

KLIMATFÖRÄNDRINGARS INVERKAN PÅ MODERNA TRÄREGELKONSTRUKTIONER

**Petter Wallentén, Stephen Burke, Sebastian
Ekelund, William Wennerkvist**

2018-03-28

Föreliggande rapport är finansierad av SBUF projekt 13186

Rapport TVBH 3068

ISBN-13: 978-91-88722-62-1

© 2018 Petter Wallentén, Stephen Burke, Sebastian Ekelund

William Wennerkvist

Byggnadsfysik

Institutionen för Bygg och miljöteknologi

Lunds Universitet - Lunds Tekniska Högskola

Box 118, 221 00 Lund

FÖRORD

Författarna vill tacka finansiären av projektet, SBUF för stödet. Arbetet har genomförts som litteraturstudie och simuleringar med beräkningsprogrammet WUFI.

Lund 2018-03-28

Författarna

SAMMANFATTNING

Syftet med studien var att studera om två vanligt förekommande träregelväggar kommer att klara av det framtida klimatet i Sverige, Göteborg, ur ett fukttekniskt perspektiv. Dessa två väggssystem analyserades med hjälp av simuleringar i fuktberäkningsprogrammet WUFI med varierande parametrar. Slutsatserna av studien var att:

Olof Mundt-Petersens slutsatser gällande nutida klimat gäller i stort sett även för framtida klimat.

Luftspaltens omsättning är en kritisk faktor till fuktproblem. En korrekt utförd luftspalt är viktig för konstruktionens förmåga att avleda fukt.

Luftläckage inifrån motsvarande passivhusstandard ($0.3 \text{ l/m}^2\text{s @ } 50\text{Pa}$) är tillräckligt för att kunna ge mögelpåväxt vissa år.

Med ökad fasadisolering förbättras klimatet vid stommens utsida ur ett fukttekniskt perspektiv. Att använda sig av minst 20 % fasadisolering av den totala isolertjockleken eller minst 70 mm är att rekommendera. Detta för att få ett större avstånd mellan den bärande stommen och luftspalten. (Med WUFI klimat var det ca 15%)

Trots att RF överstiger RF_{krit} under en längre tid behöver det inte nödvändigtvis betyda att det skadar konstruktionen. För att få en korrekt bild av fuktproblem bör MRD-modellen implementeras vid fuktprojektering.

Nyckelord: Fuktanalys, Mögel, MRD, WUFI, Träregelväggar, Framtida klimatdata

INNEHÅLL

1	INLEDNING	8
1.1	BAKGRUND	8
1.2	SYFTE	9
1.3	METOD	9
1.4	AVGRÄNSNINGAR	10
2	TEORI	11
2.1	BBR	11
2.1.1	<i>"6:52 Högsta tillåtna fukttillstånd</i>	<i>11</i>
2.2	FUKTKÄLLOR	11
2.2.1	<i>Regn, snö och slagregn</i>	<i>11</i>
2.2.2	<i>Luftfukt</i>	<i>13</i>
2.2.2.1	Utomhus	13
2.2.2.2	Inomhus	13
2.2.3	<i>Byggfukt</i>	<i>14</i>
2.2.4	<i>Fuktläckage inifrån</i>	<i>14</i>
2.3	MÖGEL OCH MIKROBIELL PÅVÄXT	14
2.3.1	<i>Mikrobiell påväxt på trä då RF överskrider RFkrit</i>	<i>16</i>
2.4	MRD – MOULD RESISTANCE DESIGN	17
2.5	TIDIGARE FORSKNING OM FUKTSÄKRA KONSTRUKTIONER	19
2.5.1	<i>Fuktsäkra träkonstruktioner</i>	<i>19</i>
3	WUFI INTRODUKTION OCH INDATA	21
3.1	PARAMETRAR I WUFI	21
3.2	VÄGGSYSTEMEN	21
3.2.1	<i>Väggsystem 1</i>	<i>22</i>
3.2.2	<i>Väggsystem 2</i>	<i>22</i>
3.3	SYSTEMUPPBYGGNAD I WUFI	24
3.3.1	<i>Väggsystem 1</i>	<i>24</i>
3.3.2	<i>Väggsystem 2</i>	<i>25</i>
3.4	KLIMATDATA	26
4	BERÄKNINGAR OCH RESULTAT	32
4.1	GENOMFÖRDA BERÄKNINGAR	32
4.2	REDOVISNING	32
5	BASFALLEN	35
6	PARAMETERSTUDIE – FUKTLÄCKAGE INIFRÅN	37
6.1	BERÄKNINGSRESULTAT AV FUKTLÄCKAGE INIFRÅN	37
6.1.1	<i>Värden som hämtats till beräkning av fuktläckage inifrån</i>	<i>37</i>
6.2	BERÄKNINGSRESULTAT AV FUKTLÄCKAGE INIFRÅN	38
6.2.1	<i>CNRM 2071–2100</i>	<i>38</i>
6.2.2	<i>IPSL 2071–2100</i>	<i>39</i>
6.3	VÄGGSYSTEM 1	39
6.3.1	<i>CNRM 2071-2100</i>	<i>39</i>
6.3.2	<i>IPSL 2071–2100</i>	<i>41</i>
6.4	ANALYS – FUKTLÄCKAGE INIFRÅN VÄGGSYSTEM 1	42

6.5	VÄGGSYSTEM 2.....	43
6.5.1	<i>CNRM 2071-2100</i>	43
6.5.2	<i>IPSL 2071-2100</i>	44
6.6	ANALYS – FUKTLÄCKAGE INIFRÅN VÄGGSYSTEM 2.....	45
7	PARAMETERSTUDIE – ÄNDRAD OMSÄTTNING I LUFTSPALTEN	47
7.1	VÄGGSYSTEM 1.....	47
7.1.1	<i>CNRM 2021-2050</i>	47
7.1.2	<i>IPSL 2021-2050</i>	49
7.2	ANALYS – ÄNDRAD OMSÄTTNING I VÄGGSYSTEM 1.....	50
7.3	VÄGGSYSTEM 2.....	51
7.3.1	<i>CNRM 2051-2070</i>	51
7.3.2	<i>IPSL 2021-2050</i>	52
7.4	ANALYS – ÄNDRAD OMSÄTTNING I VÄGGSYSTEM 2.....	53
8	PARAMETERSTUDIE – ÖKAD ABSORPTION AV SLAGREGN.....	55
8.1	VÄGGSYSTEM 1.....	55
8.1.1	<i>CNRM 2071-2100</i>	55
8.1.2	<i>IPSL 2071-2100</i>	57
8.2	ANALYS – ÖKAD ABSORPTION AV SLAGREGN I VÄGGSYSTEM 1.....	58
8.3	VÄGGSYSTEM 2.....	59
8.3.1	<i>CNRM 2071-2100</i>	59
8.3.2	<i>IPSL 2071-2100</i>	60
8.4	ANALYS – ÖKAD ABSORPTION AV SLAGREGN FÖR VÄGGSYSTEM 2.....	62
9	PARAMETERSTUDIE – VARIERANDE VÄDERSTRECK, NORDFASAD	63
9.1	ANALYS – VARIERANDE VÄDERSTRECK, NORDFASAD	64
10	PARAMETERSTUDIE – VARIERANDE TJOCKLEK PÅ FASADISOLERINGEN ...	65
10.1	<i>CNRM 2071-2100</i>	66
10.2	<i>IPSL 2071-2100</i>	68
10.3	ANALYS – VARIERANDE TJOCKLEK PÅ FASADISOLERINGEN	69
11	DISKUSSION	70
11.1	FELANALYS AV SIMULERINGAR I WUFI.....	72
12	SLUTSATS	75
13	REFERENSER.....	76
14	APPENDIX A.....	78
14.1	A.1 BASFALLEN.....	78
14.1.1	<i>A.1.1 CNRM 1961-1990</i>	78
14.1.2	<i>A.1.2 IPSL 1961-1990</i>	79
14.2	A.2 BASFALL VÄGGSYSTEM 2.....	81
14.2.1	<i>A.2.1 CNRM 1961-1990</i>	81
14.2.2	<i>A.2.1 IPSL 1961-1990</i>	82
14.3	A.3 BASFALL VÄGGSYSTEM 1.....	84
14.3.1	<i>A.3.1 CNRM 2021-2050</i>	84
14.3.2	<i>A.3.1 IPSL 2021-2050</i>	85
14.4	A.4 VÄGGSYSTEM 2.....	87
14.4.1	<i>A.4.1 CNRM 2021-2050</i>	87

14.4.2	A.4.1	IPSL 2021-2050	88
14.5	A.5	BASFALL VÄGGSYSTEM 1	90
14.5.1	A.5.1	CNRM 2071-2100	90
14.5.2	A.5.1	IPSL 2071-2100	91
14.6	A.5	BASFALL VÄGGSYSTEM 2	93
14.6.1	A.5.1	CNRM 2071-2100	93
14.6.2	A.5.1	2071-2100	94
15	APPENDIX B	101

1 INLEDNING

Sedan början på 1990-talet har klimatförändringarna uppmärksammats i allt större utsträckning. Vid analys av klimatdata kan det även konstateras att ”extremt” klimat med höga nederbörds mängder och långa mycket varma eller mycket kalla perioder blivit vanligare sedan mitten på 1990-talet. På längre sikt står vi kanske inför större förändringar. En sådan utveckling av klimatet kan få en omfattande negativ inverkan i form av ökad risk för mögel- och fuktskador på dagens träregelkonstruktioner i Sverige.

1.1 Bakgrund

Genom nyligen avslutade studier finns ett framtaget uppskattat utomhusklimat för olika troliga scenarier av klimatförändringarna för flera orter i Sverige (Vahid Nik, 2012). Predikterade klimatförändringar baseras på klimatdata från SMHI och klimatmodeller från FN:s klimatpanel IPCC som har utarbetat så kallade emissionsscenarioer (utsläppsscenarioer) över hur atmosfären kan komma att förändras i framtiden. De flesta beräkningar med klimatmodeller följer något av dessa scenarier. Vidare finns genom de nyligen avslutade projekten WoodBuild och Framtidens Trähus kunskap om vilka förutsättningar som gör att mikrobiell påväxt på organiska byggnadsmaterial, företrädesvis trä, uppstår (Pernilla Johansson, 2014, Lars Olsson, 2014 samt Olof Mundt-Petersen 2015). Inom ramen för projektet Framtidens Trähus har även flera träregelkonstruktioner som används idag av branschen utvärderats med avseende på risken för mikrobiella skador med befintligt klimat för olika delar av landet.

Kunskap om hur de träregelkonstruktioner som idag uppförs påverkas av framtida klimatförändringar saknas. Vidare saknas kunskap om eventuella faktorer i konstruktionen eller designen som skulle kunna minska risken för skador vid befarade förändringar i utomhusklimatet.

Hur framtidens klimat kommer att se ut beror till stor del på mängden utsläpp av växthusgaser. År 2009 hölls FN Climate Change Conference i Köpenhamn, där konsekvenser och mål gällande det framtida klimatet diskuterades.

Deltagande länder vid mötet kom fram till att den globala medeltemperaturen inte får öka med mer än 2 °C då vissa regioner befinner sig i riskzon för höjda havsnivåer, skogsbränder, brist på färskvatten och andra förödande konsekvenser (Copenhagen Accord, 2009).

I Sverige står vi inför större förändringar. Medeltemperaturen kan stiga med 3–5 grader fram till 2080. Temperaturökningarna i Norrland har beräknats till 6–7 grader vintertid mot seklets slut. I framtiden tros årsnederbörden öka mellan 10 % till 30 % samtidigt som antalet sammanhängande dagar med extrem dygnsnederbörd ser ut att öka med 10–20 dagar per år (SMHI 2018).

Det pågår en diskussion om ifall svenska moderna träregelkonstruktioner kommer påverkas negativt det framtida klimatet (Nik 2012, 2013, 2015), speciellt när det gäller risken för mögelpåväxt. Inläckning av slagregn studerades av Nik (2015) och Hartwig (2012) med hjälp av WUFI simuleringar men det är många fler olika fall som måste studeras för att täcka mer av problemets stokastiska natur.

I det här presenterade projektarbetet undersöks om några olika moderna träregelväggar klarar två olika prognostiserade framtida klimat, ur en fuktteknisk synpunkt. Livslängden för en byggnad är minst 75–100 år (Byfors Jan, CTO NCC AB, mailkontakt, 2016-03-02) vilket innebär att dagens konstruktioner måste klara av förändringarna. De krav och riktlinjer som gäller

fuktsäkert byggande, är idag baserade på nutida klimat och tar inte hänsyn till den klimatförändring vi står inför.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att studera hur de träregelkonstruktioner för ytterväggar som idag uppförs påverkas av framtida klimatförändringar, speciellt i form av risk för mögelpåväxt, samt vilka åtgärder i konstruktionerna som är nödvändiga för att skapa fuktsäkrare träregelväggar i framtiden. De undersökningar som har gjorts tidigare har inte tagit hänsyn till ny forskning (Wood-build/Framtidens trähus) som bl. a visar att slagregnsinträngningen mycket väl kan nå insidan av fasadskivan, dvs. förbi den ventilerade spalten och i direkt kontakt med träreglarna. Jämförelser för risken för skador i form av mikrobiell påväxt för träregelväggar görs med hjälp av den så kallade MDR modellen utvecklad på LTH samt mer kvalitativa analyser med RF_{kritisk} jämförelser (Folos-diagram). Det centrala i studien är att jämföra skaderisker i dagens klimat jämfört med om samma vägg utsätts för ett framtida klimat där klimatförändringar skett. Detta görs med hjälp av klimatscenarior.

Projektet avgränsas till att undersöka ett antal vanligt förekommande träregelväggar som tidigare utvärderats för det klimat och de förutsättningar som råder idag, samt några förbättrade konstruktioner med t ex ökad dimension på fasadskivan. Aktuella träregelväggar finns beskrivna i rapporten Fuktsäkra träkonstruktioner (Hägerstedt, O, 2012).

Genom att påtala framtida risker och potentiella lösningar främjas utvecklingen inom byggindustrin och risken för framtida problem minskar. Vidare skapas förutsättningar för innovatörer och en god fortsatt teknikutveckling.

Målgruppen är byggföretag som helt eller delvis uppför byggnader med träregelväggar, dvs. i stort sett alla producerande aktörer i byggindustrin. Vidare kommer resultaten och rapporten att fungera som ett stöd för främst fuktsakkunniga, kvalitetsansvariga och projektörer i så väl tidiga skeden som under hela projekteringsprocessen.

Syftet kan därför delas upp i följande frågeställning;

- Hur kommer väggsystemen reagera på det framtida klimatet?
- Vilka parametrar påverkar risken för mögel?

1.3 Metod

Projektarbetet påbörjas med en informationssökning och datainsamling inom ämnet. Rapporten som projektarbetet bygger vidare på har titeln "Fuktsäkra träkonstruktioner" och är skriven av Olof Mundt-Petersen (2012). Övrig information hämtas från avhandlingar, artiklar och examensarbeten.

De vetenskapliga resultaten tas fram genom parameterstudie i beräkningsprogrammet WUFI, där fuktförhållandena beräknas i den position där störst risk för mikrobiell påväxt bedöms föreligga för en rad olika träregelväggar. Beräkningsresultaten jämförs därefter mot den risk för påväxt som bedöms föreligga dels med dagens klimat och dels med olika framtida klimatscenarier.

Vidare genomförs beräkningar med förändringar i de initialt utvärderade konstruktionerna i syfte att studera faktorer som minskar risken för mikrobiell påväxt, både idag och i framtiden.

1.4 Avgränsningar

Denna rapport baseras på två typer, av i Sverige vanligt förekommande träregelväggar. Konstruktionen för väggsystem 1 är tagen från "Fuktsäkra träkonstruktioner" av Olof Mundt-Petersen (2012). Väggsystem 2 är en typisk konstruktionslösning för en passivhusvägg.

Alla simuleringar görs i WUFI pro 5.3. Programmet är ett endimensionellt verktyg vilket innebär en förenkling av verklighetens tredimensionella fuktproblematik. Klimafilerna som används i WUFI har tillhandahållits av Vahid Moussavi Nik vid Lunds Tekniska Högskola. Filerna är av två format samt för region Göteborg. Endast dessa klimatfiler används. Fasader vända mot söder är mest kritiska i Göteborg relaterat till fukt (Nik, Mundt-Petersen, 2015), därför görs simuleringarna för fasader vända mot den riktningen. En simulering mot norrsida görs för att säkerställa att söderfasad är den beräkningsmässigt dimensionerande.

Endast den mest fuktkritiska punkten i väggkonstruktionerna studeras. Störst risk för hög fukthalt är där trästommen är som närmst utsidan. Samtliga simuleringar görs i denna punkt. Det innebär att så kallad sommarkondens inte studeras, vilket motiveras av att detta oftast sker i samband med tegelfasad (Ejner, Nilsson, 2008).

2 TEORI

Detta kapitel sammanfattar forskningsläget inom området samt några basfakta som behövs för att förstå resonemangen som följer.

2.1 BBR

I BBR används följande vägledande text:

2.1.1 ”6:52 Högsta tillåtna fukttillstånd

”Högsta tillåtna fukttillstånd är den övre gräns där fukt inte kan förväntas orsaka skador som påverkar hygien eller hälsa.

Vid bestämning av högsta tillåtna fukttillstånd ska kritiska fukttillstånd användas varvid hänsyn ska tas till osäkerhet i beräkningsmodell, ingångsparametrar eller mätmetoder.

För material och produkter där mögel och bakterier kan växa ska man använda kritiska fukttillstånd som är väl undersökta och dokumenterade. Vid bestämning av kritiska fukttillstånd ska hänsyn tas till eventuell nedsmutsning av materialet eller produkten. Om det kritiska fukttillståndet inte är väl undersökt och dokumenterat ska en relativ fuktighet (RF) på 75 % användas som kritiskt fukttillstånd.” (BFS 2017)”

BBR:s regler för högsta tillåtna fukttillstånd är knutna till materialets kritiska fukttillstånd. Ingen direkt anknytning till varaktighet, temperatur eller variation hos fuktbelastningen görs. Dessa parametrar är nödvändiga för att kunna analysera risk för mikrobiell påväxt.

2.2 Fuktkällor

Då en byggnad förväntas vara i bruk under en längre period kommer konstruktionen att möta många fuktkällor under dess livstid.

Följande fuktkällor kommer avhandlas i denna rapport: slagregn och slagregnsinträngning, luftfukt utomhus, luftfukt inomhus, byggfukt och fuktläckage inifrån som beror av otätheter i klimatskalet.

2.2.1 Regn, snö och slagregn

Vertikalt regn träffar endast tak och liknande konstruktioner. Därför beaktas inte den fuktkalla i denna studie.

Slagregn är en kombination av regn och vind. Vilket ger ett både vertikalt samt horisontellt rörelsemönster hos regnets vattendroppar. Detta medför att regnet träffar väggar samt andra vertikala byggnadsdelar.

Slagregnsmängden varierar över landet. Figur 2.1 visar indelningen av landet i zoner med hänsyn till slagregn. Mängden i respektive zon framgår av tabell 2.1 (Nevander, Elmarsson, 1994). I figur 2.1 kan man se att de zonerna med störst mängd slagregn ligger längs kusten.

Vid fuktanalyser räknar man att 1% av slagregnet tränger in i konstruktionen (Van Den Bossche, 2011). Vid områden med en hög slagregnsmängd, exempelvis västkusten, ges då en stor fuktpåverkan av slagregnet. Enligt American ASHRAE Standard 160 tränger 1 % av slagregnet in i konstruktionen (WUFI) genom fasaden. Andra studier visar en inträngning på 2 % eller högre vid detaljer i fasaden (Olsson, 2015). I denna parameterstudie visas hur fukthalten i konstruktionen påverkas av en ökning från 1 % till 3 % i slagregnsinträngning.



Figur 2.1: Indelning av landet i zoner med hänsyn till slagregn

Tabell 2.1: Slagregnmängd i respektive zon. Se zonindelning i figur 2.1.

Fritt slagregn i utsatt läge		
Zon	Regnmängd kg / m ²	
	Årsmedel- värde	Maxdygns- värde
1	150	30
2	300	45
3	450	55
4	550	70
5	100–400	Lokalt beroende

Snö är främst av betydelse när det gäller konstruktionens bärförmåga. Men det kan även påverka byggnaden rent fukttekniskt. Det är mest takets fuktförhållande som snö påverkar då snön kan frysa och hindra tinande vattens förmåga att nå avrinningsplåtarna. Det som kan påverka väggarna är fykande snö, d.v.s. små iskristaller som följer med vinden in genom otätheter i byggnaden där kristallerna sedan smälter och kan ge upphov till fuktskador (Nevander, Elmarsson, 1994)

2.2.2 Luftfukt

Det finns två sätt att definiera luftfukt på, det första är genom vattenånghalten i luften och det andra är genom det partiella ångtrycket av vattenången. I Sverige används vanligen ånghalten som redovisas som gram vatten per m³ luft medan den relativa fuktigheten är kvoten mellan aktuell fukthalt och luftens mättnadsånghalt för rådande temperatur.

