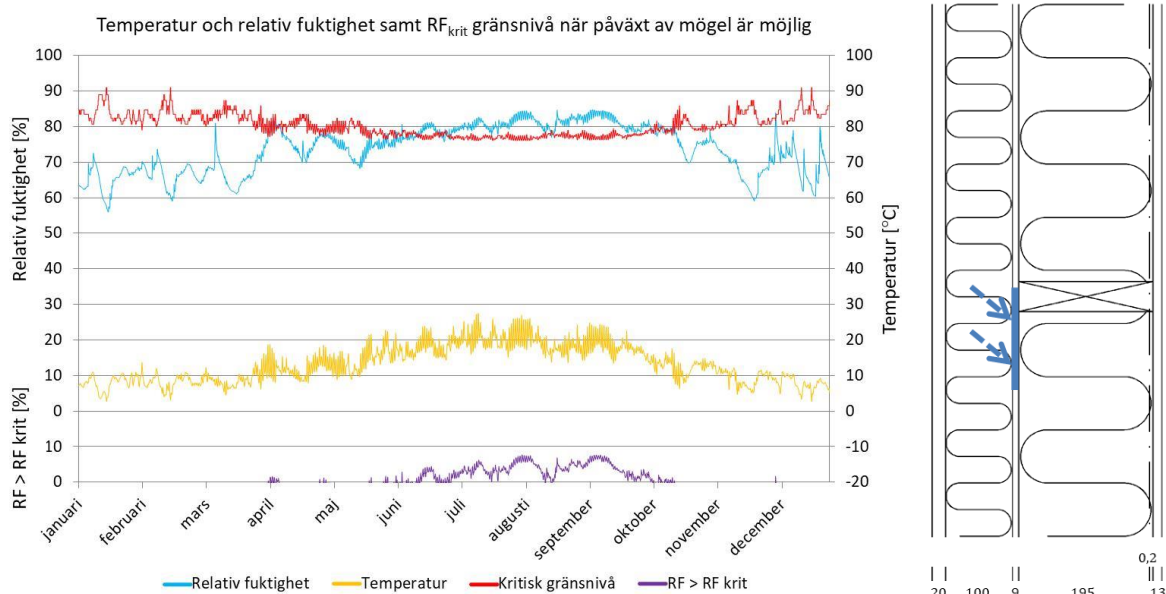
I figur 12 A och B redovisas resultatet från en enstegstätad fasad där klimatskivan utgörs av en styv mineralullsskiva som antas ha en väl dränerande, kapillärbrytande och tryckutjämnande förmåga. Inträngande slagregn som ansätts bakom klimatskivan har satts till 0,25 % motsvarande en fjärdedel av vad tillgänglig standard anger⁷⁸. Slagregnet beaktas således men bara i hälften så stor omfattning som gällande standard föreskriver.

En kvalitativ bedömning är att aktuell konstruktion motsvarar den typ av fasad- och vägglösning som tvivelaktigt marknadsförs som en tvåstegstätad fasad. Bedömningen grundar sig på att inläckage av slagregn även konstaterats i flera olika typer av tvåstegstätade fasader med luftspalt där förutsättningarna för att hindra och begränsa slagregnsinläckage är bättre jämfört med studerat fall⁷⁹. Hur väl en konstruktion än utförs så kommer slagregn sannolikt ändå alltid att tränga in. Fasadsystemet är därför att beakta som en dränerad enstegstätad fasad.

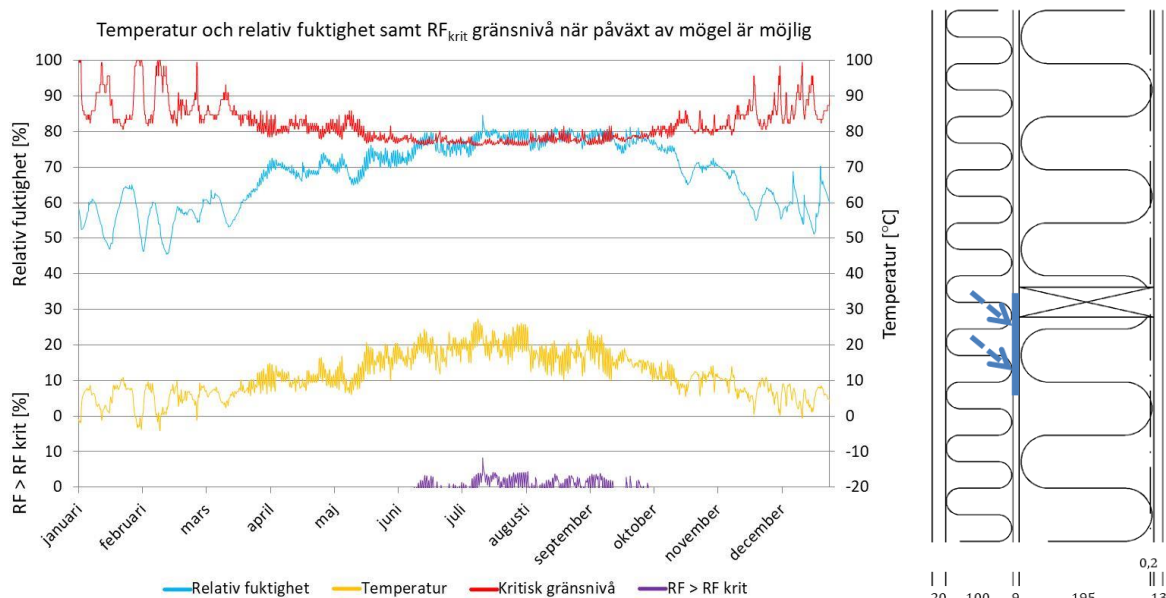
⁷⁷ ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.

⁷⁸ ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.

⁷⁹ Mundt-Petersen, Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Rapport TVBH-3059, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2015.



Figur 12 A – Lund. RF jämfört med RF_{krit} för en enstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull samt beaktande av en kraftigt reducerad mängd inträngande slagregn om totalt 0,25 %. RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt $RF > RF_{krit}$ i position A (lila).



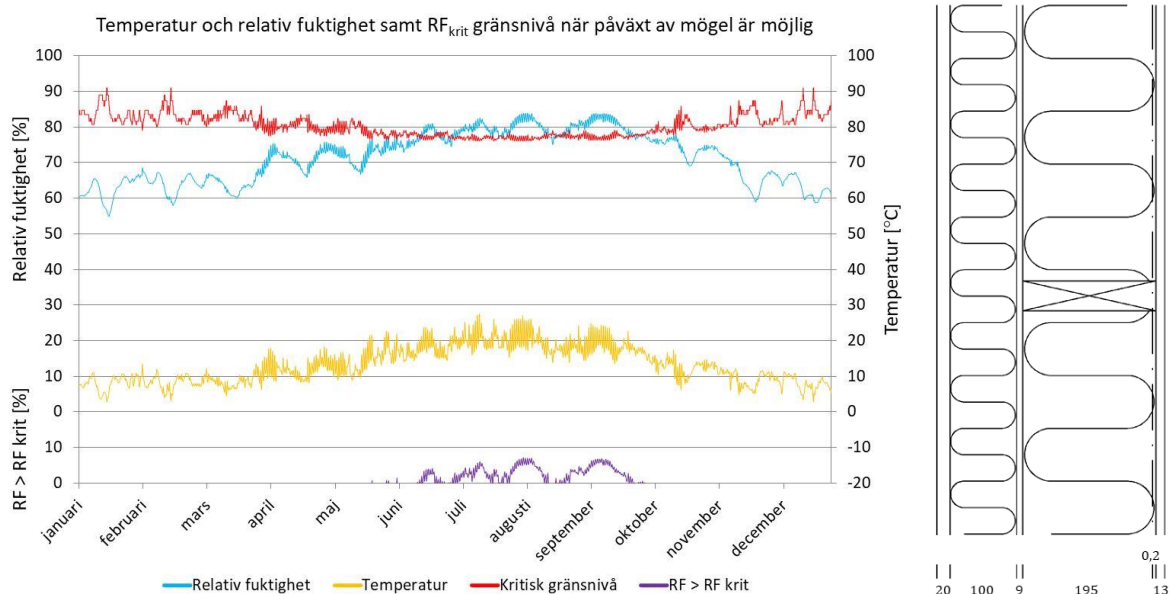
Figur 12 B – Stockholm. RF jämfört med RF_{krit} för en enstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull samt beaktande av en kraftigt reducerad mängd inträngande slagregn om totalt 0,25 %. RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt $RF > RF_{krit}$ i position A (lila).

Väggkonstruktionen är uppbyggd på samma sätt som de vägg- och fasadlösningar som tvivelaktigt marknadsförs som en tvåstegstätad fasad men med ytterligare en reducerad andel slagregnsinträning till 0,25 %. Hur stor andel slagregnsinträning som tränger in i konstruktionen beror som tidigare beskrivits på hur väl dränerande, kapillärbrytande och tryckutjämnande förmåga klimatskivan eller motsvarande skikt har långt ut i konstruktionen samt hur väl detaljer mm utförts.

Med ytterligare reducerad mängd slagregn till 0,25 % av det regn som träffar fasaden och tränger in i konstruktionen reduceras nu dels perioden för hur länge kritiska gränsvärden överskrids men även omfattningen av hur mycket under hur lång tid som kritiska gränsvärden överskrids. Noterbart är dock att längre perioder där kritiska gränsvärden signifikant överskrids förekommer och att det finns betydande förutsättningarna för mikrobiell påväxt även i fallet där endast 0,25 % av slagregnsmängden tränger in i konstruktionen.

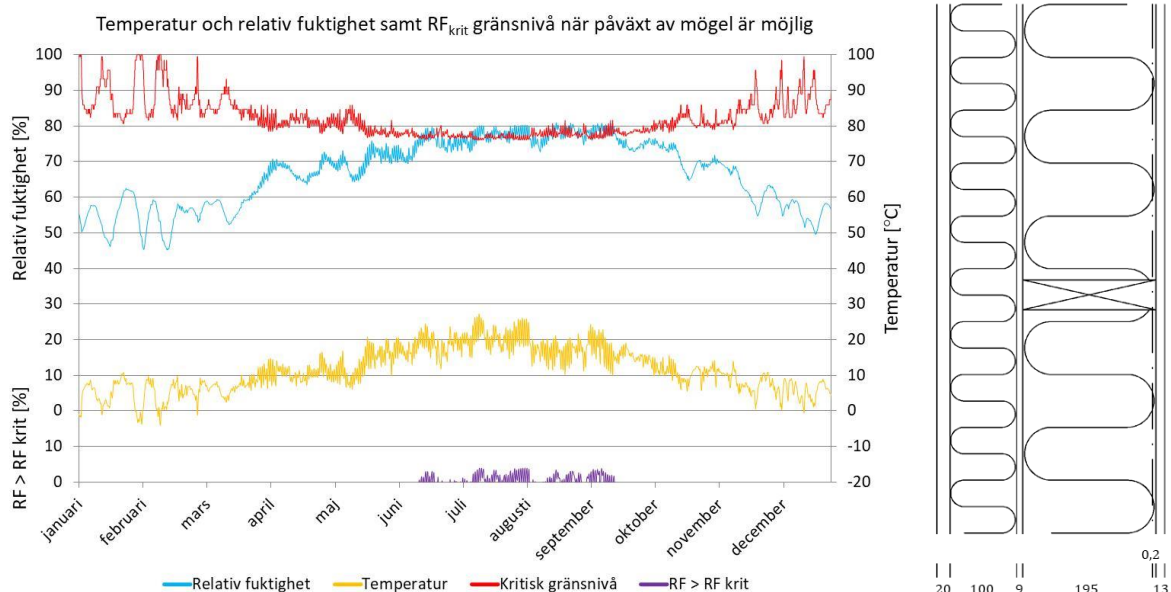
3.5. Helt dränerad enstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull

Figur 13 A och B redovisar resultatet från en enstegstätad fasad där klimatskivan utgörs av en styv mineralullsskiva som antas ha en fullständigt dränerande, kapillärbrytande och tryckutjämnande förmåga samt att detaljer, genomföringar anslutningar, infästningar mm är så pass väl utförda att inget inträngande slagregn sker i dessa punkter. Modellen redovisar det fall som tvivelaktigt marknadsförs som en tvåstegstätad fasad. Antagande om ett helt dränerande, kapillärbrytande och tryckutjämnande skikt kan i sammanhanget beaktas som orimligt eftersom slagregnsinträngning uppmätts långt in i tvåstegstätade konstruktioner med luftspalt som har betydligt bättre förmåga att hindra och hantera problematiken med slagregnsinträngning⁸⁰. Modellen utan inträngande slagregn har ställts upp i utredningssyfte.



Figur 13 A – Lund. RF jämfört med RF_{krit} för en enstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull med antagandet att inget slagregn tränger in i konstruktionen. RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt $RF > RF_{krit}$ i position A (lila). Notera att det inte är rimligt att jämföra och beakta konstruktioner med och utan slagregnsinträngning som likvärdiga.

⁸⁰ Mundt-Petersen, Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Rapport TVBH-3059, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2015.



Figur 13 B – Stockholm. RF jämfört med RF_{krit} för en enstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull med antagandet att inget slagregn tränger in i konstruktionen. RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt $RF > RF_{krit}$ i position A (lila). Notera att det inte är rimligt att jämföra och beakta konstruktioner med och utan slagregnsinträngning som likvärdiga.

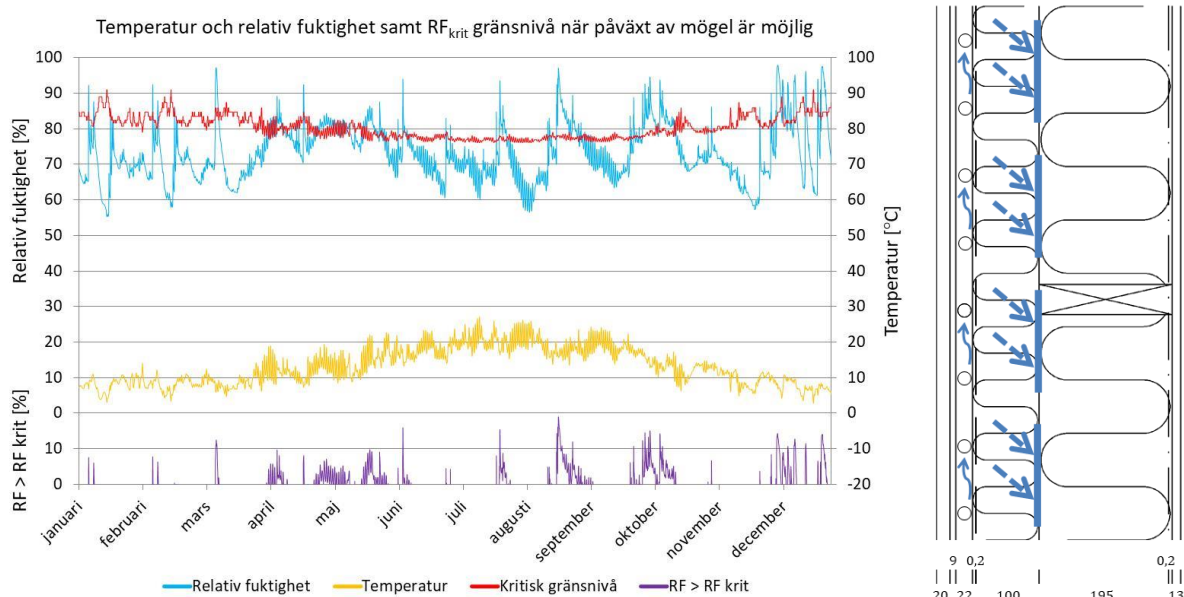
Konstruktionen är uppbyggd på samma sätt som vägg- och fasadlösningar som tvivelaktigt marknadsförs som tvåstegstätad fasadlösning. Aktuell konstruktion förutsätter en mycket stark dränerande, kapillärbrytande och tryckutjämnande funktion i den styva mineralullsskivan samt helt komplett utförda detaljer, genomföringar, anslutningar, infästningar mm utan risk för inläckage. Beräkningsmodellen kan liknas med en glädjekalkyl och inte att beakta som relevant i förhållande till verkligheten eftersom inträngande slagregn helt har försummats.