2.2.2.1 Utomhus

Den relativa fuktighet mäts vid meteorologiska stationer som är geografiskt utsprida över landet medan ånghalten beräknas genom förhållandet mellan temperaturen och den relativa fuktigheten. Ånghalten varierar betydligt mer beroende på den geografiska platsen än den relativa fuktigheten.

Temperaturens inverkan på ånghalt och relativ fuktighet är stor. Utomhus kan ånghalten vara tre gånger större på sommaren än på vintern. Den relativa fuktigheten, som mäts i procent, är dock som lägst på sommaren, eftersom varm luft kan hålla större mängder fukt.

2.2.2.2 Inomhus

Ånghalten samt relativa fuktigheten inomhus bestäms av ånghalten utomhus, fuktproduktionen inomhus samt ventilationens storlek. Rekommenderad luftfuktighet inomhus är 30–70 procent relativ luftfuktighet (Socialstyrelsen, 2005), beroende på klimatet utomhus. Fuktproduktionen varierar avsevärt mellan olika byggnader då det beror på brukarens användarmönster, vilket i sig kan bidra till att det är svårt att uppskatta fuktproduktionen. De källor som fuktproduktionen i första hand kommer ifrån är avdunstning (människor, djur och växter), disk, tvätt, bad, rengöring och matlagning. Det brukar uppskattas att fukttillskottet för småhus har ett medelvärde på 3,6 g/m³ och 2,9 g/m³ för lägenheter i flerbostadshus. Adderas uteluftstillföreln

beräknas fuktproduktionen till 10 kg/dygn för småhus och 6 kg/dygn för lägenheter. (Nevander, Elmarsson, 1994)

Det finns en internationell standard EN13788 som kommer användas i denna studie.

2.2.3 Byggfukt

Byggfukt är den mängd fukt som initialt finns i byggnadens innan konstruktionen kommer i fuktjämnvikt med sin omgivning. Fukt kan tillföras i materialet under tillverkning, lagring, transport och under produktion. En viktig parameter när man bygger fuktsmart är att förvara materialet skyddat från nederbörd och markfukt under produktion (Nevander, Elmarsson, 1994). Detta gäller speciellt om fukthalten från början ligger över den kritiska fukthalten. När materialet sedan byggs in sker en långsam anpassning till omgivningen som är beroende av den initiala fukthalten i materialet, omgivningens relativa fuktighet samt tid.

2.2.4 Fuktläckage inifrån

Det finns två sätt som fukten kan ta sig ut i konstruktionen, diffusion och konvektion. Den förstnämnda inträffar när det finns skillnad i ånghalten mellan två utrymmen, t.ex. inomhus och utomhus. Eftersom ånghalten inomhus oftast är större så kommer fukten vilja vandra genom väggen, om ångspärr saknas kommer det samlas fukt inne i konstruktionen, vilket kan orsaka fukt- och mögelskador.

Konvektion innebär att fukt transporteras med strömmande luft genom tryckskillnader över klimatskalet, orsaker till att det uppkommer tryckskillnad är bland annat vind, ventilation, temperaturskillnader. Om totaltrycket är högre inomhus vill den fuktiga inomhusluften tränga igenom klimatskalet, och precis som vid diffusion kan detta skapa fukt- och mögelproblem om ångspärr saknas eller om den inte är tät.

2.3 Mögel och mikrobiell påväxt

Mikrobiell påväxt innebär att det växer någon form av mikroorganismer på fuktskadat byggnadsmaterial. Mikroorganismerna består ofta men inte alltid av bakterier, mögel, svamp, alger, röta och virus. Mögel och annan mikrobiell påväxt kan skada byggnadens konstruktion och ge upphov till olägenheter så som lukt, estetisk försämring och vissa mögelarter producerar gifter som i många fall kan påverka människors hälsa negativt.

Mikroorganismer sprids via luften, halten varierar med årstid och klimat. Genom luftutbyte med inomhusluften på olika sätt, t.ex. genom ventilation och vädring, kommer organismerna in i konstruktionen. Om förhållandena är gynnsamma i fråga om fukt, temperatur och varaktighet kan mikroorganismerna gro till mögelsvampar och en eventuell skada kan uppkomma.

Det finns många undersökningar där man har studerat materials benägenhet till att få mögel och mikrobiell tillväxt på sig. SP, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, fick av Boverket uppdraget att kontrollera och ge förslag på kritiskt fukttillstånd för olika material (Johansson, 2012). Slutsatsen från denna rapport är att det inte finns några exakta gränsvärden för att kunna bestämma det kritiska fukttillståndet för ett byggnadsmaterial, då det finns så pass många faktorer som spelar in. Faktorer som påverkar påväxt är temperatur, näringstillgång, fukt, årstid, varaktighet och klimat. SP sammanställde tidigare forskningsmaterial och gav förslag på kritiskt fukttillstånd för olika material;

Tabell 2.2: Kritiskt fuktillstånd för varierande materielgrupper.

Materialgrupp	Kritiskt fuktillstånd (% RF)
Trä och träbaserade material	75–80
Gipsskivor med pappytor	80–85
Mineralullsisolering	90–95
Cellplastisolering	90–95
Betong	90–95

Från tabell 2.2 kan det tydas så att byggnadsmaterial påverkas av mikrobiell påväxt vid olika stadier av kritiskt fuktillstånd. Trä är det känsligaste materialet där kritiska fuktillståndet ligger på 75–80 %. Angrepp kan komma snabbt om förutsättningarna är goda. Den data som ligger till grund för tabellen är baserade på prover som har utsatts för den aktuella fukthalten under en längre tidsperiod.

En studie gjord av Nils Hallenberg (Johansson m.fl, 2006) påvisar att trä kan uppvisa påväxt vid 75 % relativ fuktighet. Han provade träets motståndskraft mot mögelangrepp genom att låta 95 prover utsättas i diverse klimat och låta de bakterier som naturligt fanns på materialets yta gro. Utfallet blev följande (tabell 2.3);

Tabell 2.3: Antal träprover som uppvisar mikrobiell påväxt vid varierande RF.

Bedömning	Fuktnivå (RF)			
	65 %	75 %	85 %	95 %
Ingen	95	82	53	36
Sparsam	0	0	4	3
Medel	0	4	17	27
Riklig	0	9	21	29

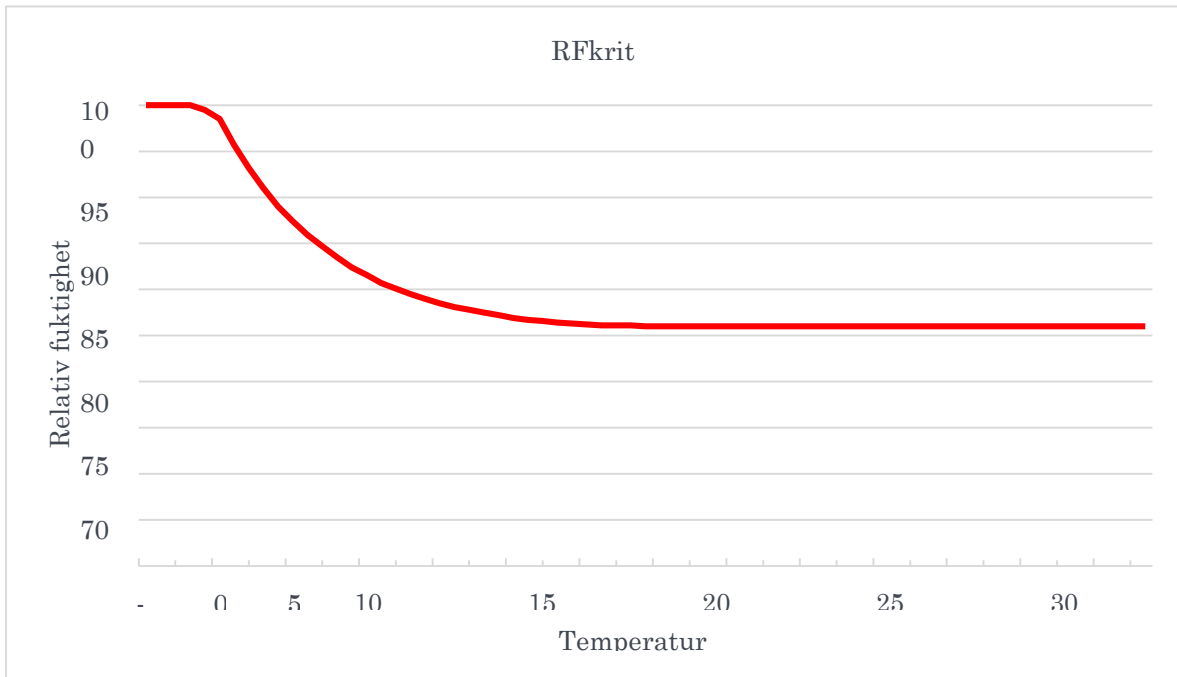
Studien visar en tydlig bild på att det kan ske mikrobiell påväxt vid 75 % RF, medan ingen tillväxt kunde konstateras vid 65 % RF.

Viitanen och Ritschoff (Johansson m.fl, 2005) utförde en studie där de undersökte motståndskraften hos gran och furu, som är vanliga konstruktionsmaterial, genom att utsätta dem för olika klimat och temperaturer. De kunde inte, efter ett år, konstatera några angrepp hos proverna vid 75 % RF. Vid 80 % RF fanns tendenser till angrepp, men hastigheten var långsam och inte särskilt omfattande.

SP har, med dessa studier och deras egen erfarenhet från många skadeutredningar, kunnat konstatera att kritiskt fuktillstånd för mikrobiell påväxt är ungefär 75 %, samma värde som BBR (6:52, 6:53) rekommenderar. Detta värde skall anges om det kritiska fuktillståndet inte är känt.

Definitionen av RF_{krit} lyder "Det kritiska fuktillståndet är en materialegenskap. Vid det kritiska fuktillståndet förändras materialets egenskaper drastiskt eller så sker det mikrobiell tillväxt på materialytan" (BBR 6.53). En låg temperatur tillåter en högre RF utan att det sker mikrobiell påväxt på konstruktionen. RF_{krit} är således temperaturberoende (Johansson P m.fl.

2005). Ett exempel på förhållandet mellan temperatur och relativ fuktighet presenteras i figuren nedan. Den röda linjen i figur 2.2 representerar RF_{krit} .

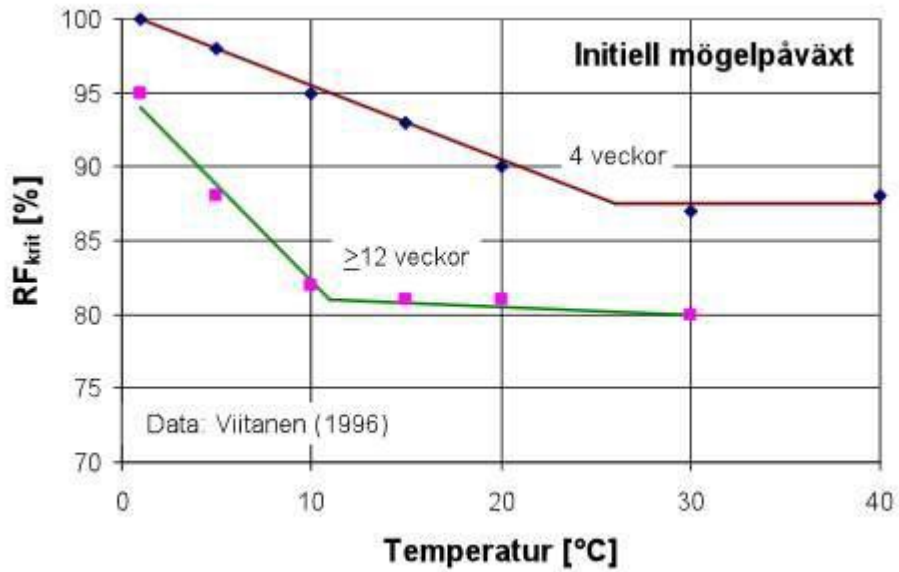


Figur 2.2: Kritisk fuktighet vid varierande temperatur. (Zedlbauer K, 2001)

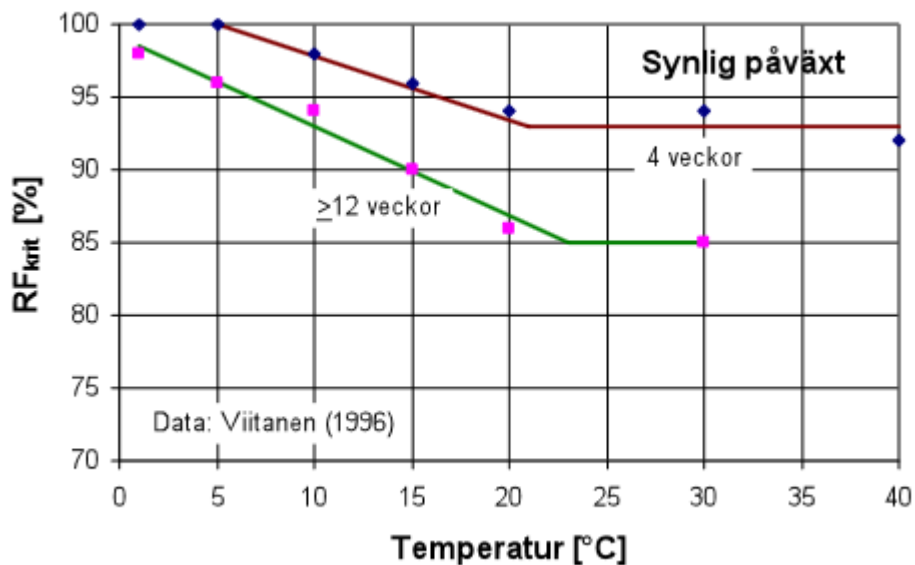
Trä utgör det känsligaste materialet, med det som grund kommer rapporten att bygga på just träkonstruktioner.

2.3.1 Mikrobiell påväxt på trä då RF överskrider RF_{krit}

En metod att analysera om mögelpåväxt kommer uppstå är att studera tiden då RF överskrider RF_{krit} . En studie (Viitanen, 1996) som visar mögelpåväxten i relation till tid på trä kan studeras i figur 2.3 och 2.4.



Figur 2.3: Kritiskt fukttillstånd för "initial" mögelpåväxt på trä vid olika temperaturnivåer och varaktigheter (Nilsson L-O, 2009).



Figur 2.4: Kritiska fukttillstånd för "synlig" mögelpåväxt på trä vid olika temperaturnivåer och varaktigheter (Nilsson L-O, 2009).

2.4 MRD – Mould Resistance Design

En viktig parameter som avgör om det kommer ske mikrobiell påväxt eller inte är varaktigheten i exponeringen vilket påpekas av BBR:

“Faktorer med betydelse för den biologiska tillväxten, t.ex. temperatur och varaktighet samt deras samverkan kan ingå i bestämningen av kritiskt fukttillstånd”

(BBR 6:511)

För att ge en tydligare bild över sambandet mellan temperatur, relativ fuktighet och varaktighet har en ny matematisk utvärderingsmodell skapats, MRD - Mould Resistance Design. Modellens uppbyggnad grundar sig i att man för en given klimatexponering beräknar en dos $D(t)$ som varierar med tiden. Tidsupplösningen det tittas på är 12-timmarsperioder där medelvärdet av den relativa fuktigheten och temperaturen används. MRD-modellen är användbar för utvärdering av eventuella fuktskador då den fungerar i cykliska förlopp i motsats till t.ex. WUFI Bio. Dosen ökar fortare om exponeringsförhållandena är mer gynnsamma för mikrobiell påväxt än referensklimatet, om klimatet däremot är ogynnsamt ökar dosen långsammare eller sjunker. Detta betyder att man kan titta på en godtyckligt lång period.

$D(t)$ definieras av $(\phi(t), T(t))$ där:

- ϕ är relativa fuktigheten
- T är temperaturen
- t är tiden

För att mikrobiell påväxt inte skall ske gäller det att:

$$D(t) < D_{crit}$$

D_{crit} är den kritiska dosen som är materialberoende. För att kunna ta fram ett värde för D_{crit} krävs det att man definierar referensvärden för RF (ϕ_{ref}) och temperatur (T_{ref}). I denna rapport kommer referensvärdena att vara (Thelandersson, Isaksson, 2013):

- $\phi_{ref} = 90 \%$
- $T_{ref} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- För (ϕ_{ref}, T_{ref}) gäller $D_{crit, ref} = 20$ dagar

För att tolka resultatet: I referensklimatet tar det 20 dagar innan materialet uppvisar mikrobiell påväxt. Som referensmaterial i denna rapport för bestämning av D_{crit} används hyvlad gran som är ett vanligt konstruktionsmaterial i Sverige. Det finns ett samband för att räkna om D_{crit} till andra material, men den nämns inte i denna rapport då det fortsättningsvis kommer antas att väggsystemens trämaterial är av hyvlad gran.

Likt en konstruktörs tillvägagångssätt när laster ska bestämmas har Thelandersson, Isaksson och Niklewski föreslagit en "säkerhetsfaktor" som skall divideras med D_{crit} vid dimensionering (Thelandersson mfl, 2013);

$$D_{crit, d} = D_{crit} / \gamma_s \text{ där } \gamma_s = 1,20$$

Enligt författarna är detta ingen etablerad princip, utan det är ett resultat av diskussioner som har lett fram till att D_{crit} ska sänkas med 20 %. Med detta i åtanke kan man nu räkna fram $D_{crit, d}$ för hyvlad gran:

$$D_{crit, d} = D_{crit} / \gamma_s \Rightarrow 20 / 1,20 = 16,67 \approx 17 \text{ dagar}$$

För att modellen ska bli användbar måste ekvation (1) skrivas om;

$$IMRD(t) = D(t) / D_{crit, d} < 1$$

Där $IMRD$ benämns som MRD-index och är en funktion av tiden t , ekvationen är enhetslös. Om värdet på ekvationen överstiger 1 innebär det att det rådande klimatet överstiger referensklimatet och spår av mikrobiell påväxt kan upptäckas.

MRD-indexet avläses enligt tabell 2.4;

Tabell 2.4: Mikrobiell påväxt på grund av MRD-dosen.

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

2.5 Tidigare forskning om fuktsäkra konstruktioner

2.5.1 Fuktsäkra träkonstruktioner

Det finns en del studier som behandlar området sedan tidigare. Denna rapport bygger vidare på "Fuktsäkra träkonstruktioner", skriven av Olof Mundt- Petersen (2012). Författaren har på uppdrag av Vinnova tagit fram generella riktlinjer på hur fuktsäkra konstruktioner kan byggas. Arbetet är genomfört med hjälp av simuleringsprogrammet WUFI. Resultaten som presenterades bygger på nutida klimatdata som WUFI tillhandahåller.

WUFIs klimatfiler representera ett normalår för respektive kommuns klimat. För att få fram ett normalår har utvecklarna tagit ett år där inga större skillnader i klimatet skedde, det var ingen extrem nederbörd i form av snö eller regn, det var ingen storm eller motsvarande som påverkade klimatet signifikant.

De förutsättningar som författaren rekommenderar för att bygga fuktsäkra ytterväggar i trä presenteras kortfattat nedan:

- Konstruktionen skall vara försedd med en tvåstegstätad fasad.
- Byggnaden skall uppföras på ett sådant sätt att trä och andra fuktkänsliga material inte utsätts för fritt vatten från nederbörd eller på annat sätt samt är torrt vid leverans.
- Fuktkänsliga material får inte komma i kontakt med fuktiga material.
- Då längre regnfria perioder inte kan garanteras i Sverige så skall lösvirkeshus byggas under väderskydd för att undvika mögelskador.
- Material, så som trä skall vara fria från smuts för att undvika mögeltillväxt i organiskt material som finns i smutsen.
- Inverkan av slagregn skall beaktas för att säkerställa att konstruktionen inte skadas av vatten som tränger igenom fasaden.
- Ångspärren i byggnadens klimatskal skall vara helt tät och skador samt fuktläckage vid installationer och genomföringar får inte förekomma.
- Fukttillskottet inomhus skall minimeras samt innetemperaturen skall vara så pass hög att nivåer över RF_{krit} inte uppstår i material på insidan av ångspärren.
- Flödet i luftspalten bakom fasadskiktet skall vara högt och motsvara minst 30 oms/h för att säkerställa att fukt som tränger in genom fasaden eller byggfukt inifrån väggen kan ventileras ut.
- Luftspalten bakom en träfasad skall vara välventilerad. Det förutsätter en spaltbredd om minst 25 mm samt utformad med stående eller väl perforerade läkt.