Av resultaten i figur 13 A för Lund framgår att en längre period med en relativ fuktighet klart över gränsvärden för när mikrobiell påväxt är möjlig förekommer. Trots att såväl tidsspannet är kortare och omfattningen mindre så indikerar resultaten tydligt att en betydande risk för skador i form av mikrobiell påväxt föreligger trots att inträngande slagregn helt försummats. För motsvarande konstruktion utan inträngande slagregn enligt figur 13 B för Stockholm förekommer ett flertal tillfällen med förutsättningar för mikrobiell påväxt under röt månaderna. Då dessa är återkommande i kortare perioder och den relativa fuktigheten i övrigt i allmänhet ligger förhållandevis långt under kritisk gränsvärde kommer konstruktionen sannolikt att klara sig från att drabbas av påväxt. Notera att den förhållandevis låga relativa fuktigheten till stor del beror på att inträngande slagregn helt har försummats, något som inte är realistiskt.

Gällande standarder och riktlinjer anger att slagregn skall beaktas med 1 % slagregnsinträngning av den nederbörd som träffar fasaden. Samma konstruktion där inträngande slagregn beaktats redovisas i figur 10 A och 10 B med ett betydligt värre resultat. I sammanhanget bör det tydligt påtalas att det är direkt felaktigt samt inte rimligt att jämföra aktuell modell utan slagregnsinträngning med olika typer av tvåstegstätade fasader som inkluderar slagregn. Vidare är det inte heller relevant att jämföra aktuell konstruktion med en tvåstegstätad lösning med en yttre tät klimatskiva av t.ex. cellplast. Den här konstruktionen är därav att beakta som en dränerad enstegstätad fasad.

3.6. Tvåstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull

I figur 14 redovisas resultatet från beräkning av en tvåstegstätad fasad med klimatskiva av styv mineralull. Slagregnsinträngning om 1 % har applicerats innanför klimatskivan^{81 82}. Ventilationsflödet i luftspalten har ansatts till 20 luftomsättningar per timme, vilket baseras på lägsta uppmätta värden i en spalt med liggande perforerad plåtläkt och öppningar i botten och toppen. 20 luftomsättningar per timme motsvarar således det lägsta flödet man kan förvänta sig och blir i sammanhanget ett dimensionerande fall. Beräknat medelvärde över lång tid uppskattas till cirka 90-110 luftomsättningar per timme där motsvarande mätningar över dygnet ligger på mellan 115-145 luftomsättningar per timme⁸³. Luftflödet i spalten påverkas huvudsakligen av omgivande vind, hur solbelyst fasaden är samt luftspaltens bredd och dess öppningar i botten och toppen.



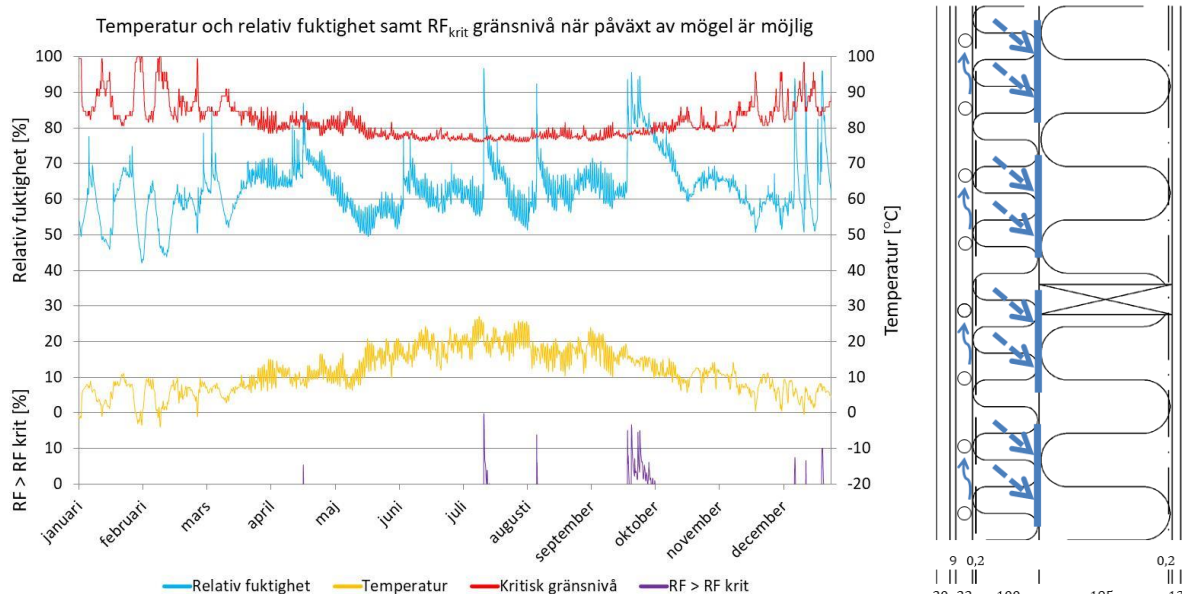
Figur 14 A – Lund. RF jämfört med RF_{krit} för en tvåstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull, svagt ventilerad luftspalt om 20 luftomsättningar per timme samt beaktande av inträngande slagregn om 1 %⁸⁴. RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt $RF > RF_{krit}$ i position A (lila).

⁸¹ ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.

⁸² Mundt-Petersen, Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Rapport TVBH-3059, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2015.

⁸³ Falk, Ventilerad luftspalt i yttervägg: luftomsättningar och konvektiv fukttransport, Rapport TVBM-3155, Licentiatavhandling, Avd för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2010.

⁸⁴ ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.



Figur 14 B – Stockholm. RF jämfört med RF_{krit} för en tvåstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull, svagt ventilerad luftspalt om 20 luftomsättningar per timme samt beaktande av inträngande slagregn om 1 %⁸⁵. RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt $RF > RF_{krit}$ i position A (lila).

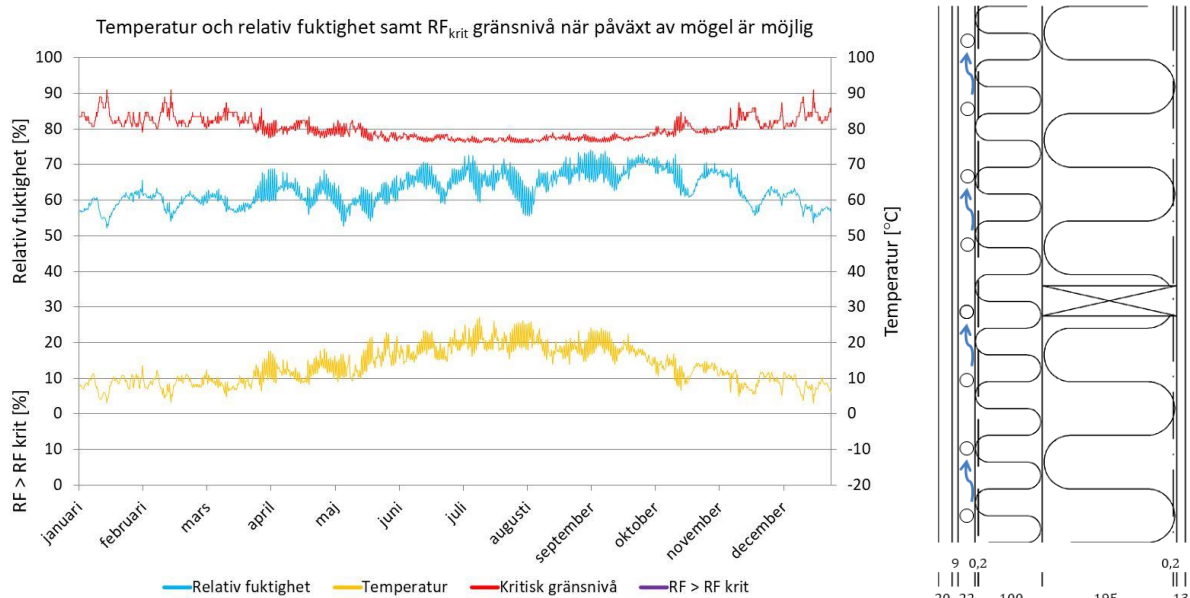
Resultaten i figur 14 A för Lund visar att flera från varandra skilda kortare perioder om ca 10 – 20 dagar förekommer då förutsättningar för mikrobiell påväxt förekommer. För motsvarande konstruktion i Stockholm förekommer 5 – 6 spridda dagar samt en period om ca 15 dagar i slutet av september då förutsättningar för mikrobiell påväxt föreligger. Perioderna där mikrobiell påväxt är möjlig uppstår efter det att slagregn trängt in i konstruktionen. Även om det inte är bra att förutsättningar för påväxt förekommer så är det i sammanhanget positivt att perioderna inte är sammanhängande eftersom det gör att mikrobiell påväxt i form av t.ex. mögel får svårare att utvecklas fullständigt och orsaka en skada.

Presenterade resultat figur 14 skall jämföras med resultaten för figur 9 och 10 där slagregnsbelastningen är satt till 1 %. Ur ett generellt perspektiv medför den tryckutjämnande och kapillärbrytande effekt som luftspalten skapar att det är svårare för slagregn att tränga in i konstruktionen jämfört en enstegstätad fasadlösning utan luftspalt enligt figur 9 och 10.

⁸⁵ ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.

3.7. Tvåstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull utan slagregn

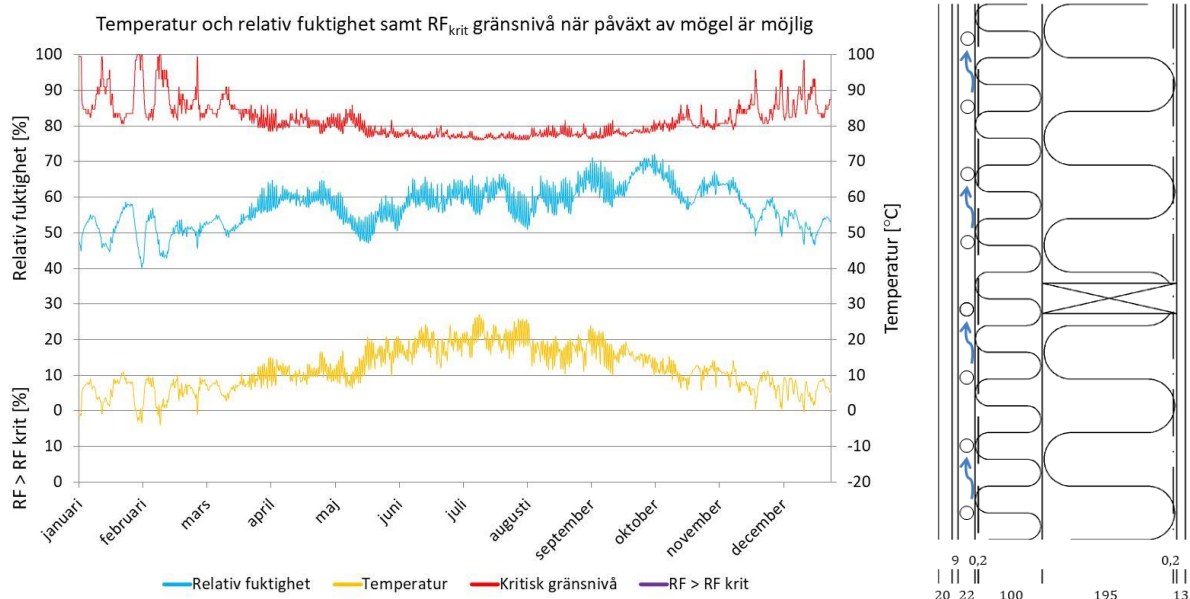
Figur 15 A och B redovisar resultatet för en beräkning av en tvåstegstätad fasad med klimatskiva av styv mineralull och utan inträngande slagregn. I ett tillämpat perspektiv kan modellen ifrågasättas eftersom slagregn även tränger in i tvåstegstätade fasader⁸⁶. Modellen har tagits fram för att skapa ett resultat som är jämförbart mot de beräkningar som gjorts för motsvarande enstegstätade fasader enligt redovisat i figur 13 där inträngande slagregn försumrats. Notera i enlighet med ovan påtalat att en tvåstegstätad fasad med luftspalt i ett generellt perspektiv har bättre förmåga att hindra slagregn från att tränga in i konstruktionen jämfört en enstegstätad fasad utan luftspalt. Ventilationsflödet i luftspalten har ansatts till 20 luftomsättningar per timme, vilket baseras på lägsta uppmätta värden i en spalt med liggande perforerad plåtläkt och öppningar i botten och toppen⁸⁷. Mot bakgrund av luftflödet i spalten är således beräkningsfallet att beakta som dimensionerande. I likhet med fallet för en enstegstätad fasad med ett dränerade och kapillärbrytande skikt så är inte heller denna modell att beakta som relevant i förhållande till verkligheten.



Figur 15 A – Lund. RF jämfört med RF_{krit} för en tvåstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull samt med antagandet att inget slagregn tränger in i konstruktionen. RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt $RF > RF_{krit}$ i position A (lila).

⁸⁶ Mundt-Petersen, Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Rapport TVBH-3059, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2015.

⁸⁷ Falk, Ventilerad luftspalt i yttervägg: luftomsättningar och konvektiv fukttransport, Rapport TVBM-3155, Licentiatavhandling, Avd för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2010.