- Åtgärder skall vidtas för att säkerställa ett högt flöde i luftspalten vid högisolerade konstruktioner eftersom dessa löper större risk att skadas om luftspalten inte är tillräckligt ventilerad.
- Utsidan av träreglar eller annat organiskt material i de yttre delarna av konstruktionen ska skyddas. Detta görs förslagsvis med en fasadisolering som placeras mellan träregelstommen och vindduken.

3 WUFI INTRODUKTION OCH INDATA

WUFI är ett simuleringsprogram som används till avancerade fukt- och värmeberäkningar i byggnadsdelar och konstruktioner. Programmet är tyskt och utvecklades vid Fraunhofer IBP (Institute for Building Physics).

Beräkningarna i detta arbete är gjorda med WUFI Pro 5.3 vilket är ett endimensionellt verktyg som gör beräkningar vid icke-stationära förhållanden. Detta ger möjligheten att se den relativa fuktighetens variation i byggnadsdelarna under längre perioder med varierande klimat. Programmets parametrar presenteras nedan.

3.1 Parametrar i WUFI

Här presenteras förutsättningar och värden som används som indata till WUFI Pro 5.3. Parametrarna är tagna ur Mundt-Petersens rapport ”Fuktsäkra träkonstruktioner).

- Väderstreck - Söder. Eftersom det är den mest kritiska orienteringen i Göteborg när det tas med slagregn i beräkningarna (Nik V, Mundt- Petersen, 2015).
- Lutning på väg - 90 grader.
- Byggnadens höjd - Upp till 10 meter. Då trähus inte förväntas överstiga 10 meter.
- Regnbelastning - $R_1=0$; $R_2=0,7$ s/m. Detta redogör för hur mycket regn som träffar fasaden.
- Värmeövergångsmotstånd yttre yta - $0,0588 \text{ m}^2/\text{W}$. WUFI:s standardvärde ligger relativt nära det svenska värdet på R_{se} som är 0,04.
- Sd-värde på utvändig yta är satt till 0 m, vilket motsvarar en obehandlad fasad. Absorptionstal för kortvågig strålning mot utvändig yta är satt till 0,67. Detta motsvarar röd färg.
- Emissionstal för långvågig strålning - 0,9.
- Explicit strålningsbalans är påslagen.
- Absorptionstal för regnvatten - 0,7.
- Värmemotstånd inre yta - $0,125 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$. Det svenska värdet på $R_{si}=0,13 \text{ m}^2/\text{W}$.
- Sd-värde invändig yta - 0 m.
- Begynnelsepertaturen i byggnaden är satt till 20 C.
- I inomhusklimatet används EN13788 fuktklass 2 vilket motsvarar ett fukttillskott på $4\text{g}/\text{m}^3$ under vinterperioden. Detta är ett högt fukttillskott, motiveringen grundas i att det är samma parameter som i Mundt-Petersens rapport.
- Numeriska parametrar enligt WUFI:s standardinställningar.
- I Mundt-Petersens rapport används 5-årsperioder vid simuleringar för att sedan redovisa det sista årets resultat för vidare analys. Syftet med detta var att slippa begynnelsevillkor i form av t.ex. byggfukt. I kommande beräkningar kommer 30-årsperioder förekomma för att få ett säkrare resultat.

3.2 Väggsystemen

Kraven för energianvändning ökar hela tiden (BBR, 2015). För att möta BBR:s krav måste andelen isolering öka i konstruktionerna. Men med ökad isolertjocklek kommer också fukt- och mögelproblem då en större del av konstruktionen hamnar i ett kallare klimat (Berggren, Wall, 2012), detta kan leda till ett högre RF vilket i sig kan leda till fuktproblem. Det finns oerhört många olika väggsystem av trä att tillgå när det byggs nytt och renoveras, men det blir vanligare med system där det yttersta lagret innan luftspalten består av en fasadskiva med inbyggd vindskydd. Det har, enligt studier, bevisats att denna fasadskiva förbättrar det fuktkritiska

klimatet på utsidan av den bärande stommen då fasadskivan värmer upp och skapar ett varmare klimat för träet (Mundt-Petersen, 2012).

För att begränsa antalet simuleringar i denna rapport så har två väggsystem undersökts. Dessa två väggsystem benämns som V1 och V2.

3.2.1 Väggsystem 1

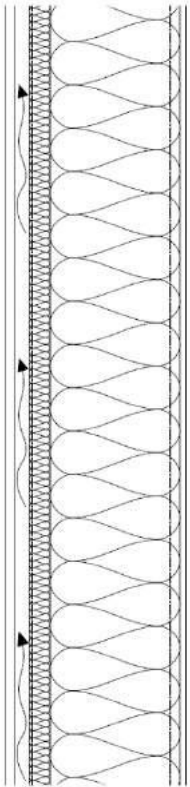
Detta är ett system med en tvåstegstätad fasad, det innebär att regnskydd och vindskydd är åtskilda i konstruktionen. Fasadskivan är 45 mm bred och den totala isolertjockleken är 320 mm, se figur 3.1.

3.2.2 Väggsystem 2

Detta väggsystem motsvarar en vägg i ett passivhus byggt av trä. Skillnaden mellan detta väggsystem och V1 är att måtten är verklighetsanpassade, det vill säga att måtten som anges på följande ritningar finns att tillgå hos byggvaruhandeln. Det har även lagts till ett installationskikt med indragen ångspärr för att bättre visa en "verklig" vägg.

Fördelen med en indragen ångspärr är att man skyddar den från skada av invändiga monteringar. Det påskyndar även uttorkningen av byggfukt då mängden byggfukt på utsidan av ångspärren minskar samtidigt som fukten får en kortare väg att torka ut. Detta gäller både ut- och insida. Detta gäller enbart om det inte finns en tät ytbehandling på insidan i t.ex. våtrumsutrymmen.

Fasadskivan är 80 mm bred och den totala isolertjockleken är 370 mm, se figur 3.2.

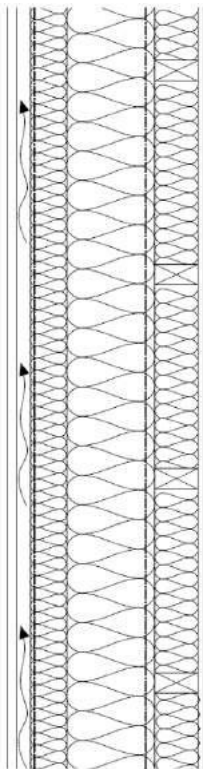


Väggsystem 1

Vägg från utsida:

22 mm	Panel av gran
30 mm	Luftspalt/glespanel
	Vindduk
45 mm	Fasadskiva av mineralull
275 mm	Mineralull inkl. 275x45 vertikala väggreglar.
	Ångspärr
13 mm	Gipsskiva

Figur 3.1: Uppbyggnad av V1



Väggsystem 2

Vägg från utsida:

22 mm	Panel av gran
28 mm	Luftspalt/glespanel
	Vindduk
80 mm	Fasadskiva av mineralull
195 mm	Mineralull inkl. 45x195 vertikala väggreglar.
	Ångspärr
95 mm	Mineralull inkl. horisontella väggreglar
13 mm	Gipsskiva

Figur 3.2: Uppbyggnad av V2

3.3 Systemuppbyggnad i WUFI

Väggsystemen som studeras byggs upp i WUFI. I detta kapitel redovisas konstruktionernas material, placering av fukt/värmekällor samt monitorpositioner. Uppbyggnad för väggsystem 1 redovisas i figur 3.3 respektive figur 3.4 för väggsystem 2.

Monitorpositioner placeras manuellt vid de punkter som önskas studera. Den monitorposition som analyseras i rapporten kallas ”*Monitorposition 1*” och är markerad i figurerna 3.3 och 3.4. Placeringen av monitorn är mellan fasadskiva och stomme. Placeringen görs här då det är den mest kritiska positionen i väggen relaterat till fuktproblematik (Mundt-Petersen, 2012).

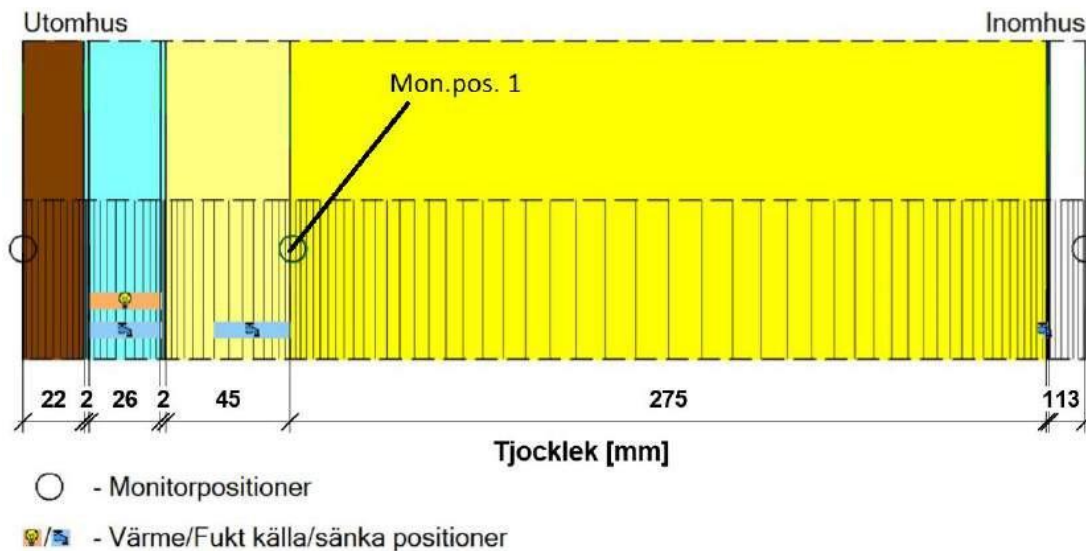
Fukt- och värmekällor används vid de olika simuleringarna. För varje period, 1961–1990, 2021–2050, 2071–2100 samt klimatfilerna IPSL och CNRM, görs simuleringar med samma fuktkällor. Dessa simuleringar kallas genom arbetet för *basfall*. Även ett antal parameterstudier görs då fukt/värmekällor ändrats. Placering av källor redovisas i figurerna 3.3 och 3.4. Källornas information redovisas i tabell 3.1.

Tabell 3.1 Information gällande fukt- och värmekällor.

Fukt/värmekällor			
Placering. Från vänster till höger i figur 3–3 och 3–4:	Luftspalt	Inre halva av fasadskiva	Mellan isolering och ångspärr mot utsida
Typ av källa:	Omsättning i luftspalt	Slagregn	Läckage inifrån
Mängd/storlek basfall:	30 oms/h	1 % av slagregn tränger in i konstruktion	0
Parameters. fuktläckage inifrån:	30 oms/h	1 %	1 671,4 g/år*m ² CNRM 1 803,6 g/år*m ² IPSL
Parameters. ändrad omsättning:	5 oms/h	1 %	0
Parameters. Ökad abs. av slagregn:	30 oms/h	3 %	0

3.3.1 Väggsystem 1

Uppbyggnad av väggsystem 1 samt fukt/värme-källor och monitorplacering kan ses i figur 3.3.



Figur 3.3: Uppbyggnad av väggsystem 1 i WUFI samt placering av monitor och fukt/värmekällor.

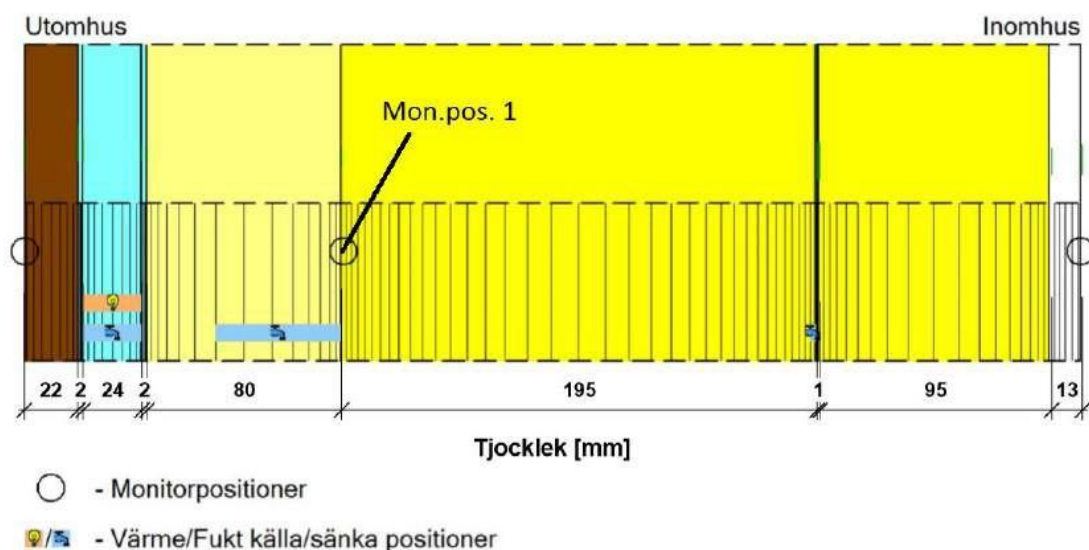
Väggens material är hämtade direkt från materialdatabasen i WUFI Pro 5.3 och redovisas i tabell 3.2. I appendix B hittas materialegenskaperna för respektive material.

Tabell 3.2: Material för väggsystem 1. Materialen är hämtade från WUFI:s databas.

Byggnadsdel	Tjocklek	Materialnamn i WUFI
Fasad	22 mm	Gran, tangentiellt
Luftspalt 1	2 mm	Air Layer 30 mm
Luftspalt 2	26 mm	Air Layer 30 mm; without additional moisture capacity
Luftspalt 3	2 mm	Air Layer 30 mm
Fasadskiva	45 mm	ISOVER GW Integra ZKF – 032
Isolering	275 mm	Mineral Wool (heat cond.; 0,04 W/mK)
Ångspärr	1 mm	Vapour barrier (sd=1500m)
Invändigt ytskikt	13 mm	Gipsskiva invändig (obehandlad)

3.3.2 Väggsystem 2

Uppbyggnad av väggsystem 1 samt fukt/värme-källor och monitorplacering kan ses i figur 3.4.



Figur 3.4: Uppbyggnad av väggsystem 2 i WUFI samt placering av monitor och fukt/värmekällor.

Väggens material är hämtade direkt från materialdatabasen i WUFI Pro 5.3 och redovisas i tabell 3.3. I appendix B hittas materialegenskaperna för respektive material.

Tabell 3.3: Material för väggsystem 2. Materialen är hämtade från WUFI:s databas.

Byggnadsdel	Tjocklek	Materialnamn i WUFI
Fasad	22 mm	Gran, tangentiellt
Luftspalt 1	2 mm	Air Layer 30 mm
Luftspalt 2	26 mm	Air Layer 30 mm; without additional moisture capacity
Luftspalt 3	2 mm	Air Layer 30 mm
Fasadskiva	80 mm	ISOVER GW Integra ZKF – 032
Isolering	195 mm	Mineral Wool (heat cond.; 0,04 W/mK)
Ångspärr	1 mm	Vapour barrier (sd=1500m)
Isolering	95 mm	ISOVER GW Integra ZKF – 032
Invändigt ytskikt	13 mm	Gipsskiva invändig (obehandlad)

3.4 Klimatdata

Den klimatdata som används är av två modeller, RCA3-CNRM och RCA3-IPSL. Modellerna sträcker sig över tre stycken 30 års perioder, 1961-1990, 2021-2050, 2071-2100. För att få ett så trovärdigt resultat som möjligt används 30 års-perioder istället för kortare intervaller. Detta för att undvika att extrema år i relation till exempelvis höga temperaturer eller nederbörd, gör en för stor inverkan på slutresultatet. Klimatdatan har tagits fram av Vahid Nik. Metoderna är mer detaljerat beskrivna i Nik (2012)

I detta arbete används regionala klimatmodeller (RCM) som är nerskalade versioner av globala klimatmodeller (GCM). Regionala klimatmodeller tar hänsyn till regionens topografi, närhet till havet samt fler aspekter. Regionen som klimatdatan är baserad på är Göteborg med en radie på 50 km.

RCM-modellerna är framtagna av The Rossby Centre, SMHI's climate modelling research unit och kallas RCA3.

Klimatdatan är baserad på de globala klimatmodellerna IPSL och CNRM. Globala klimatmodeller innehåller parametrar som beskriver atmosfärens och havets förändringar samt interaktionen däremellan med mera.

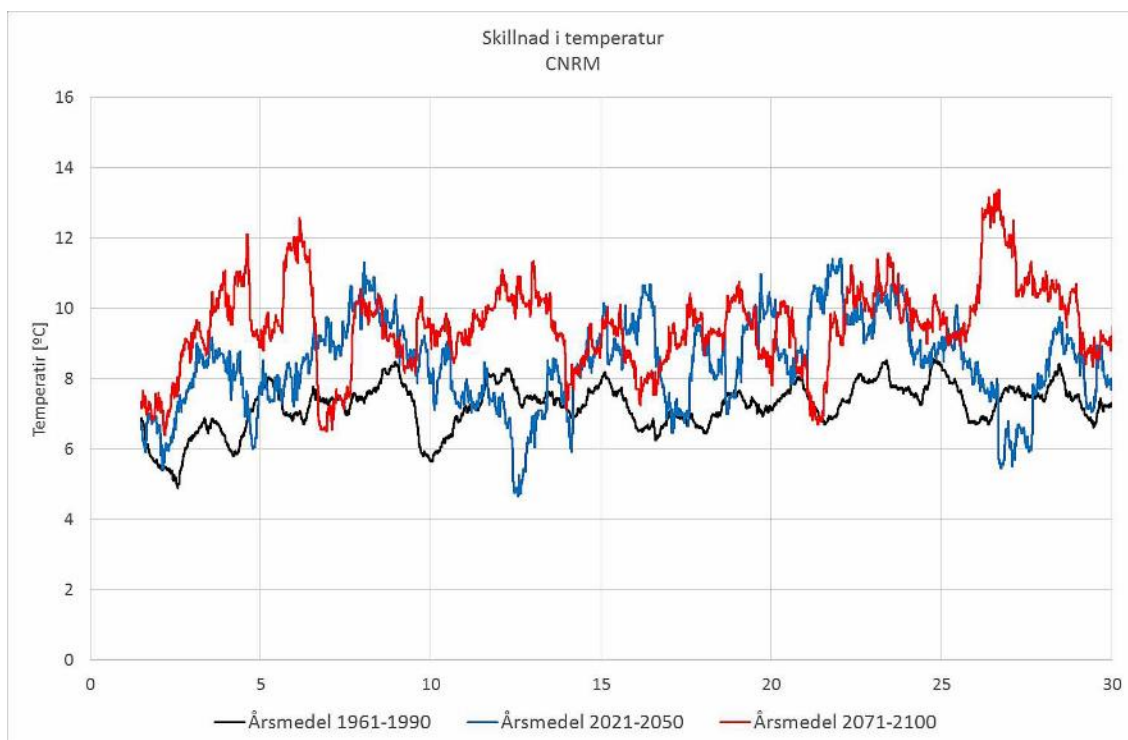
CNRM-modellen är utvecklad hos CERFACS (Toulouse, Frankrike) och har sedan regelbundet uppdaterats vid Center National Weather Research (CNRM, METEO-FRANCE, Toulouse).

IPSL-modellen, "Earth system model" är framtagen av det franska institutet Institut Pierre Simon Laplace (IPSL) vilket är ett statligt finansierat forskningscentrum som ägnar sig åt forskning inom klimatsystem och den globala miljön.