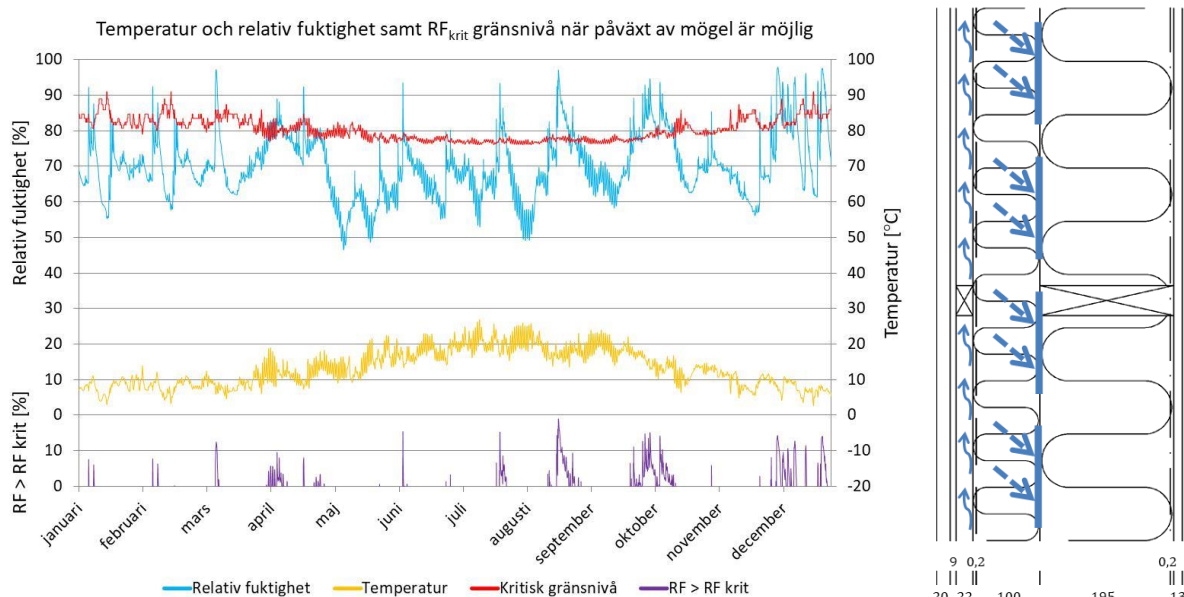
Figur 15 B – Stockholm. RF jämfört med RF_{krit} för en tvåstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull samt med antagandet att inget slagregn tränger in i konstruktionen. RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt $RF > RF_{krit}$ i position A (lila).

Av resultatet i figur 15 A och B framgår att inga förutsättningar för mikrobiell påväxt föreligger i den tvåstegstätade fasaden om slagregnsinträngningen försummas. Resultatet ska jämföras mot motsvarande fall för en enstegstätad fasad enligt figur 13 A för Lund där uppenbar risk för mikrobiell påväxt föreligger samt figur 13 B där förutsättningar finns för mikrobiell påväxt trots att slagregnet försummas i denna modell.

Jämförelse mellan en tvåstegstätad fasad med luftspalt med och utan inverkan av slagregn enligt figur 14 A och B samt 15 A och B indikerar precis som jämförelse mellan en enstegstätad fasad utan luftspalt med och utan slagregn enligt figur 10 A och B samt 13 A och B att slagregnsinträngningens betydelse är avgörande för om en konstruktion ska drabbas av skador eller inte. Jämförelsen mellan de olika fallen visar också att om samma mängd slagregn tränger in i de två olika fasadlösningarna så kommer skadorna bli betydligt mer omfattande i den enstegstätade konstruktionen utan luftspalt.

3.8. Väl ventilerad tvåstegstätad fasad med klimatskiva av mineralull

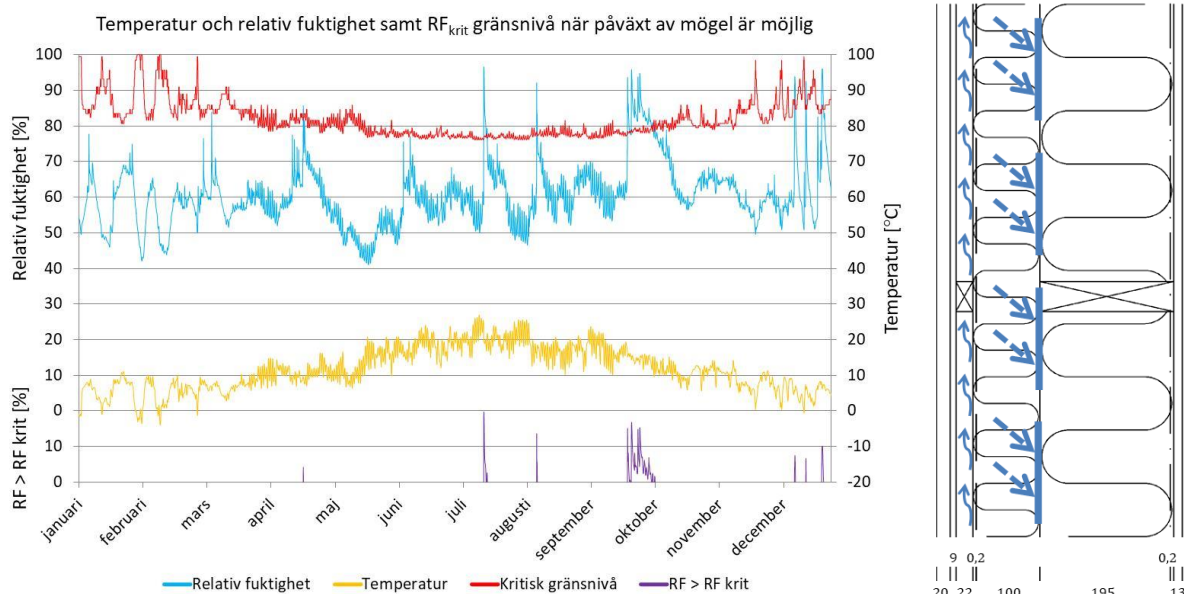
Om läkten bakom det yttersta fasadskiktet är vertikal och en spalt som är öppen i botten och toppen skapas kommer även ventilationsflödet att öka kraftigt. I figur 16 redovisas resultatet för ett sådant fall med en väl ventilerad tvåstegstätad fasad. Ventilationsflödet har uppskattats till att vara cirka tre gånger högre både genom mätning och beräkningar jämfört en spalt med liggande perforerad plåtläkt. Detta skulle ge lägsta flöde på cirka 60 luftomsättningar per timme och ger ett uppmätt medelvärdesflöde på cirka 230 till 270 luftomsättningar per timme⁸⁸.



Figur 16 A – Lund. RF jämfört med RF_{krit} för en väl ventilerad tvåstegstätad fasad med 60 luftomsättningar per timme i luftspalten utanför en klimatskiva av mineralull samt att inträngande slagregn om 1 % beaktats⁸⁹. RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt $RF > RF_{krit}$ i position A (lila).

⁸⁸ Falk, Ventilerad luftspalt i yttervägg: luftomsättningar och konvektiv fukttransport, Rapport TVBM-3155, Licentiatavhandling, Avd för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2010.

⁸⁹ ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.



Figur 16 B – Stockholm. RF jämfört med RF_{krit} för en väl ventilerad tvåstegstätad fasad med 60 luftomsättningar per timme i luftspalten utanför en klimatskiva av mineralull samt att inträngande slagregn om 1 % beaktats⁹⁰. RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt RF > RF_{krit} i position A (lila).

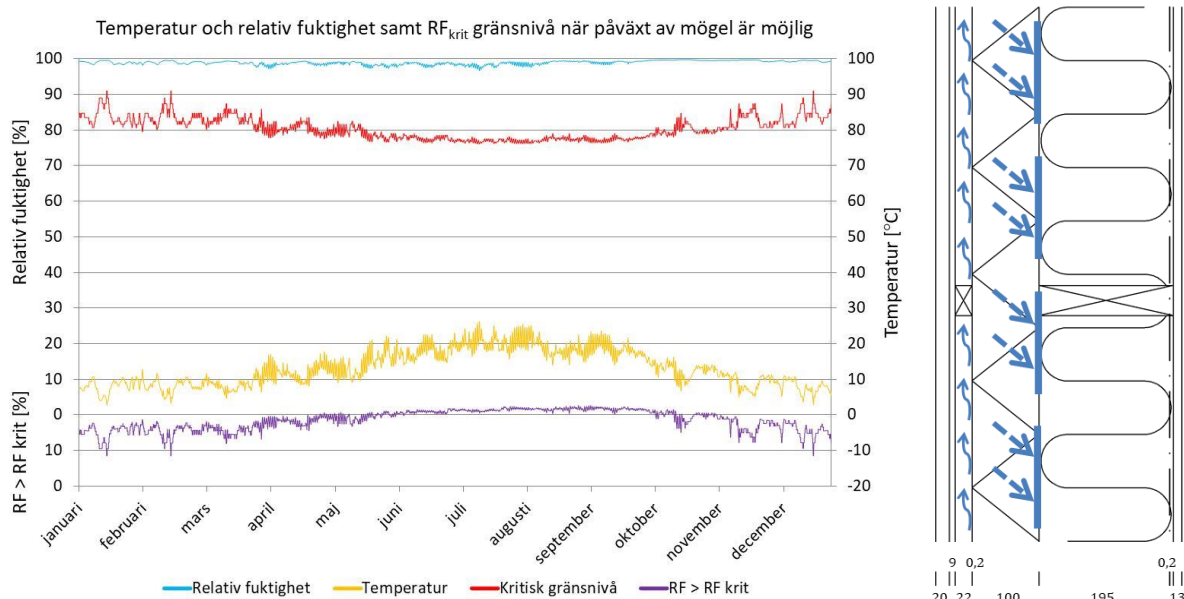
Även om man har en väl ventilerad luftspalt med ett högre luftflöde kvarstår förutsättningar för mikrobiell påväxt under vissa perioder. Perioderna där mikrobiell påväxt är möjlig uppstår efter det att slagregn trängt in i konstruktionen. Dessa perioder är dock kortare samt något färre, vilket förklaras av att ett högre luftflöde i spalten som påskyndar uttorkningen alternativt påskyndar uttorkningen till den grad att kritiska förutsättningar inte hinner uppnås.

Av jämförelse mellan fallet med en ventilerad luftspalt om 20 luftomsättningar per timme i figur 14 och en väl ventilerad luftspalt om 60 luftomsättningar per timme i figur 16 kan det konstateras att fallet med ett högre luftflöde i spalten minskar risken för skador något. Dock är flödet om 20 luftomsättningar per timme så pass högt att den fukt som når spalten torkas ut omgående. I praktiken innebär det att så länge som luftflödet i spalten är tillräckligt högt för att ventilerar ut den fukt som trängt in i konstruktionen via t.ex. slagregn så finns ingen ytterligare fukt att torka ut. Utöver ett tillräckligt högt luftflöde i luftspalten blir i sammanhanget även fukttransportförmågan genom de yttre isolerskikten också av betydelse där mer diffusionsöppna material medför en snabbare och bättre uttorkning. Notera att flödet i luftspalten fortfarande måste vara tillräckligt högt för att ventilerar ut den fukt som tränger in. En sluten luftspalt utan luftflöde kommer skapa samma situation som råder för en enstegstätad fasad där allt inträngande slagregn och annan fukt måste torka ut genom diffusion.

⁹⁰ ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.

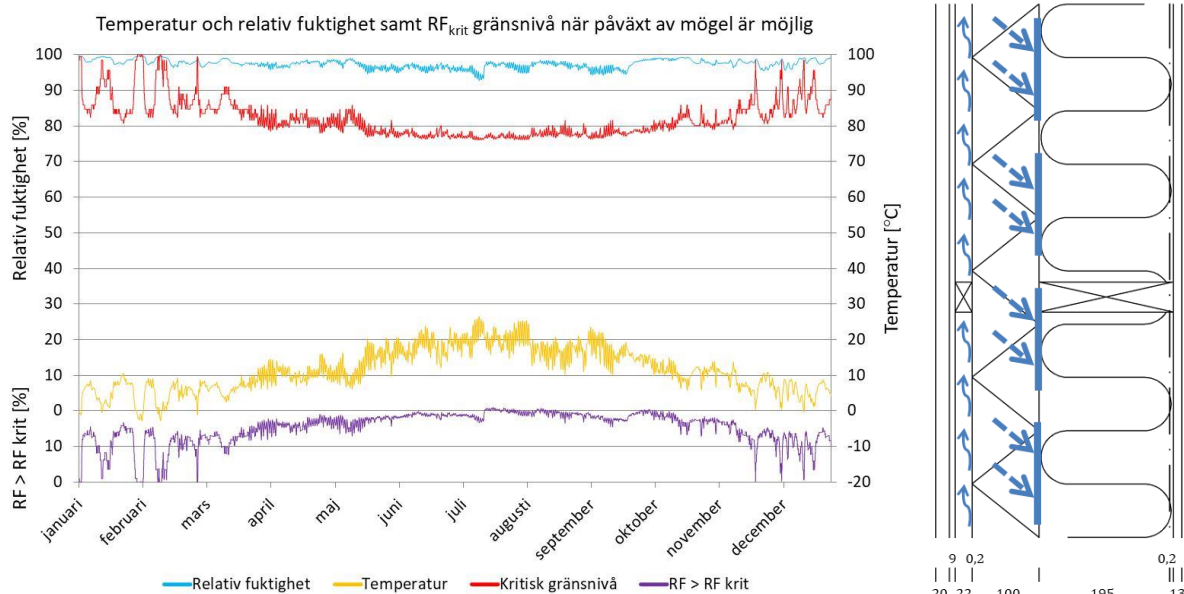
3.9. Väl ventilerad tvåstegstätad fasad med klimatskiva av cellplast

Produktionstekniska aspekter gör att vissa konstruktörer samt ytterväggs- och hustillverkare önskar applicera en yttre klimatskiva av cellplast på utsidan av träregelstommen. I de fall en ventilerad spalt krävs underlättar nämligen den styva cellplastskivan monteringen av utanpåliggande läkt och därpå infäst fasadskikt. Genom tvivelaktig marknadsföring jämförs denna typ av konstruktionslösning, med inverkan av slagregn, med en enstegstätad fasad med en diffusionsöppen klimatskiva utan inverkan av slagregnsinträngning. Jämförelsen blir i sammanhanget orealistisk eftersom funktionskrav och utförande inte jämförs mot samma bakgrund och utgångspunkt.



Figur 17 A – Lund. RF jämfört med RF_{krit} för en väl ventilerad tvåstegstätad fasad med 60 luftomsättningar per timme i luftspalten utanför en klimatskiva av cellplast samt att inträngande slagregn om 1 % beaktats⁹¹. RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt RF > RF_{krit} i position A (lila).

⁹¹ ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.



Figur 17 B – Stockholm. RF jämfört med RF_{krit} för en väl ventilerad tvåstegstätad fasad med 60 luftomsättningar per timme i luftspalten utanför en klimatskiva av cellplast samt att inträngande slagregn om 1 % beaktats ⁹². RF i position A (turkos), temperatur i position A (gul), RF_{krit} beroende av temperatur (röd), samt $RF > RF_{krit}$ i position A (lila).

Resultaten i figur 17 A och B i relation till resultaten för utvärderingen av de andra tvåstegstätade fasadlösningarna med luftspalt enligt figur 14 – 16 visar tydligt på behovet av diffusionsöppen klimatskiva som ger förutsättningar för uttorkning av inträngande fukt. Resultaten visar också att så länge klimatskivan är så pass tät att fukt inte kan diffusionstorka ut genom denna så är det faktiska ventilationsflödet i luftspalten av underordnad betydelse.

⁹² ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.