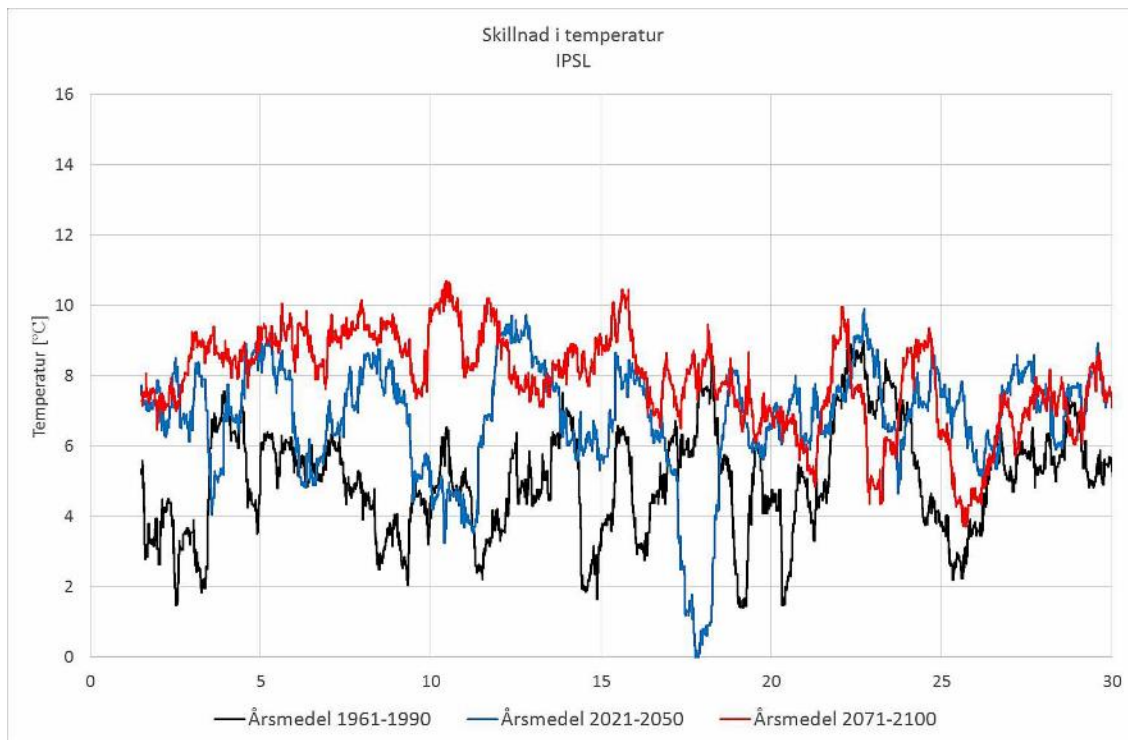
Modellen och har successivt utvecklats sedan 1995.

Rapporten delas upp med studier/resultat från varje klimatfil samt de olika tidsintervallerna. Klimatfilerna namnges genom rapporten som CNRM och IPSL istället för RCA3-CNRM och RCA3-IPSL.

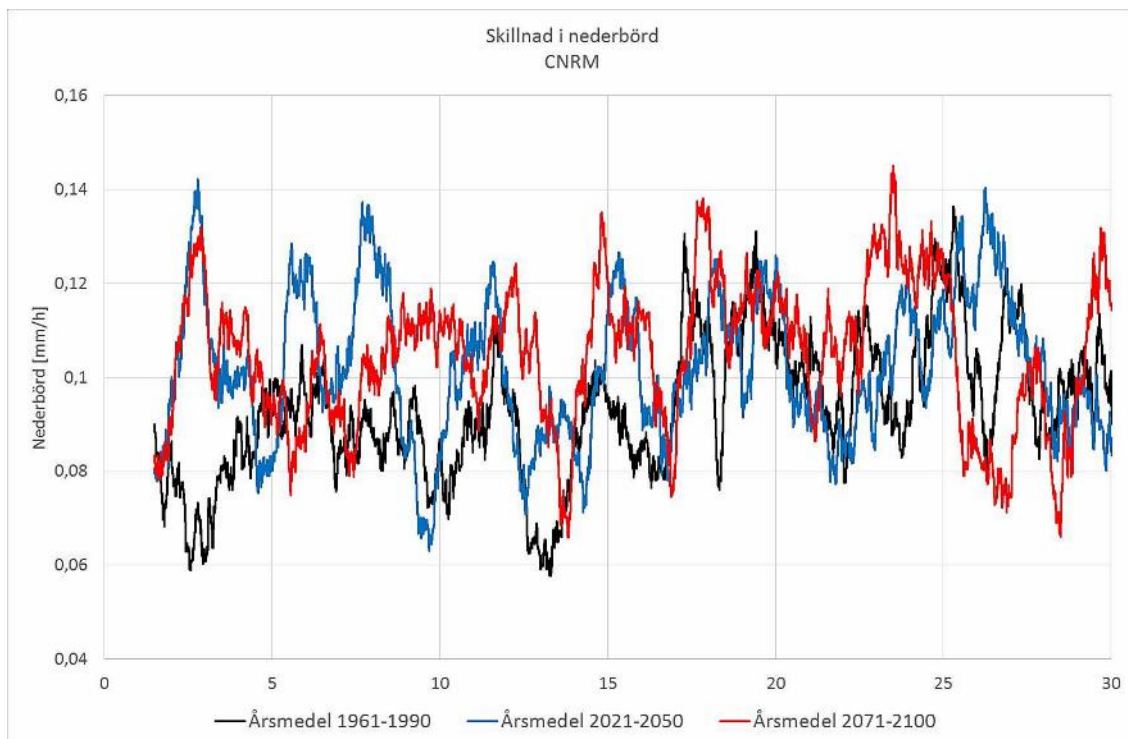
Skillnader mellan de tre 30 års-perioderna och klimatfilerna redovisas i diagram. Kurvorna i diagrammen är glidande medelårs-värden. Diagram 3.1 och 3.2 visar skillnad i temperatur. Diagram 3.3 och 3.4 visar skillnad i nederbörd. Diagram 3.5 och 3.6 visar skillnad i RF. Diagram 3.7 och 3.8 visar skillnad i vindhastighet.



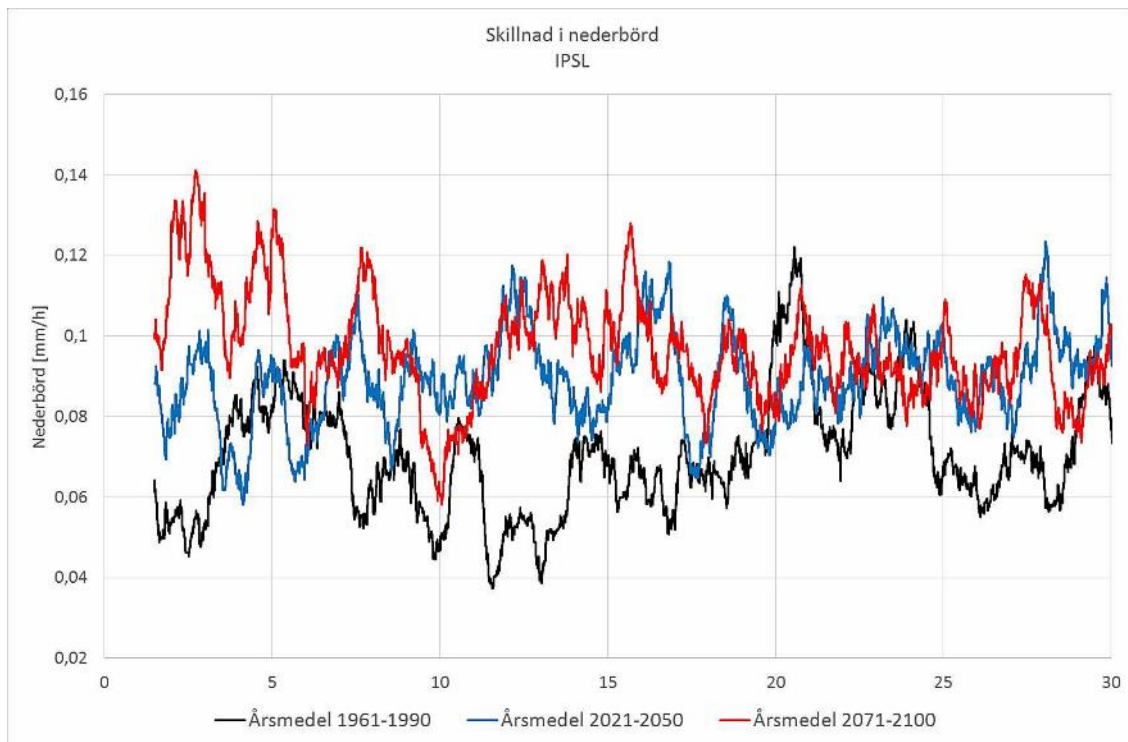
Figur 3.5: Skillnad i årsmedeltemperatur för klimatfil CNRM.



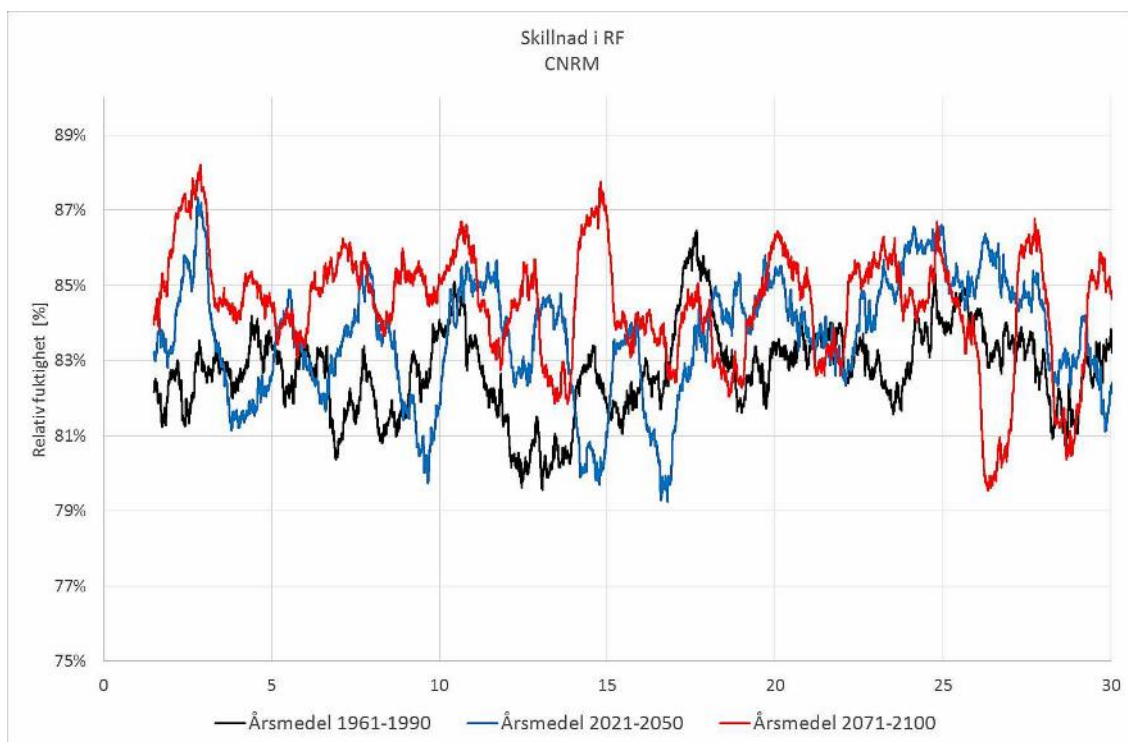
Figur 3.6: Skillnad i årsmedeltemperatur för klimatfil IPSL.



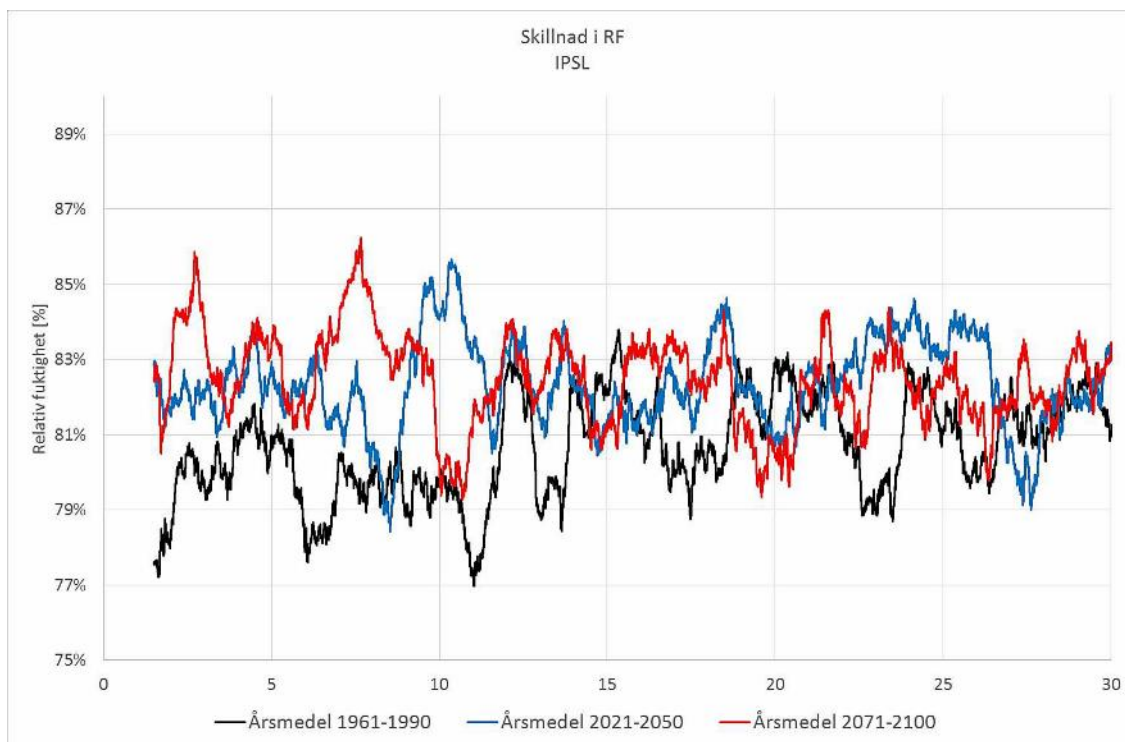
Figur 3.7: Skillnad i årsmedelnederbörd för klimatfil CNRM.



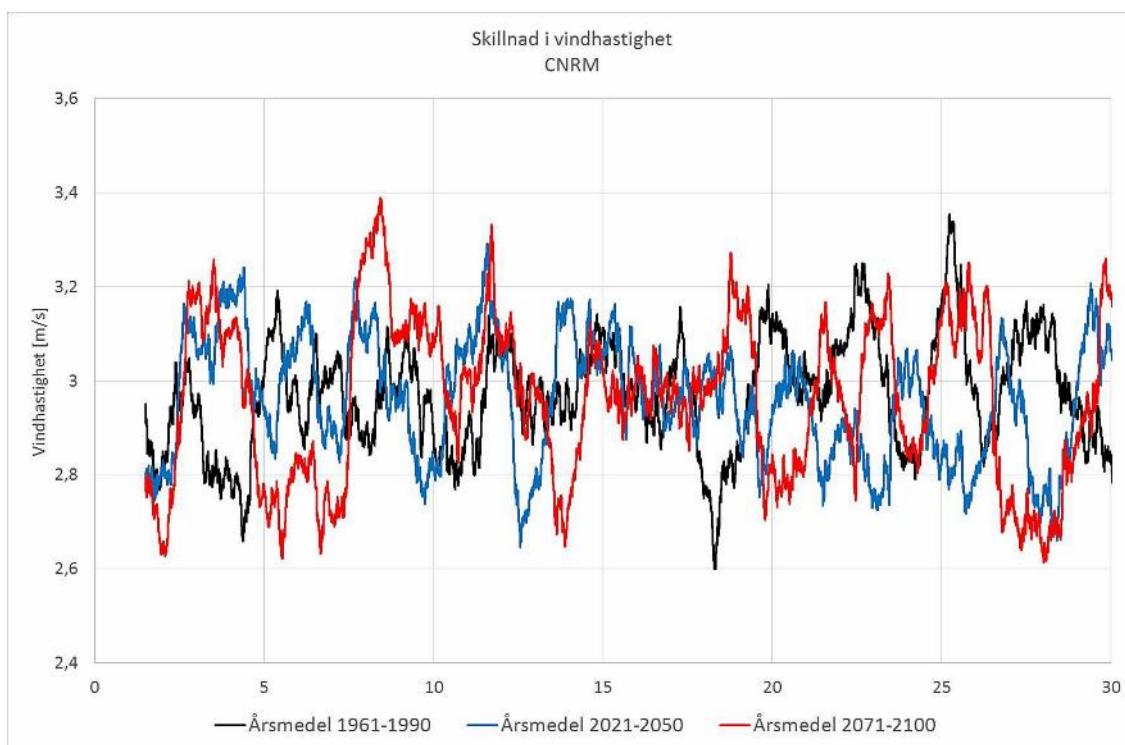
Figur 3.8: Skillnad i årsmedelnederbörd för klimatfil IPSL.



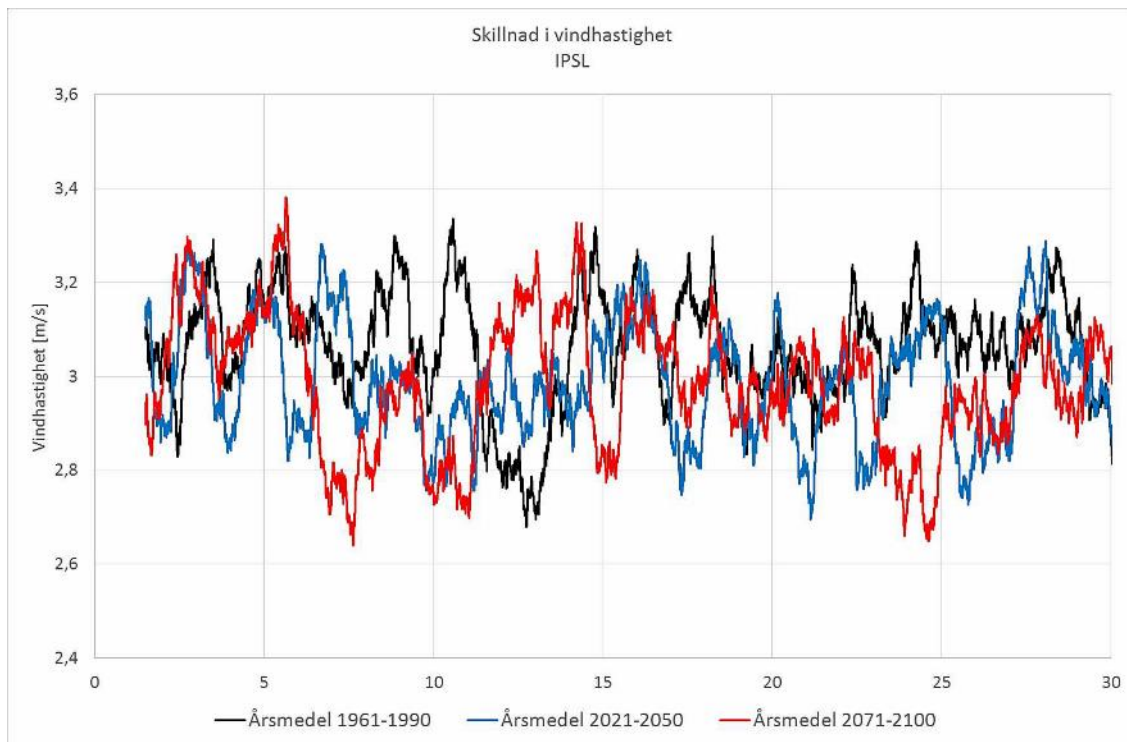
Figur 3.9: Skillnad årsmedel, relativ fuktighet, för klimatfil CNRM.



Figur 3.10: Skillnad i årsmedel, relativ, fuktighet, för klimatfil IPSL.



Figur 3.11: Skillnad i årsmedel, vindhastighet, för klimatfil CNRM.



Figur 3.12: Skillnad i årsmedel, vindhastighet, för klimatfil IPSL.

I regel observeras att medelvärdet samt extremvärden för temperatur och nederbörd är högre/större bland de senare tidsperioderna. Relativa fuktigheten stiger marginellt medan vindhastigheten i stort sätt är oförändrad.

En jämförelse mellan klimatfilerna perioden 2071–2100 visar att medeltemperaturen för CNRM är betydligt högre än IPSL. Analyserar vi årsmedelnederbörden för hela perioden 2071–2100 ligger CNRM över IPSL. Jämförs relativa fuktigheten för samma perioder ligger medelvärdet för alla trettio år på 84,4 % för CNRM och 82,5 % för IPSL. Skillnaden i vindhastighet är i princip densamma. Simuleringarna visar att klimatet för CNRM ger störst risk för fuktskador, och är således värst av de två.

4 BERÄKNINGAR OCH RESULTAT

4.1 Genomförda beräkningar

Nedan följer en tabell (4.1) över vilka simuleringar som har utförts. Det som är gråmarkerat har simulerats.