4. Slutsatser

Resultaten ovan visar entydigt att det är en signifikant skillnad på en fasadlösning med och utan ventilerad luftspalt samt diffusionsöppen/ånggenomsläpplig, eller i sammanhanget relativt diffusionstäta/ångtät, klimatskiva. Tvåstegstätade fasader med luftspalt är betydligt mer robusta jämfört med enstegstätade fasader under förutsättning att de yttre isolerskikten i konstruktionen, såsom klimatskivan, är förhållandevis diffusionsöppna.

Såväl viss litteratur som det kända rättsfallet NJA 2015 s 1040 pekar tydligt ut att en tvåstegstätad fasad skall innehålla en luftspalt. Oklarheter i frågan förekommer i de fall funktion blandas med utförande. För att spalten ska kunna uppfylla relevanta funktionskrav måste denna vara ventilerad vilket normalt sett även är fallet. Mot bakgrund av att definitioner kan misstolkas och används tvivelaktigt samt vilseledande finns det ett behov av att de olika förutsättningarna rörande såväl funktion som utförande tydligt definieras. Begreppen enstegstätad fasad, dränerad enstegstätad fasad med tryckutjämning, tvåstegstätad fasad samt väl ventilerad tvåstegstätad fasad bör tydligt definieras med avseende på funktion och utförande. Den betydande skillnaden i att drabbas av fuktrelaterade skador mellan fasadlösningar med och utan luftspalt gör att dessa två konstruktionslösningar behöver särskiljas definitionsmässigt.

Oavsett konstruktionslösning är det av väsentlig betydelse att inträngande slagregn omgående dräneras samt torkas ut ur konstruktionen för att denna inte ska riskera att drabbas av fukt och mögelrelaterade skador.

Att jämföra en ventilerad och en oventilerad enstegstätad fasadlösning med ett diffusionstätt och ett diffusionsöppet material på klimatskivan är inte relevant då de båda fasadlösningarna saknar grundläggande likvärdiga förutsättningar.

Dränerade enstegstätade fasader med en diffusionsöppen klimatskiva, vilken är tänkt att fungera kapillärbrytande, dränerande och tryckutjämnande och som tvivelaktigt marknadsförs som tvåstegstätad utan att slagregn beaktats, löper trots detta högre risk för fukt- och mögelrelaterade skador jämfört med en tvåstegstätad fasad med svagt ventilerad luftspalt och där slagregnsinträningen beaktats.

Förutsättningar för mikrobiell påväxt reduceras för såväl enstegstätade som tvåstegstätade fasader i takt med att mängden inträngande slagregn reduceras. Det finns således ett starkt beroende mellan mängden inträngande slagregn och risken för fukt- och mögelrelaterade skador.

Omgivande klimat har stor påverkan för risken huruvida en konstruktion kommer drabbas av fukt och mögelrelaterade skador. För att avgöra om en konstruktionslösning har förutsättningar för att inte drabbas av skador måste det specifika klimatet på den aktuella platsen beaktas.

Det bör påtalas att fasadens generella utformning med en luftspalt är av betydelse för att konstruktionen inte ska riskera att drabbas av fukt- och mögelrelaterade skador. I sammanhanget går det dock inte att förringa att även dränerande, ventilerande och kapillärbrytande detaljer, genomföringar, anslutningar och infästningar är av stor betydelse för att inga skador ska uppstå.

Vid uppförande av nya byggnader samt omfattande fasadrenoveringar av befintliga byggnader ska för undvikande av fuktskador fasaden utföras tvåstegstätad med en ventilerad spalt som är

öppen i botten och toppen. Vidare skall diffusionsöppna isolermaterial användas i den yttre delen av konstruktionen.

Resultaten överensstämmer ur ett generellt perspektiv med tidigare riktad studie inom området⁹³.

⁹³ Jansson och Hansén, Putsade enstegstätade regelväggar – Erfarenheter från undersökningar som SP utfört, SP rapport 2015:01, Hållbar samhällsbyggnad, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2015.

5. Referenser

Arfvidsson, Harderup, Samuelsson, Fukthandbok – praktik och teori, AB Svensk byggtjänst, fjärde upplagan, Bulls Graphics, Halmstad 2017.

ASHRAE 2016, ASHRE Standard 160-2016 Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. ASHRAE, USA 2016.

Boverket, BFS 2006:12 BBR:12, Regelsamling för byggande – Boverkets byggregler, BBR, Boverket, 2006.

Boverket, BFS 2018:15 BBR 27, Regelsamling för byggande – Boverkets byggregler, BBR, Boverket, 2018.

Boverket, Kartläggning av fel, brister och inom byggsektorn, Rapport 2018:36, Boverket 2018.

Falk, Ventilerad luftspalt i yttervägg: luftomsättningar och konvektiv fukttransport, Rapport TVBM-3155, Licentiatavhandling, Avd för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2010.

Hagetoft, Vandrande fukt Strålände värme – så fungerar hus, Studentlitteratur, Narayana Press Denmark, 2002.

Hagetoft och Sandin, Byggnadsfysik – så fungerar hus, Studentlitteratur AB, Interark, Polen 2017.

Horner, Morey, Lingman, Younger, 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 2001.

Högsta domstolen, NJA 2015 s 110 samt NJA 2015 s 1040, dom mål T 916-13, 2015-03-19, 2015.

IVA, Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien, Staffan Eriksson, Samhällsbyggande, drivmedel och energi, IVA-projektet Innovation i skogsnäringen, IVA 2017.

Jansson och Hansén, Putsade enstegstätade regeltäckningar – Erfarenheter från undersökningar som SP utfört, SP rapport 2015:01, Hållbar samhällsbyggnad, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2015.

Jansson, Samuelsson och Mjörnell, Fuktskador i putsade odränerade regeltäckningar – lägesrapport oktober 2007, SP rapport 2007:36, Energiteknik, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2007.

Jansson, Samuelsson och Mjörnell, Skador i putsade träregetäckningar, Bygg & Teknik 1:2007.

Johansson, Determination of the critical moisture level for mould growth on building materials. Doktorsavhandling, Rapport TVBH-1020, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2014.

Johansson, Samuelson, Ekstrand-Tobin, Mjörnell, Sandberg, och Sikander. Kritiskt fuktillstånd för mikrobiell tillväxt på byggnadsmaterial – kunskapssammanfattning, SP rapport 2005:11, SP Energiteknik, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2005.

Lstiburek, The fundamental flaw of EIFS, Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings VII – International Conference 1995, Florida, USA.

Mundt-Petersen, Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Rapport TVBH-3059, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2015.

Mundt - Petersen, Wallentén, Toratti och Heikkinen, Moisture risk evaluation and determination of required measures to avoid mould damage using the Folos 2D visual mould chart, Thermophysics 2012, Slovakien 2012.

Nevander, Elmarsson, Fukthandbok – praktik och teori, AB Svensk byggtjänst, tredje upplagan, Mölnlycke 2011.

Olsson, Driving rain tightness, intrusion rates and phenomenology of leakages in defects of facades: A new calculation algorithm, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsteknologi, Chalmers, Göteborg 2018.

Olsson, Slagregnstäthet hos fasader och vindskydd, Bygg & Teknik 2:2014, s 32.

Petersson, Tillämpad byggnadsfysik, Studentlitteratur, Scangraphic, Danmark 2007.

Regeringen, Inventering för ett ökat industriellt träbyggande, 15 december 2016, www.regeringen.se/artiklar/2016/12/inventering-av-mojligheter-for-ett-okat-industriellt-trabyggande/.

Samuelsson och Jansson, Putsade regelväggar, SP rapport 2009:16, Energiteknik, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2009.

Samuelsson och Wånggren, Fukt och mögelskador Hammarby Sjöstad, SP rapport 2002:15, SP Byggnadsfysik, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, 2002.

Sandin, Praktisk byggnadsfysik, Studentlitteratur AB, Lund, Elanders Hungary 2011.