Motivering till varför samtliga fall inte är simulerade utan är spridda över tidperioderna är att varje simulering med efterbehandling är väldigt tidskrävande. Anledningen till att parameterstudien ”Ändrad omsättning i luftspalten” är simulerad under perioden 2021–2050 är slumpbaserad.

Tabell 4.1: Genomförda simuleringar

Period	1961–1990				2021–2050				2071–2100			
	CNRM		IPSL		CNRM		IPSL		CNRM		IPSL	
Väggsystem	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2
Basfall												
Läckage inifrån												
Ändrad oms.												
Abs. av slagregn												
Nordfasad												
Var. tjocklek på fasadiso.												

- Basfallet - Består av parametrarna som beskrivs i kapitel 3.1. Här läggs det inte in någon extra extern fuktkälla.
- Fuktläckage inifrån - En extra fuktkälla placeras precis innanför fuktspärren för att simulera fel vid montering eller en eventuell reva i plasten.
- Ändrad oms - I basfallet simuleras en omsättning i luftspalten på 30 oms/h. I detta fall sänks omsättningen i spalten till 5 oms/h.
- Inläckage av slagregn - I basfallet tränger 1 % av slagregnet in till utsida stomme. I detta fall tränger 3 % in till stommen.
- Nordfasad – Denna simulering kommer bekräfta om det är sydfasaden som är dimensionerande i Göteborg.
- Varierande tjocklek på fasadisoleringen – Vid detta fall ökades fasadisoleringen för V1 för att kontrollera om det finns ett samband mellan andel fasadisolering och total isolertjocklek.

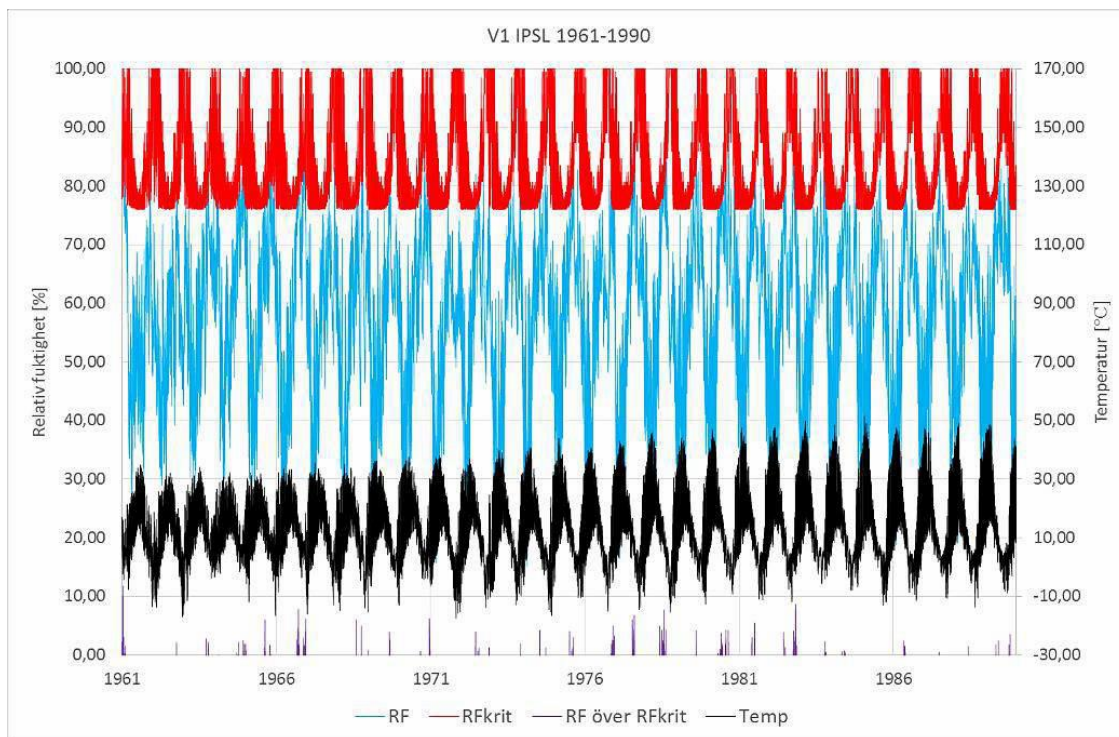
4.2 Redovisning

Resultatdelen redovisas med hjälp av tre diagram. Folos-diagrammet, MRD- diagram samt ett diagram som beskriver den längsta perioden, under de 30 år som simuleras, då RF överstiger RF_{krit} .

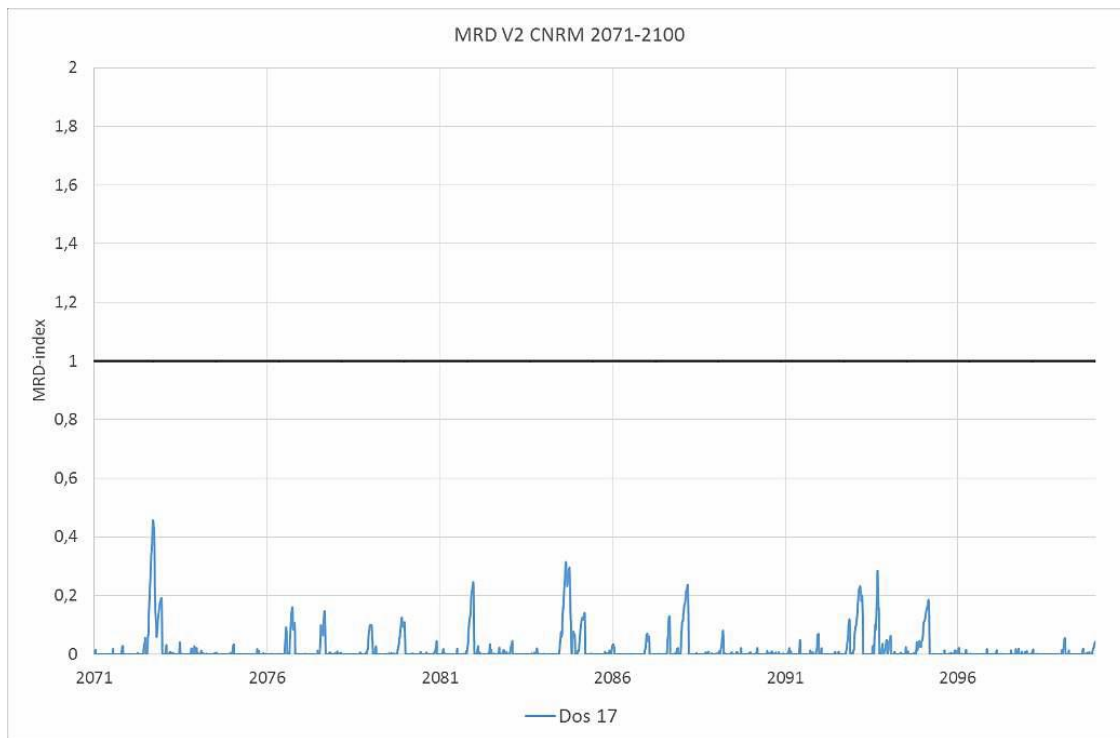
Folos-diagrammet visar om konstruktionen kommer att utsättas för någon period där den relativa fuktigheten överstiger den kritiska fuktigheten. Ett kriterium för att fortsätta tillverka de andra diagrammen är att det ger utslag i folos-diagrammet. Om det skulle uppenbara sig att det inte sker, då finns det ingen anledning för fortsatt analys då det påvisar att konstruktionen är tillräckligt motståndskraftig. Se figur 4.1.

MRD-diagrammet visar om det kommer att bli problem med mikrobiell påväxt. Om MRD-dosen överstiger indexvärdet 1 kommer det enligt modellen att finnas spår av påväxt på trädets yta (se kapitel 2.4). Se figur 4.2.

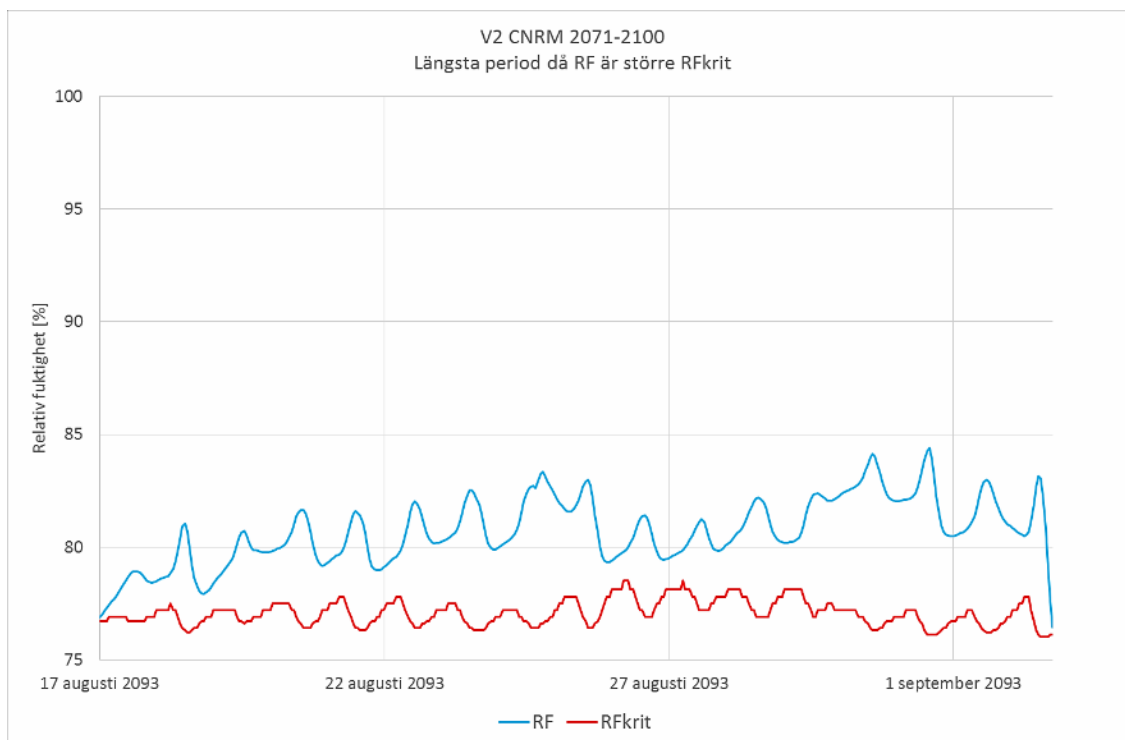
När man arbetar med klimatfiler som sträcker sig över 30 år så är det svårt, om inte omöjligt, att läsa av varaktigheten i folos-diagrammet. Därför har ytterligare ett diagram skapats som är en förstoring av folos-diagrammet där den längsta perioden under de 30 åren då RF överstiger RF_{krit} presenteras. Se figur 4.3.



Figur 4.1: Exempel av folos-diagram.



Figur 4.2: Exempel av MRD-diagram.

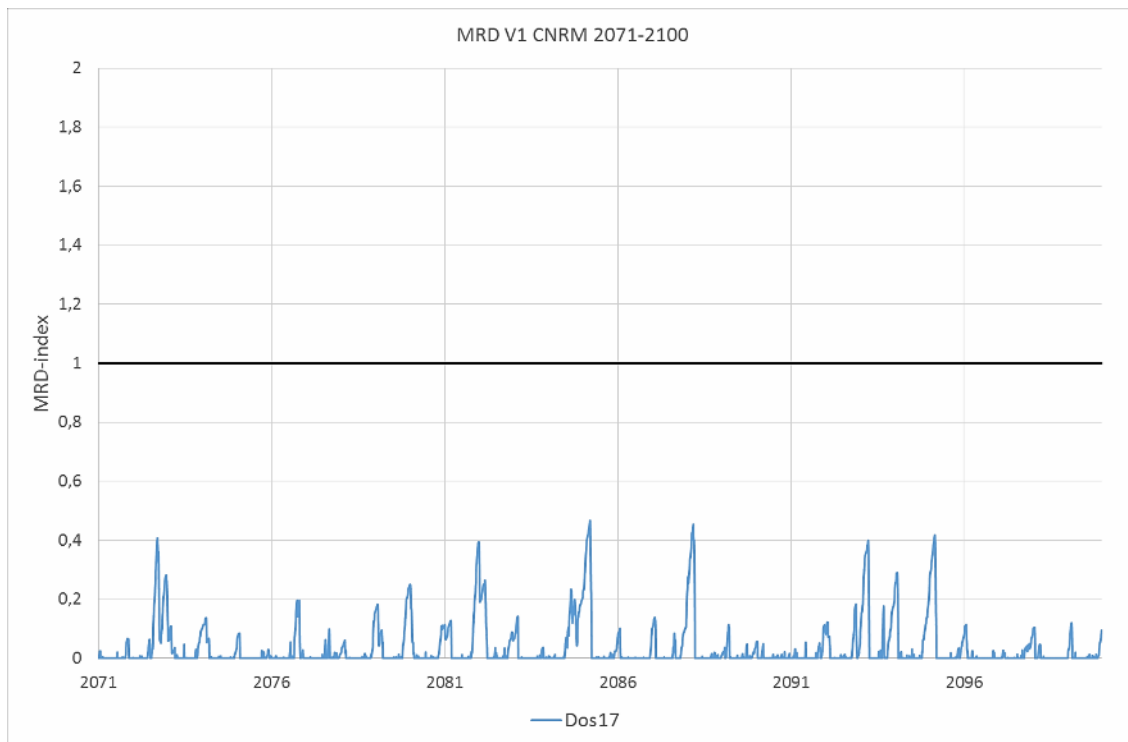


Figur 4.3: Exempel på ett diagram som visar den längsta period då RF överstiger RFkrit.

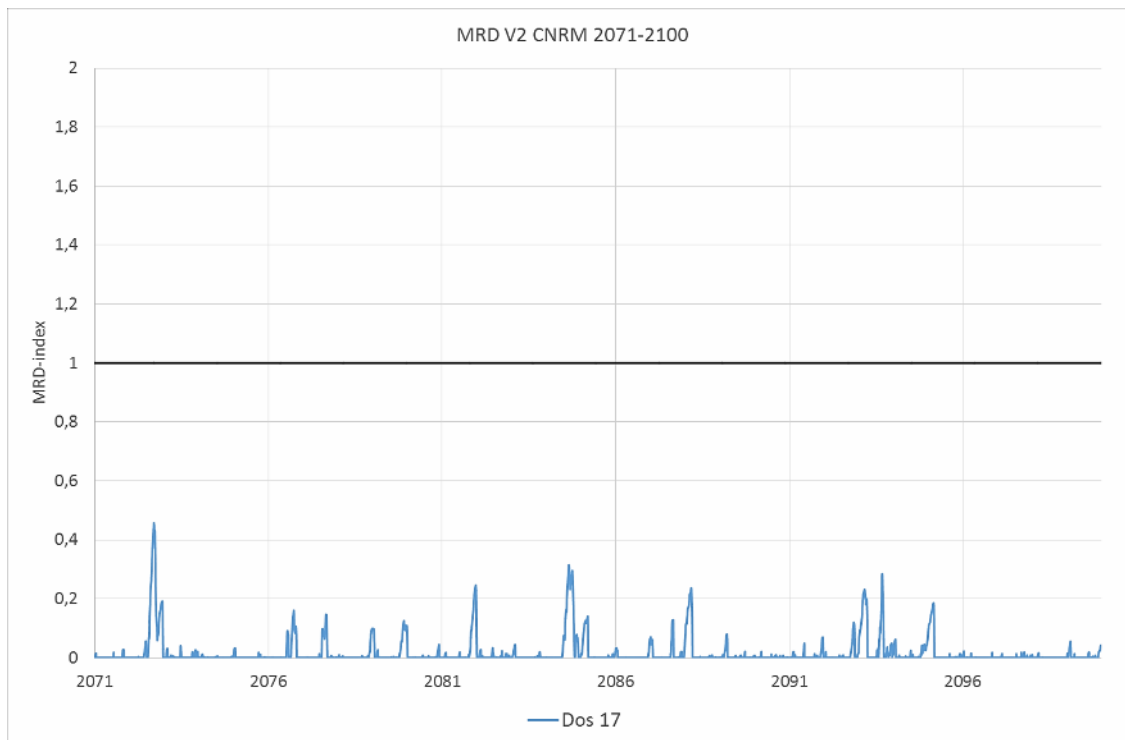
5 BASFALLEN

De första simuleringarna i rapporten bestod av basfallen. I detta fall användes de parametrar som beskrivs i kapitel 3.1 utan förändringar.

Ingen av basfallen uppvisade tendens till mikrobiell påväxt under någon av klimatfilerna enligt MRD-modellen. Dock så kunde det avläsas att MRD-dosen ökar något mellan varje 30-årsperiod, det gäller för både IPSL och CNRM. I figur 5.1 och 5.2 visas de värsta MRD värdena för respektive väggsystem, för mer detaljerade data se Appendix A.



Figur 5.1: MRD-index (0–2) för väggsystem 1 period 2071–2100 med klimat CNRM.



Figur 5.2: MRD-index (0–2) för väggsystem 1 period 2071–2100 med klimat CNMR

6 PARAMETERSTUDIE – FUKTLÄCKAGE INIFRÅN

Att montera ångspärren perfekt är inte lätt, det är svårt för hantverkaren att få ett helt tätt klimatskal vid öppningar i konstruktionen och det föreligger en risk att det blir en reva i ångspärren. Det har blivit vanligare att använda lösull vid nyproduktion och det förutsätts att ångspärren är monterad innan man sprutar in isoleringen. För att kunna åstadkomma detta måste hantverkaren ta många hål genom ångspärren för att sedan montera en åldersbeständig tejp för att täcka hålen, vilket kan skapa otätheter i klimatskalet.

För att studera hur inomhusklimatet påverkar konstruktionen vid ett eventuellt läckage placeras en extra fuktkälla bakom ångspärren.

Klimatfilerna som användes vid denna simulering var CNRM 2071–2100 och IPSL 2071-2100.

6.1 Beräkningsresultat av fuktläckage inifrån

En parameter som WUFI kan ta hänsyn till är årlig fuktbelastning. Den har enheten $g/\text{år} \cdot \text{m}^2$. För att kunna få ut detta värde måste en beräkning utföras. Formler som används är;

$$Q = R(v_i - v_u) = R \cdot v_{FT} \text{ [kg/s]}$$

- Q är fuktflödet genom väggen inifrån.
- R är luftflödet genom väggen inifrån.
- v_i är ånghalten inomhus.
- v_{FT} är den extra fuktproduktionen inomhus.
- v_u är ånghalten utomhus.

$$R = r_{50} \left(\frac{\Delta p_{tot}}{50} \right)^{0,7} [\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}]$$

- r_{50} är läckflödet genom väggen vid en tryckdifferens på 50 Pa. Denna variabel sätts till 0,3 $l/s \cdot \text{m}^2$ för att tangera kraven på passivhus.
- Δp är tryckdifferensen över väggen.

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_{vind}$$

- Δp_{vind} är vindtryckdifferensen

$$\Delta p_{vind} = (\mu_e - \mu_i) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot u^2 \text{ [Pa]}$$

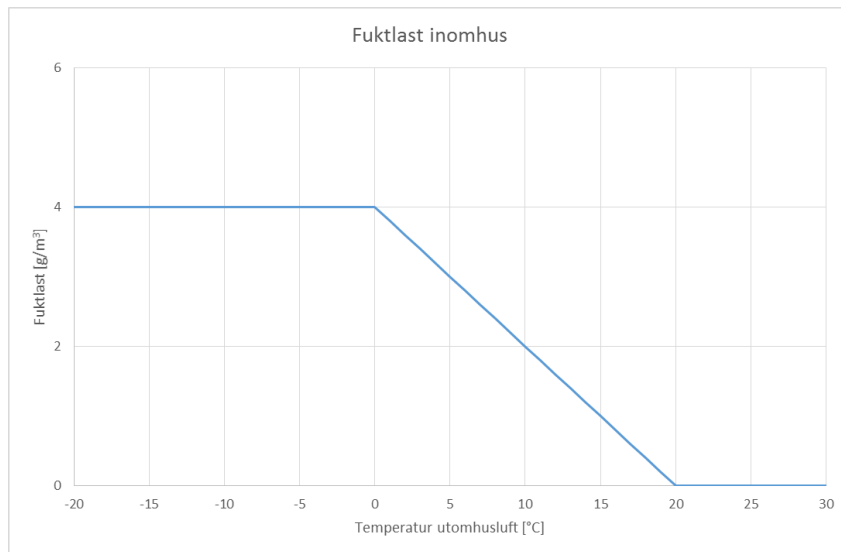
- μ_e är formfaktorn för utsidan av byggnaden.
- μ_i är formfaktorn för insidan av byggnaden.
- u är vindhastigheten
- ρ är luftens densitet ($1,25 \text{ kg/m}^3$)

Positivt värde innebär luftflöde in i byggnaden medan negativt värde är luftflödet ut ur byggnaden vilket efterfrågas.