Sedlbauer, Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components, Doktorsavhandling, Fraunhofer Institute of Building Physics, University Stuttgart, Tyskland, 2001.

Sedlbauer, Krus och Breuer, Mould growth prediction with a new biohygrothermal method and its application in practice, IX. Polska Konferencja Naukowo-Techniczna Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Materiały konferencyjne., sid 594-601, Polen 2003.

SMHI, Sveriges Metrologiska och Hydrologiska Institut, Klimatdata, Metrologi, Medelmolnighet.

SIS, Swedish Standards Institutet, Svensk standard, Svensk standard SS-EN 15026:2007, Fukt- och värmeteknisk funktion hos byggnadsdelar och konstruktioner – numerisk simulering av fukttransport, 2007.

SIS, Swedish Standards Institutet, Svensk standard, Svensk standard SS-EN 13789:2007, Thermal performance of buildings – Transmission and ventilation heat transfer coefficients – Calculation methods (ISO 13789:2007), 2007.

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

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

Viitanen, Vinha, Salminen, Ojanen, Peuhkuri, Paajanen, och Lähdesmäki, K. Moisture and biodeterioration risk of building materials and structures. Journal of Building Physics 2010:33(3):201 - 24.

Villaägarnas Riksförbund, produktgranskning, www.villaagarna.se/produktgranskning.

WUFI PRO 5.3, Release: 5.3.4.1263.CB.24.78.0.14. Fraunhofer Institute of Building Physics, Tyskland.

WUFI PRO 5.2 Climate database, Sweden, Europe. Release: 5.3.4.1263.DB.24.78.0.14. Fraunhofer Institute of Building Physics, Tyskland.

WUFI PRO 5.3 Material database – Generic materials, LTH och Fraunhofer - IBP - Holzkirchen, Germany. Release: 5.3.4.1263.DB.24.78.0.14. Fraunhofer Institute of Building Physics, Tyskland.

6. Bilagor

6.1. Bilaga 1 - Övriga randvillkor

Nedan redogörs för förutsättningar samt start- och randvillkor som används som indata i beräkningsmodellen i WUFIPro5.3, utöver vad som redovisats i föregående rubriker. Förutsättningarna redovisas i punktform med eventuell efterföljande kommentar. Se även ytterligare information i WUFIPro5.3 manual⁹⁴.

- Väderstreck – Sydväst för Lund och sydost för Stockholm
Det väderstreck med störst slagregnsbelastning är normalt sett dimensionerande.
- Låg byggnad med höjd upp till 10 m
- Regnbelastning – $R1 = 0$, $R2 = 0,07 \text{ s/m}$.
Visar mängden regn som träffar fasaden. WUFI standardvärden.
- 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 $R_{\text{se}} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ ⁹⁵.

- Sd-värde för utvändig yta – 0 m.
Allt ytövergångsmotstånd har applicerats i respektive fasadmateriell.
Absorptionstal för kortvågig strålning mot utvändig yta = 0,2.
0,2 avses motsvara ljus kulör.
- Emissionstal för långvågig strålning = 0,9.
WUFI standardvärde⁹⁶.
- Explicit strålningsbalans – på.
 - Terräng långvågig emissivitet = 0,9.
 - Terräng långvågig reflektion = 0,1.
 - Molnindex = 0,66.

WUFI standardvärden⁹⁷ vilka även motsvarar SMHIs angivna molnighetsindex⁹⁸.

- Terräng, kortvågig reflektionsgrad = 0,2.
WUFI standardvärde⁹⁹.
- Absorptionstal för regnvatten = 0,7. Enligt konstruktionens lutning.
WUFI standardvärde¹⁰⁰.

⁹⁴ WUFI PRO 5.3, Release: 5.3.4.1263.CB.24.78.0.14. Fraunhofer Institute of Building Physics, Tyskland.

⁹⁵ SIS, Swedish Standards Institutet, Svensk standard, Svensk standard SS-EN 13789:2007, Thermal performance of buildings – Transmission and ventilation heat transfer coefficients – Calculation methods (ISO 13789:2007), 2007.

⁹⁶ WUFI PRO 5.3, Release: 5.3.4.1263.CB.24.78.0.14. Fraunhofer Institute of Building Physics, Tyskland.

⁹⁷ WUFI PRO 5.3, Release: 5.3.4.1263.CB.24.78.0.14. Fraunhofer Institute of Building Physics, Tyskland.

⁹⁸ SMHI, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Klimatdata, Metrologi, Medelmonlighet.

⁹⁹ WUFI PRO 5.3, Release: 5.3.4.1263.CB.24.78.0.14. Fraunhofer Institute of Building Physics, Tyskland.

¹⁰⁰ WUFI PRO 5.3, Release: 5.3.4.1263.CB.24.78.0.14. Fraunhofer Institute of Building Physics, Tyskland.

- Värmemotstånd inre yta = 0,125 m²K/W.
WUFI standardvärde, som även ligger nära svenska standardvärdet R_{si} för vägg = 0,13 m²K/W^{101 102}.
- 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 = 20 °C.
Resultaten är fem år från start vilket i praktiken negligerar inverkan av begynnelsevillkor.
- Begynneelseförhållanden för vatteninnehåll i respektive skikt är angett genom funktionen: Ange typiskt värde för byggfukt.
Använda standardvärden är angivna i WUFI:s materialdatabas¹⁰³. 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.
- Numeriska parametrar enligt WUFI standardinställningar samt adaptiv tidsstegskontroll med 3 steg, max 5 steg¹⁰⁴.

¹⁰¹ WUFI PRO 5.3, Release: 5.3.4.1263.CB.24.78.0.14. Fraunhofer Institute of Building Physics, Tyskland.

¹⁰² SIS, Swedish Standards Institutet, Svensk standard, Svensk standard SS-EN 13789:2007, Thermal performance of buildings – Transmission and ventilation heat transfer coefficients – Calculation methods (ISO 13789:2007), 2007.

¹⁰³ WUFI PRO 5.3, Release: 5.3.4.1263.CB.24.78.0.14. Fraunhofer Institute of Building Physics, Tyskland.

¹⁰⁴ WUFI PRO 5.3, Release: 5.3.4.1263.CB.24.78.0.14. Fraunhofer Institute of Building Physics, Tyskland.

6.2. Bilaga 2 - Materialparametrar

Nedan redovisas använda materialparameterar. Där inget annat anges redovisas förutsättningar för materialdatan i använd programvaras materialdatabas¹⁰⁵.

- Puts – Exterior plaster layer 1-4.
- Cementfiberskiva – Fibercementskiva.
- Luftspalt – Air gap 20 mm i tre lager modellerat enligt Mundt-Petersen¹⁰⁶.
- Klimatskiva av cellplast – EPS. Modifierad med $\lambda = 0,35 \text{ W/mK}$.
- Klimatskiva av styv mineralull – Isover integra AP supra – 0,35.
- Vindduk – weather resistive barrier ($s_d=0,2\text{m}$).
- Utegips – Gypsum Board.
- Isolering mellan reglar – Isover GW integra ZKF – 035.
- Invändig ångspärr, Vapour retarder ($S_d 100\text{m}$). Modifierad till $S_d = 78 \text{ m}$.
- Invändig gips – Gypsum Board.

¹⁰⁵ WUFI PRO 5.3 Material database – Generic materials, LTH och Fraunhofer-IBP – Holzkirchen, Germany. Release: 5.3.4.1263.DB.24.78.0.14. Fraunhofer Institute of Building Physics, Tyskland.

¹⁰⁶ Mundt-Petersen, Moisture Safety in Wood Frame Buildings, Rapport TVBH-3059, Doktorsavhandling, Avd för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2015.