6.1.1 Värden som hämtats till beräkning av fuktläckage inifrån

Formfaktorerna är hämtade från Fukthandboken fig.73.6 och ekv. 73.14b och har värdena $\mu_e = -0,5$ för utsidan (lävägg) och $\mu_i = (-0,3)$ för insidan. Fukttillskottet (v_{FT}) beräknas fram med hjälp av

WUFI:s inomhusklimat EN13788 och interpolering mellan fuktlasten inomhus och temperaturen utomhus.



Figur 6.1: Fuktlast inomhus enligt WUFI:s EN13788 och fuktlast 2.

För att beräkna ånghalten utomhus används klimatdata för respektive klimatfil där medeltemperaturen hämtas. Se kapitel 3.3 Klimatdata. Ur medeltemperaturen tas mätnadsånghalten fram [Nevander, Elmarsson, 1994]. Sedan multipliceras mätnadsånghalten med medelvärdet för den relativa fuktigheten utomhus som hämtas från klimatfilernas rådata.

Vindhastigheten fås genom att analysera klimatfilernas rådata. I filerna presenteras vindriktningen i grader mellan 0° och 360° där 0° är norr och 180° är syd. För att förenkla uträkningen delas vindriktningen upp i två riktningar, en mellan 90° och 270° och en mellan 270° och 90°, dessa symboliserar **sydlig riktning** respektive **nordlig riktning** på vinden. Sedan beräknas medelvindhastigheten ut och den mest kritiska väljs för vidare analys.

6.2 Beräkningsresultat av fuktläckage inifrån

Här presenteras den extra fuktlast som används som parameter i WUFI.

6.2.1 CNRM 2071–2100

Den mest kritiska vindriktningen efter analys av datan är sydlig riktning. Vid sydlig vindriktning är medelhastigheten 3,17 m/s och vid nordlig riktning är medelhastigheten 2,57 m/s. Medeltemperaturen för tidperioden är enligt WUFI:s klimatanalys 8,4°C.

$$v_{FT} = 0 + (4 - 0) \cdot \frac{(8,4 - 20)}{(0 - 20)} = 2,32 \text{ g/m}^3$$

$$\Delta p_{vind} = (-0,5 - (-0,3)) \cdot \frac{1,25}{2} \cdot 3,17^2 = -1,26 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{tot} = -1,26 \text{ Pa; Tryck från insida ut.}$$

$$R = 0,3 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1,26}{50} \right)^{0,7} = 0,23 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

$$Q = 0,23 \cdot 10^{-4} \cdot 2,32 = 0,53 \cdot 10^{-4} \text{ g/s} \cdot \text{m}^2$$

Den årliga fuktbelastningen att sätta in i WUFI är således 1 671,4 g/år m².

6.2.2 IPSL 2071–2100

Den mest kritiska vindriktningen efter analys av datan är sydlig riktning. Vid sydlig vindriktning är medelhastigheten 3,24 m/s och vid nordlig riktning är medelhastigheten 2,50 m/s. Medeltemperaturen för tidperioden är enligt WUFI:s klimatanalys 7,8°C.

$$v_{FT} = 0 + (4 - 0) \cdot \frac{(7,8 - 20)}{(0 - 20)} = 2,44 \text{ g/m}^3$$

$$\Delta p_{vind} = (-0,5 - (-0,3)) \cdot \frac{1,25}{2} \cdot 3,24^2 = -1,31 \text{ Pa}$$

$\Delta p_{tot} = -1,31 \text{ Pa}$; Tryck från insida ut.

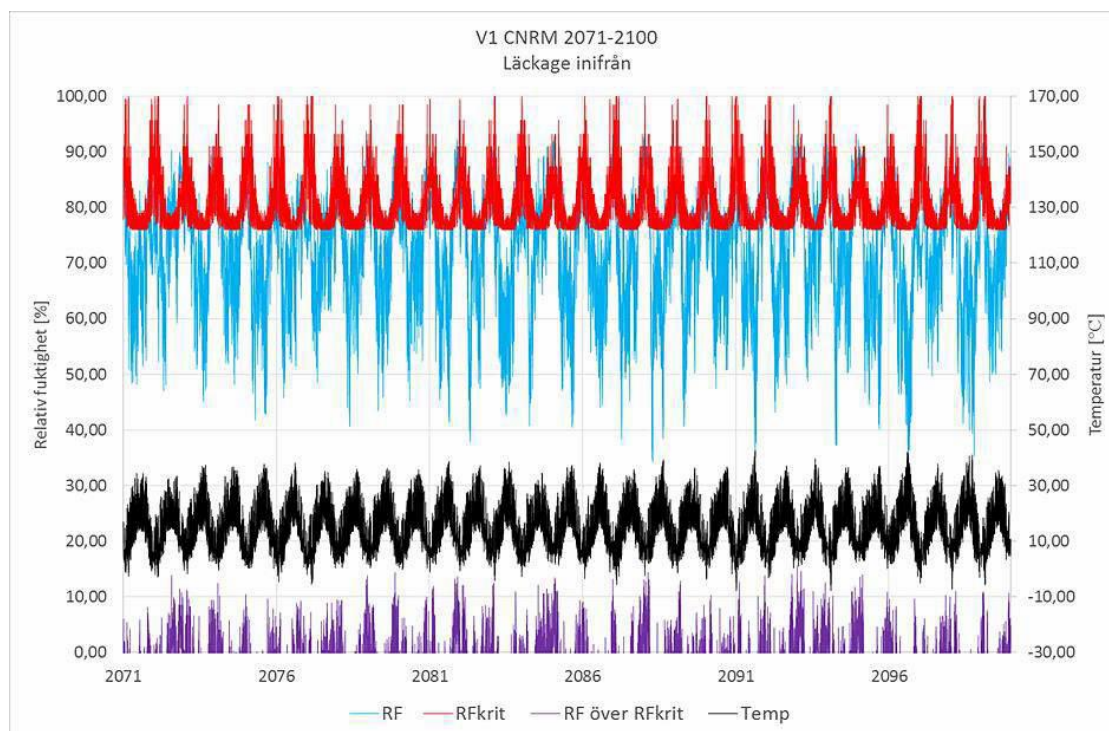
$$R = 0,3 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1,31}{50} \right)^{0,7} = 0,23 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

$$Q = 0,23 \cdot 10^{-4} \cdot 2,44 = 0,57 \cdot 10^{-4} \text{ g/s} \cdot \text{m}^2$$

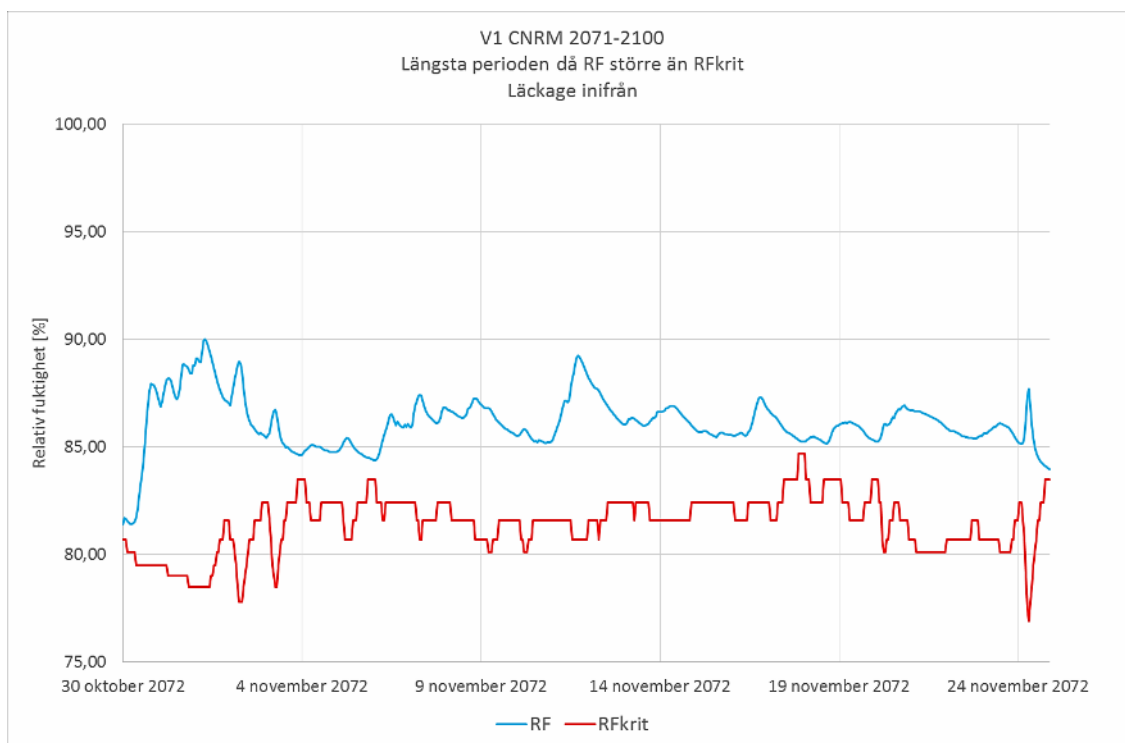
Den årliga fuktbelastningen att sätta in i WUFI är således 1 803,6 g/år m².

6.3 Väggsystem 1

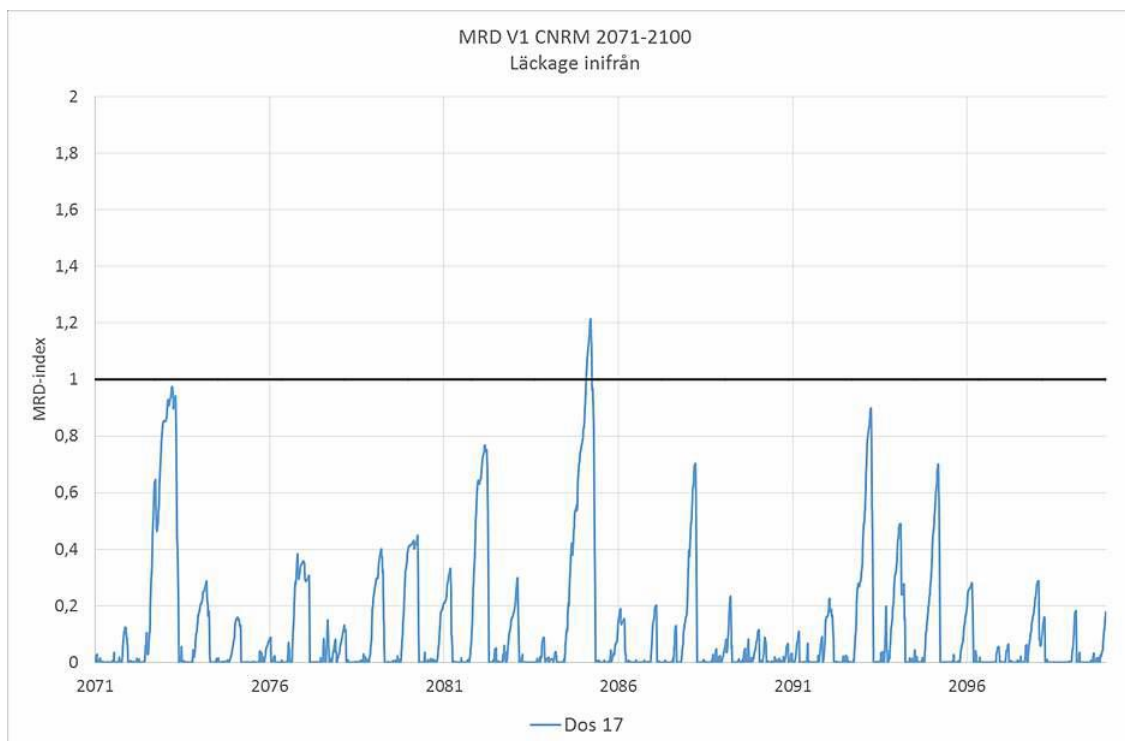
6.3.1 CNRM 2071-2100



Figur 6.2 Folos-diagram för V1 CNRM 2071-2100.

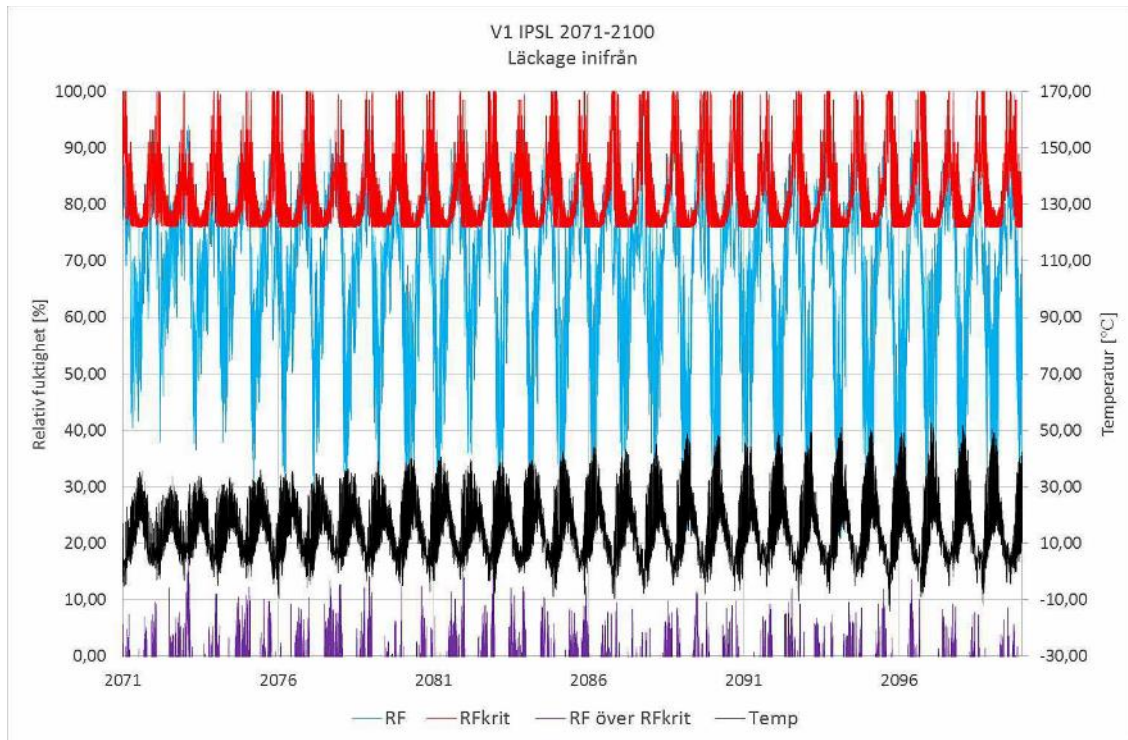


Figur 6.3 Längsta perioden som RF överskrider RFkrit är 25 dygn och 22 timmar.

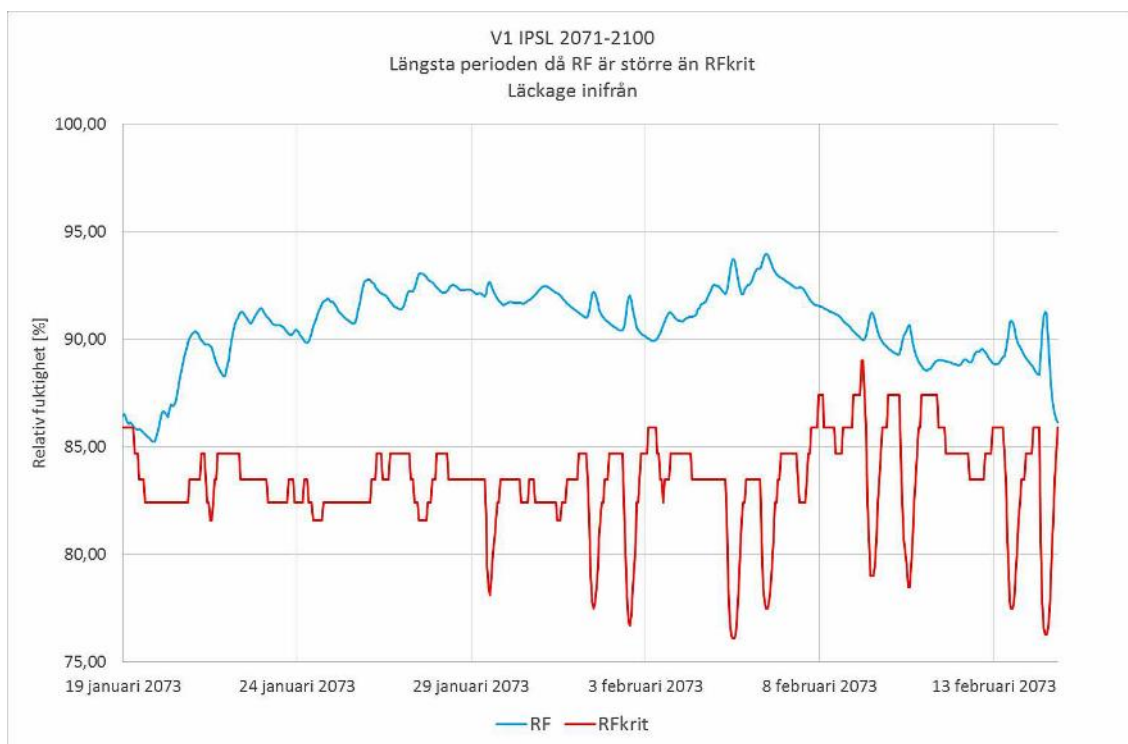


Figur 6.4 MRD-index (0-2)

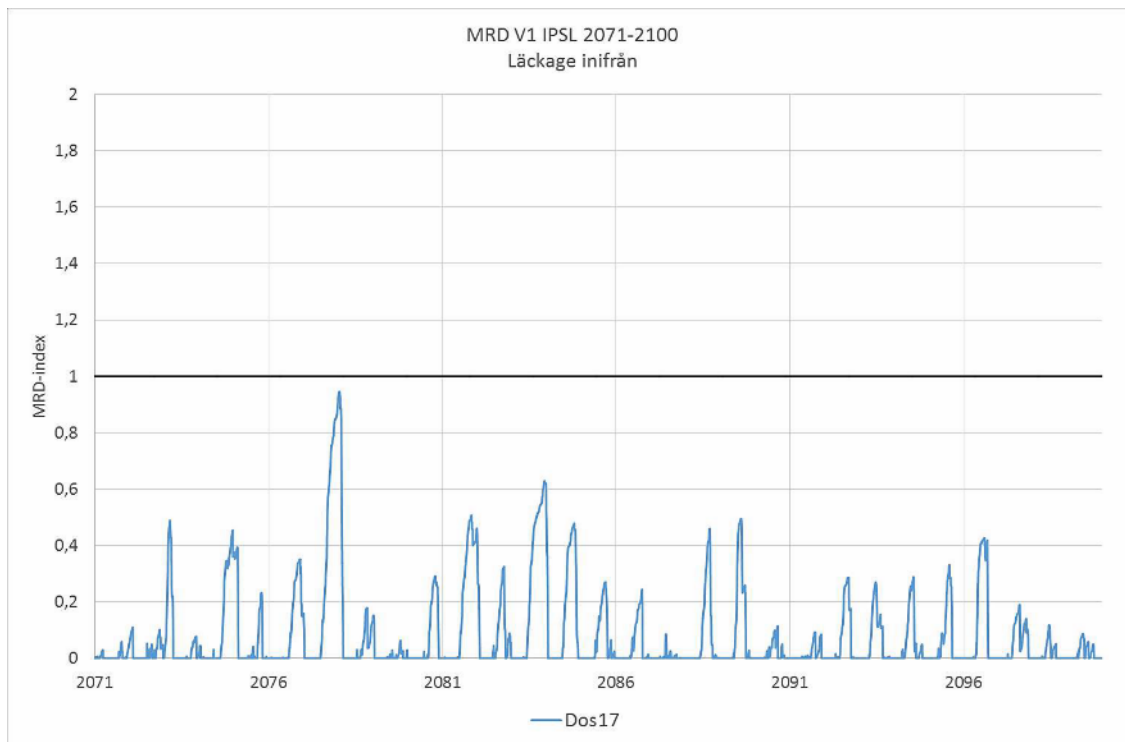
6.3.2 IPSL 2071–2100



Figur 6.5 Folos-diagram för V1 IPSL 2071–2100.



Figur 6.6 Längsta perioden då RF överstiger RFkrit är 26 dygn och 19 timmar.



Figur 6.7 MRD-index (0–2)

6.4 Analys – Fuktläckage inifrån väggsystem 1

Vid ökat läckage inifrån stiger tidsspännet då RF är över RF_{krit} från 13 till 26 dagar för klimatfil CNRM samt från 20 dagar till 28 för klimatfil IPSL, se figur 6.3 samt 6.6. Det ökar risken för mögel och mikrobiell påväxt.

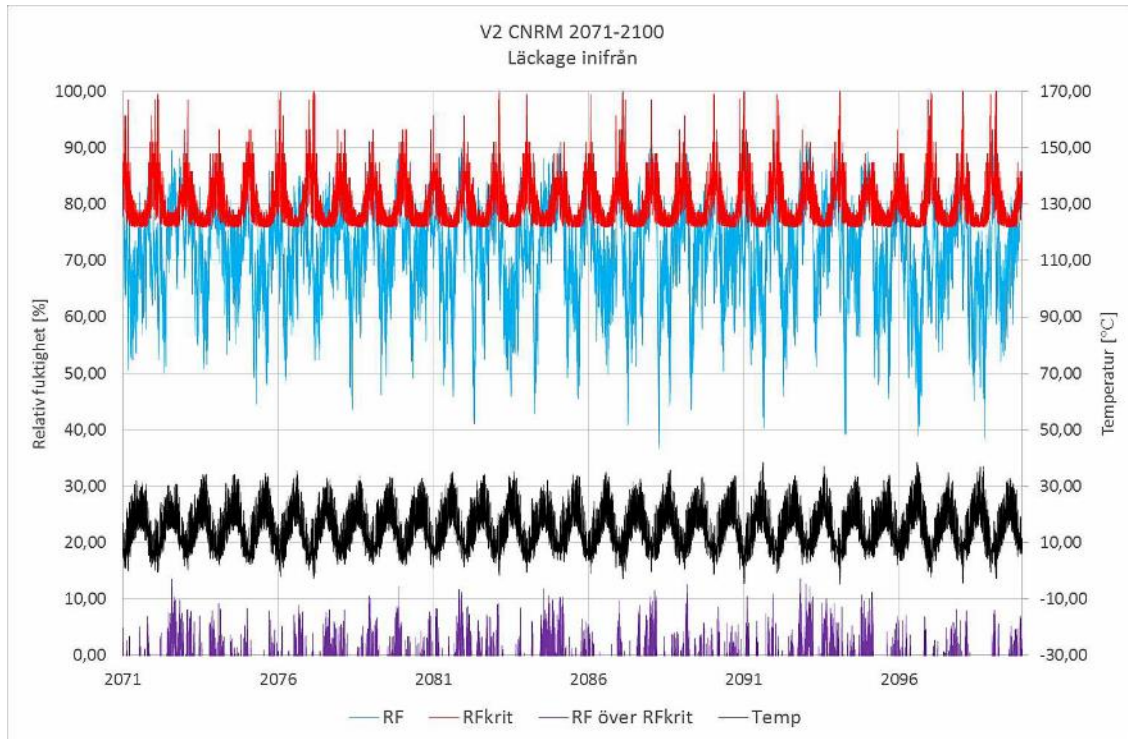
För att analysera risk av mikrobiell påväxt studeras MRD-index. MRD-index ökar från 0,5 till 1,2 för klimatfil CNRM samt från 0,5 till 0,95 för klimatfil IPSL, se figur 6.4 samt 6.7. Enligt tabell 2.4 i kapitel 2.4 hittas spår av mikrobiell påväxt i mikroskop vid index 1,0, då är materialets förmåga att motstå angrepp i form av mögel mindre än det rådande klimatets påverkan.

Det betyder att för klimatfil CNRM kommer mikrobiell påväxt att uppstå enligt modellen. För klimatfil IPSL ligger MRD-index på 0,95. Eftersom MRD-metoden innehåller en säkerhetsfaktor på 20 % bör det inte finnas risk för mikrobiell påväxt i detta fall. Även om MRD-index ligger nära gränsen 1,0.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att väggsystemen ligger i riskzon för fuktskador under perioden år 2071–2100 med fuktläckage inifrån. Problem gällande mikrobiell påväxt kan uppstå eftersom MRD-index ligger över samt väldigt nära indexvärdet 1,0. Att RF_{krit} överstigs så pass länge indikerar också att konstruktionen inte är lämpad för omgivande klimat, då konstruktionen utsätts för ett ökat läckage inifrån.

6.5 Väggsystem 2

6.5.1 CNRM 2071-2100



Figur 6.8 Folos-diagram för V2 CNRM 2071-2100.

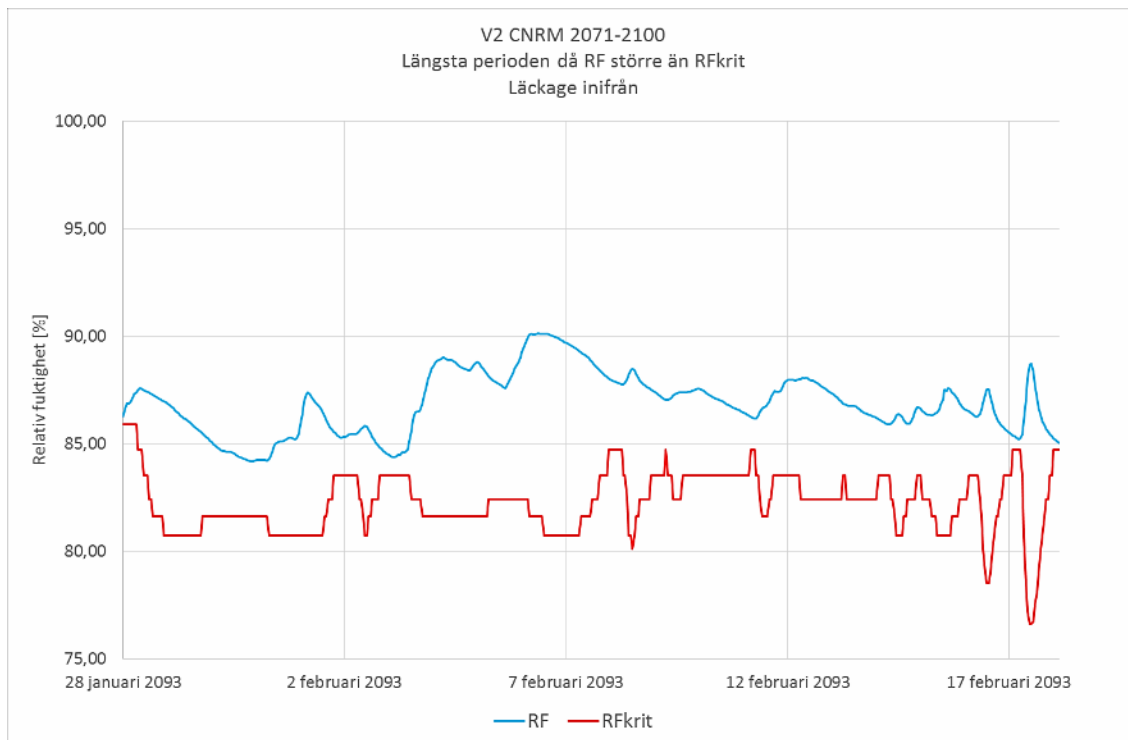
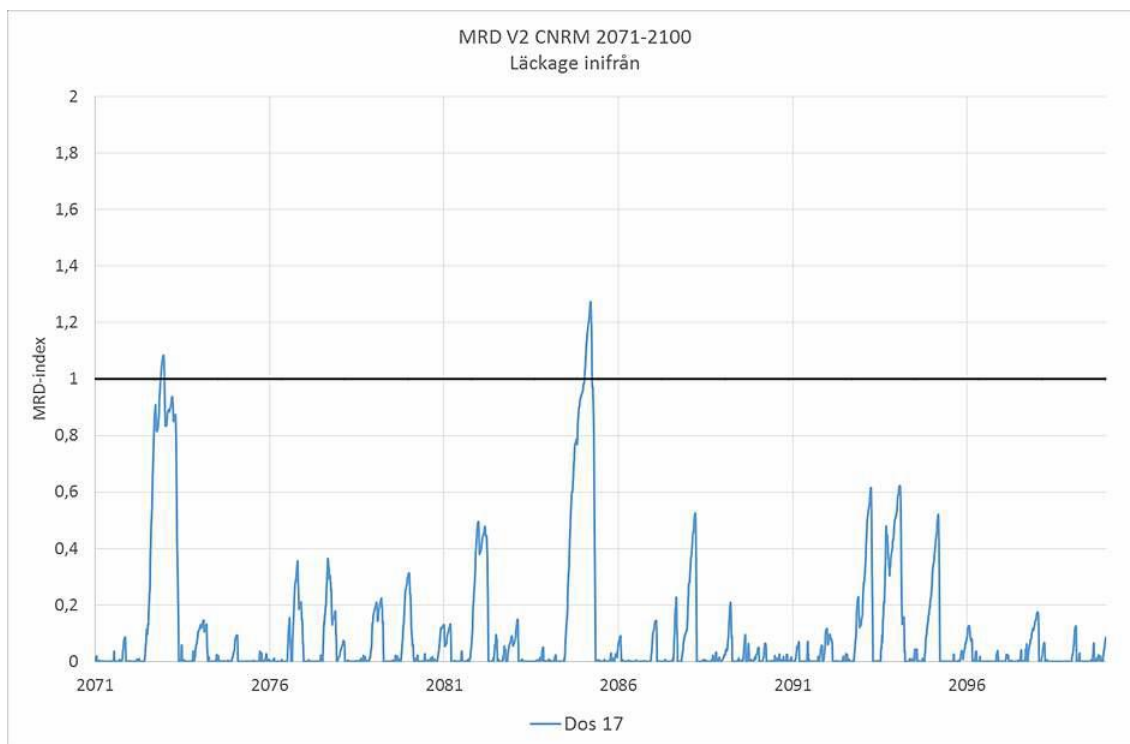
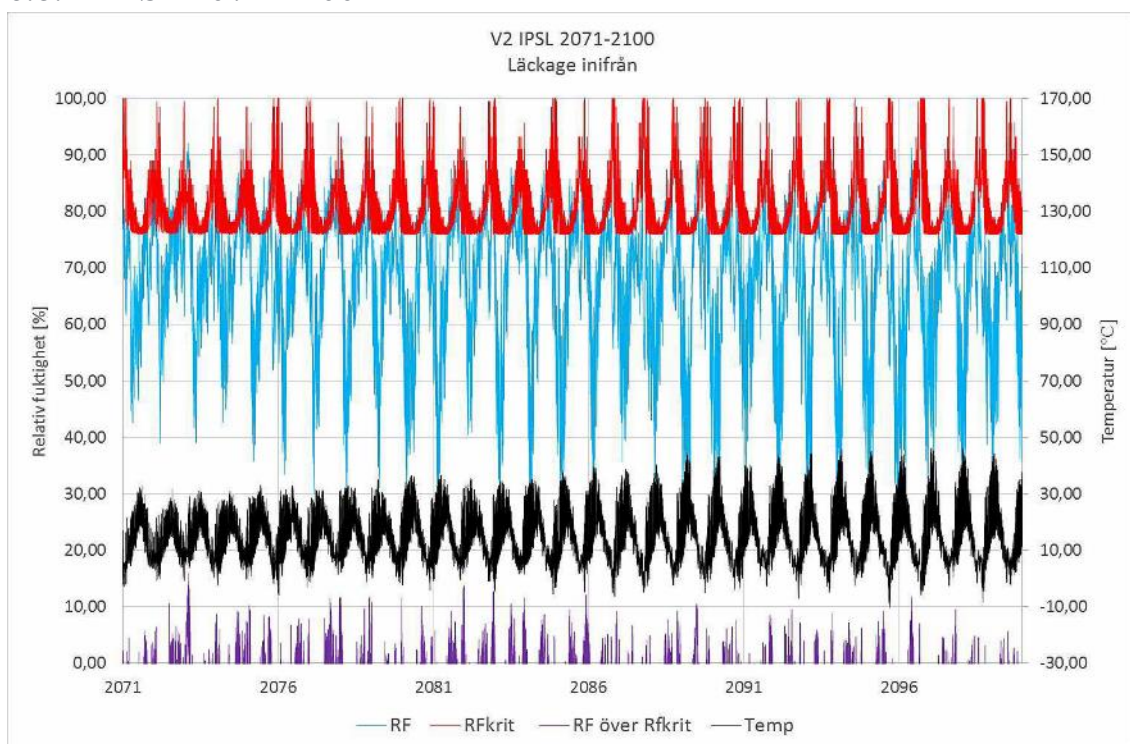


Diagram 6.9 Längsta perioden då RF överstiger RFkrit är 21 dygn och 4 timmar.

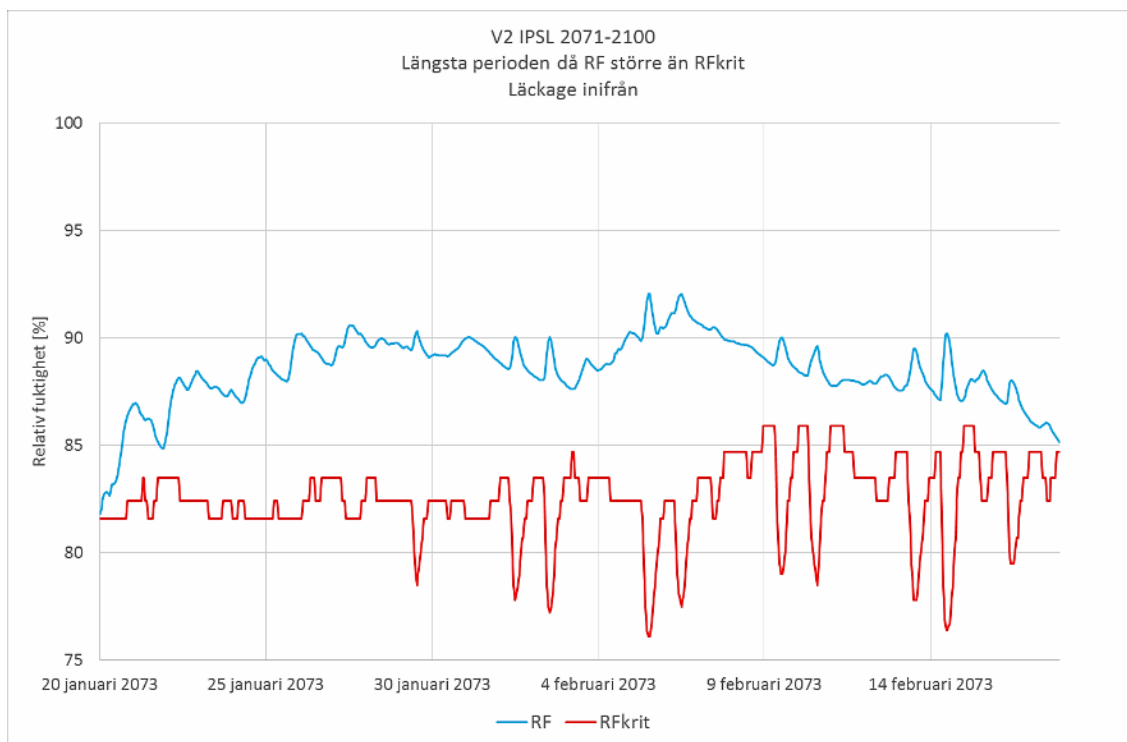


Figur 6.10 MRD-index (0-2)

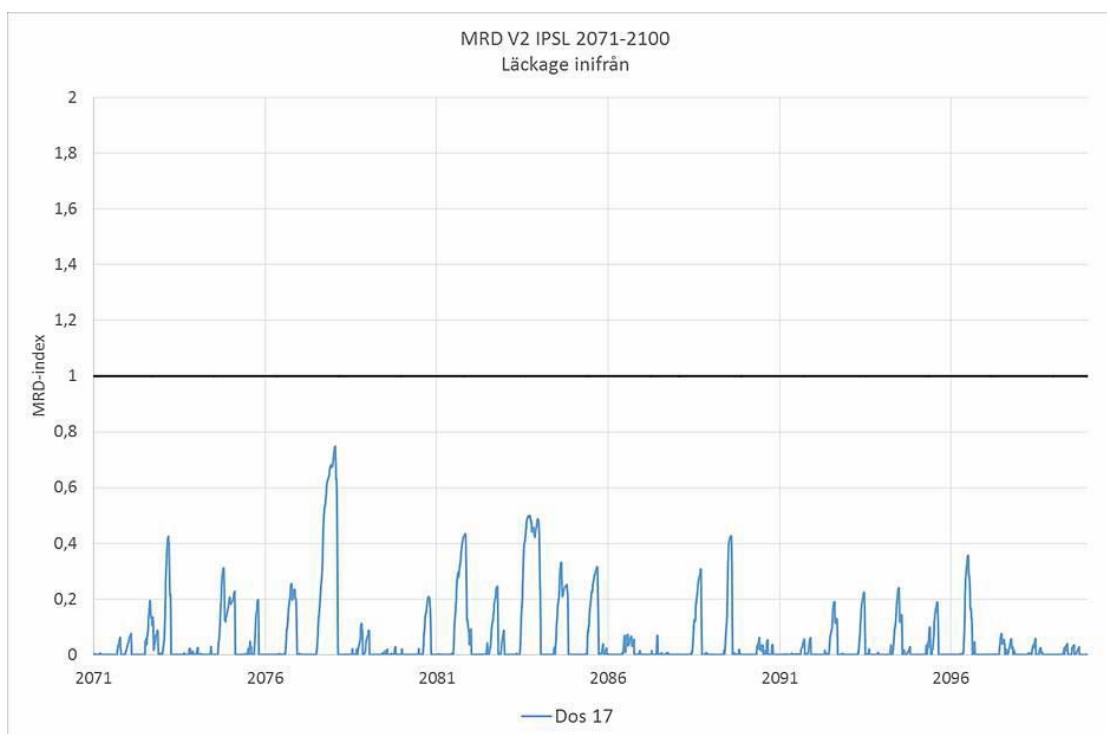
6.5.2 IPSL 2071-2100



Figur 6.11 Folos-diagram för V2 IPSL 2071-2100.



Figur 6.12 Längsta perioden då RF överstiger RFkrit är 28 dygn och 22 timmar.



Figur 6.13 MRD-index (0-2)

6.6 Analys – Fuktläckage inifrån väggssystem 2

Precis som för V1 ökar tidsspannet då RF är över RF_{krit} . 17 till 21 dagar för klimatfil CNRM samt från 18 dagar till 29 för klimatfil IPSL, se figur 6.9 samt 6.12. Enligt figur 6.10 och 6.13 ökar MRD-index från 0,45 till 1,3 för klimatfil CNRM samt från 0,25 till 0,75 för klimatfil IPSL.

Enligt tabell 2.4 hittas spår av mikrobiell påväxt i mikroskop vid index 1,0, då är materialets förmåga att motstå angrepp i form av mögel mindre än det rådande klimatets påverkan. Det betyder att för klimatfil CNRM kommer mikrobiell påväxt att uppstå.

Sammanfattningsvis kan konstateras att mikrobiell påväxt kommer ske om det framtida klimatet följer utvecklingen som CNRM visar samt att det sker ett fuktläckage inifrån. Studeras IPSL-klimatet bör konstruktionen klara sig, trots ett ökat läckage inifrån. Att RF_{krit} överstigs under så pass lång tid är dock en indikation att konstruktionen inte klarar det framtida klimatet, då väggen utsätts för ett ökat läckage inifrån.

Tabell 6.1: MRD-dosen för basfallet (B.F) samt det aktuella fallet: Fuktläckage inifrån (F.L.I).

	Väggsystem 1		Väggsystem 2		CNRM		IPSL	
	B.F	F.L.I	B.F	F.L.I	B.F	F.L.I	B.F	F.L.I
MRD-dos	0,5	1,2	0,5	0,95	0,45	1,3	0,25	0,75

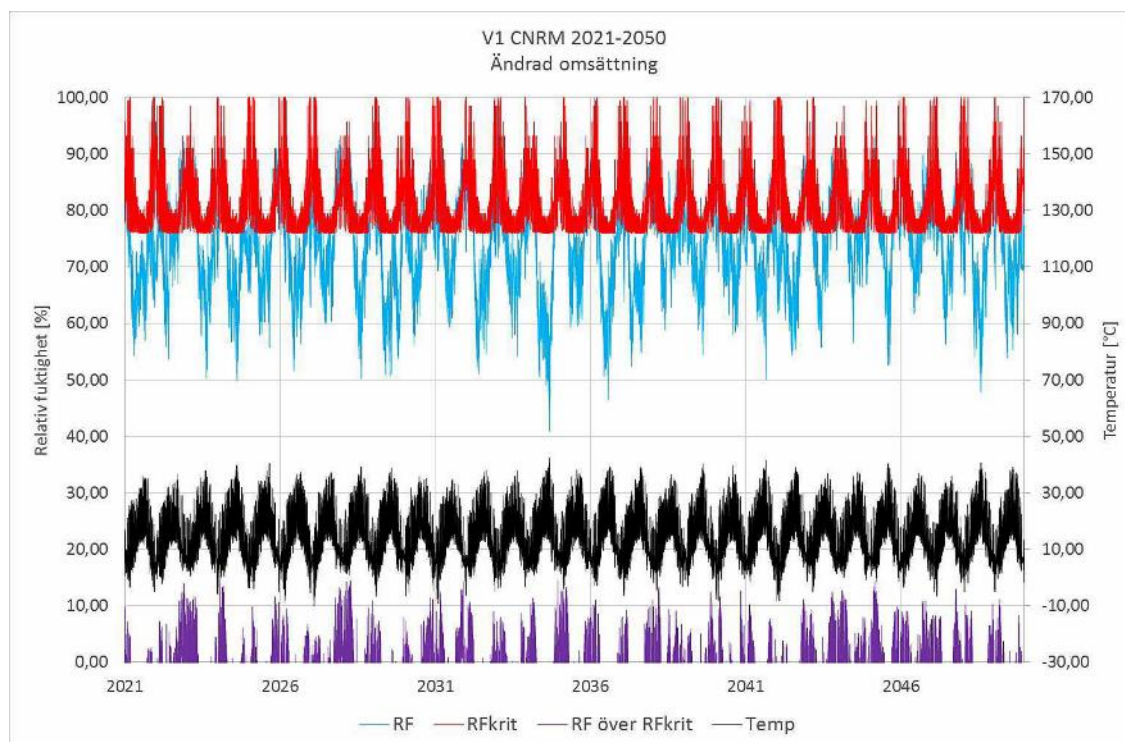
7 PARAMETERSTUDIE – ÄNDRAD OMSÄTTNING I LUFTSPALTEN

Basfallet för denna studie har en omsättning på 30 oms/h och anses som en rimlig parameter (Mundt-Petersen, 2012). För att uppnå denna omsättning krävs det ett skikt som har djupet 25 mm samt att det består av minst ett skikt av vertikala regler. Förslagsvis sätts en glesregel med djupet 28 mm.

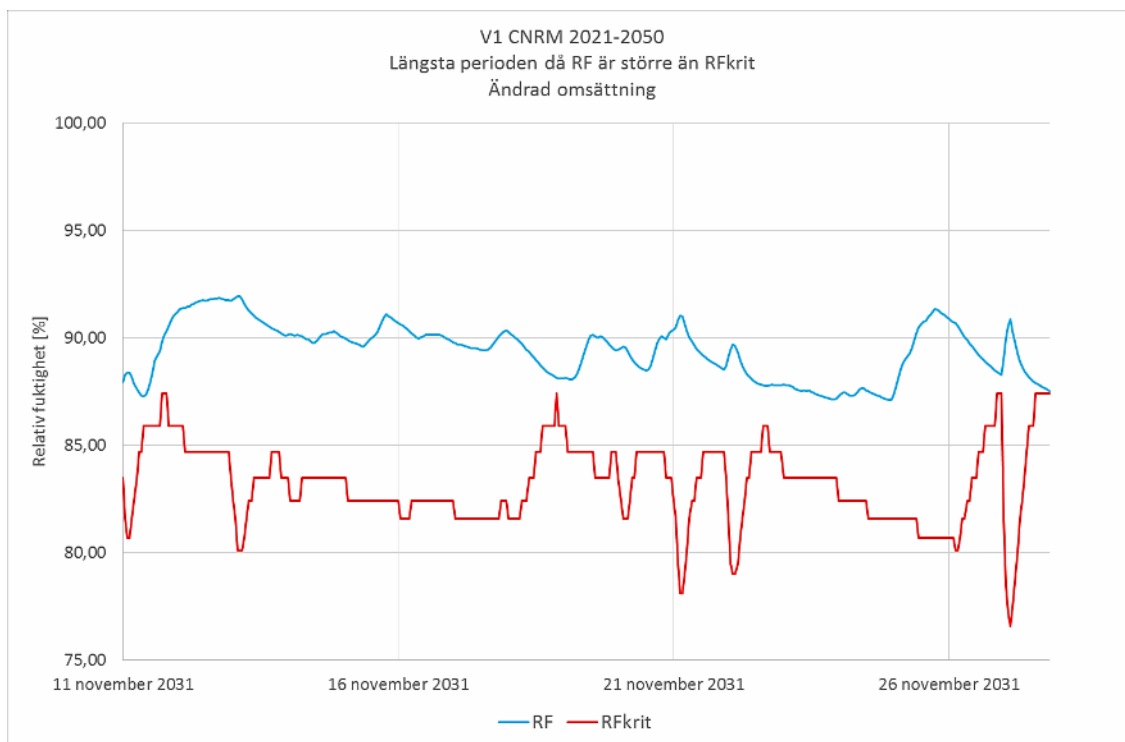
En kritisk konstruktion är träkonstruktion med skalmurstege som fasad. Studier visar att flöden i dessa konstruktioner kan ligga i intervallet 0–5 oms/h (Mundt-Petersen, 2012). I denna studie analyseras inte dessa konstruktioner, men för att studera konsekvenserna av en lägre omsättning sänkas parametern från 30 till 5 oms/h. I detta fall har klimatfilerna CNRM och IPSL 2021–2050 använts.

7.1 Väggsystem 1

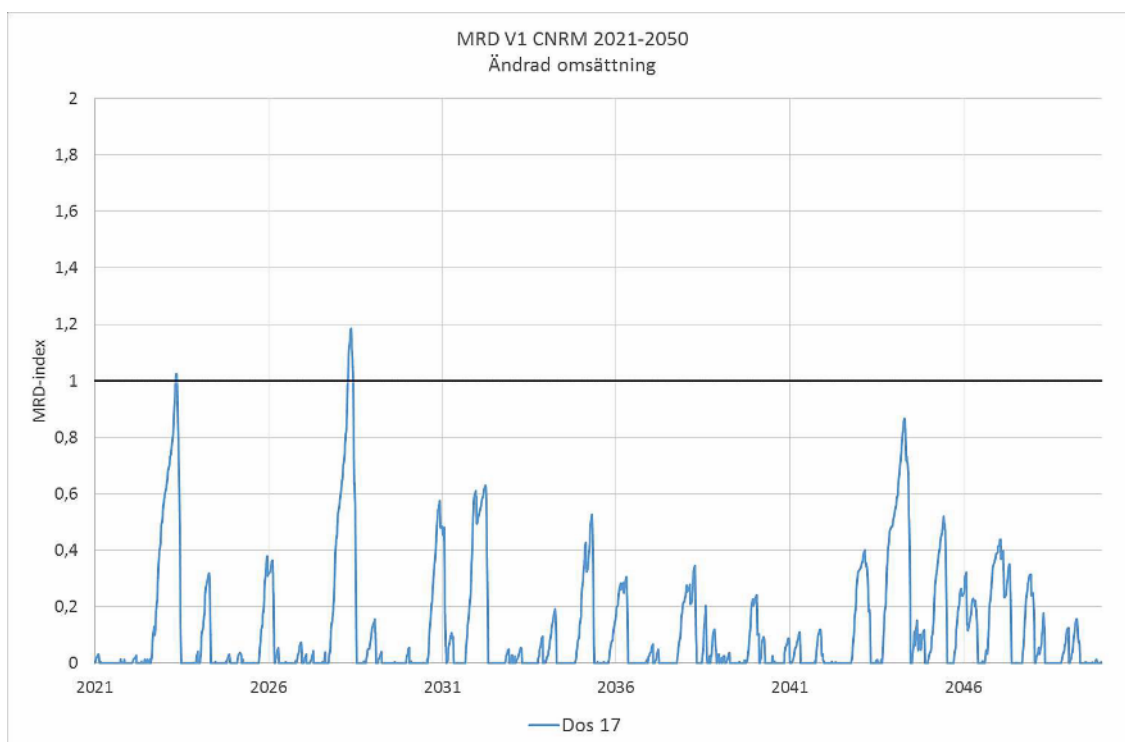
7.1.1 CNRM 2021–2050



Figur 7.1 Folos-diagram för V1 CNRM 2051–2050

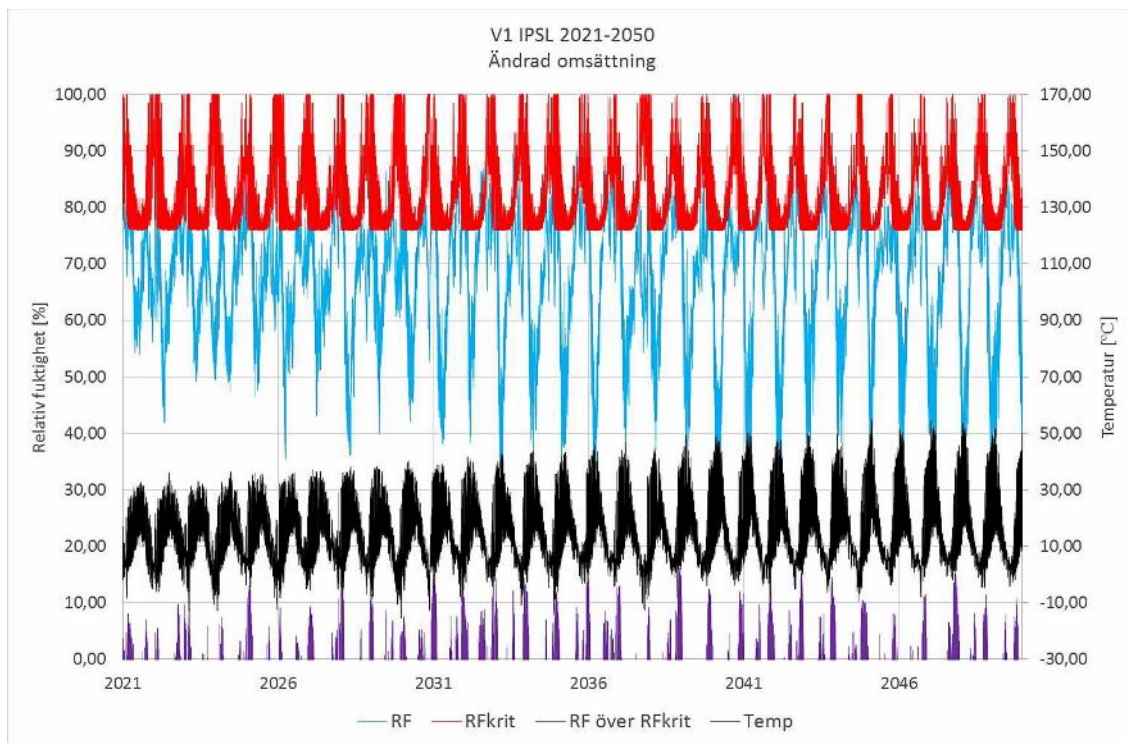


Figur 7.2 Längsta perioden då RF överstiger RFkrit är 16 dygn och 21 timmar.

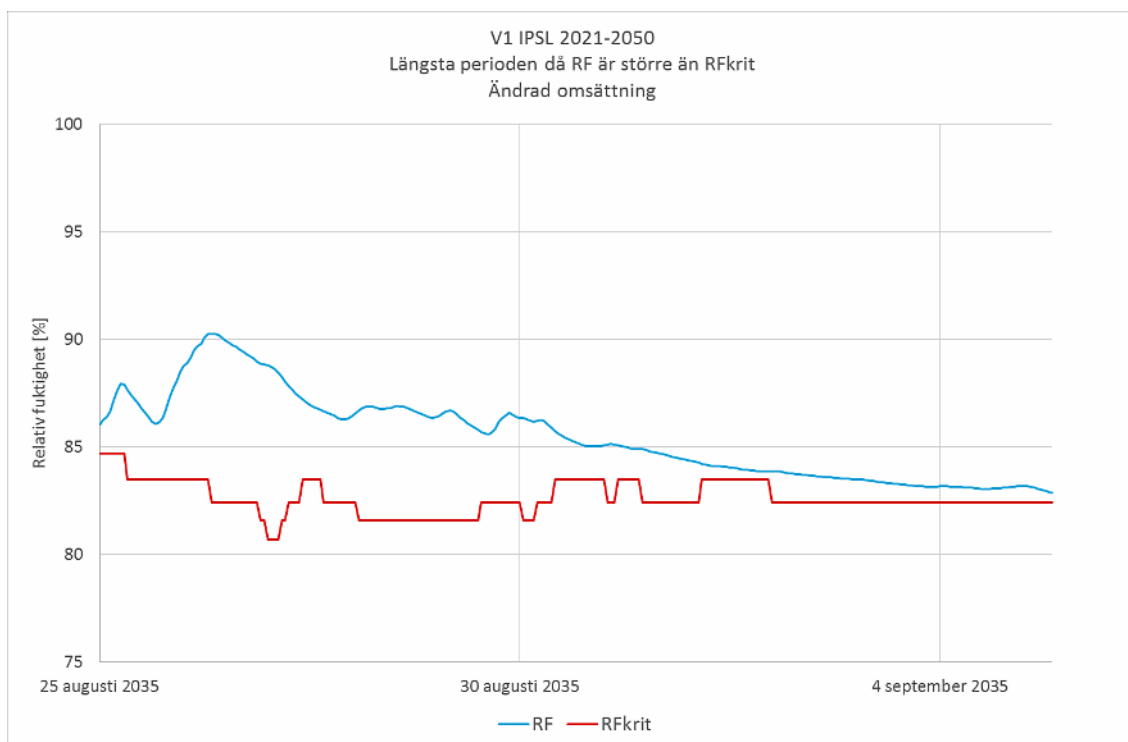


Figur 7.3 MRD-index (0-2).

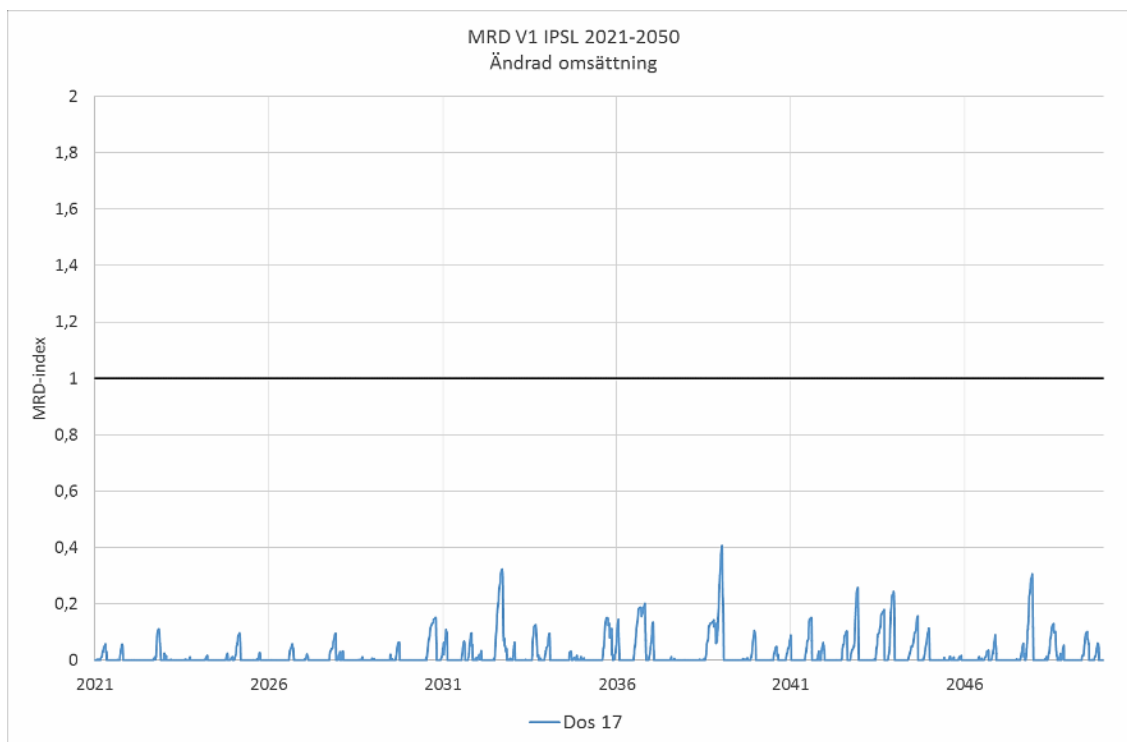
7.1.2 IPSL 2021–2050



Figur 7.4 Folos-diagram för V1 IPSL 2021–2050.



Figur 7.5 Längsta perioden då RF överstiger RFkrit är 11 dygn och 9 timmar.



Figur 7.6 MRD-index (0-2)

7.2 Analys – Ändrad omsättning i väggsystem 1

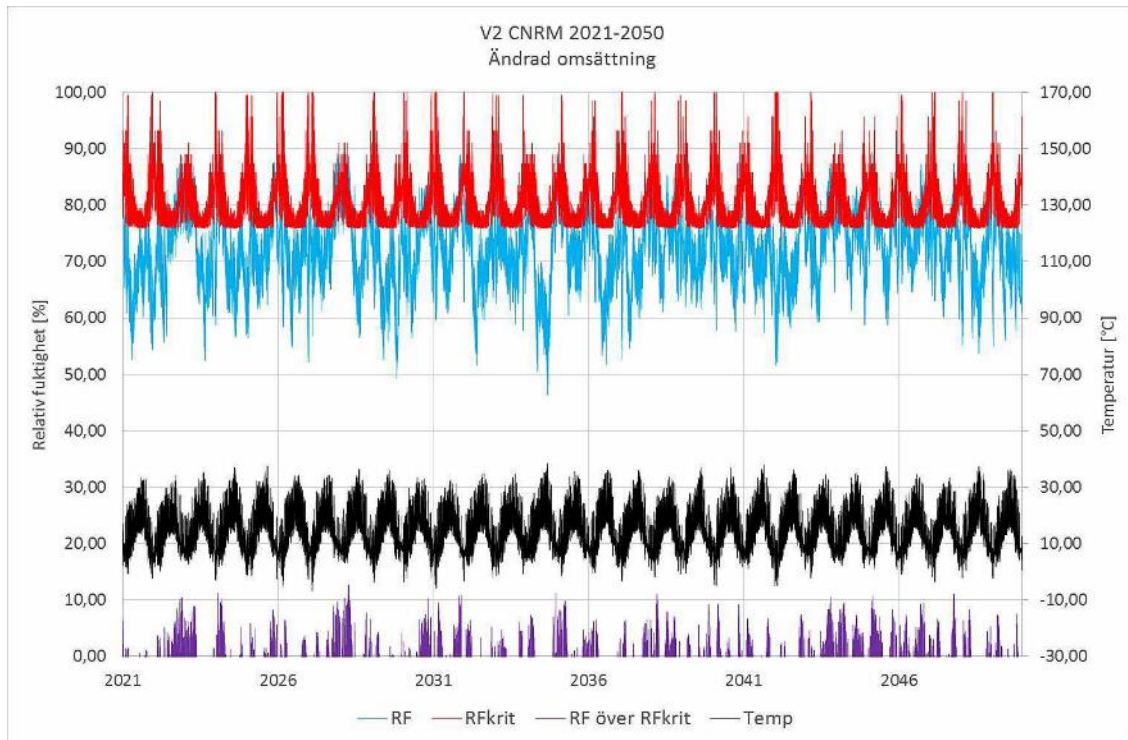
Vid lägre luftflöde i luftspalten överskrider RF gränsen för RF_{krit} oftare och högre än vid basfallen. Den längsta perioden för klimatfil CNRM är på cirka 16 dagar (se figur 7.2) medan för klimatfil IPSL är den approximativt 9 dagar (se figur 7.3). Motsvarande period för basfallen är cirka 9 dagar för CNRM och 11 dagar för IPSL.

Vid denna simulering, till skillnad mot de flesta simuleringar som genomförts, är att här uppträder MRD-dosen annorlunda mellan klimatfilerna. I vanliga fall brukar båda klimatfilerna gemensamt visa om konstruktionen klarar av att motstå MRD-dosen eller inte. I detta fall visar klimatfilerna olika. För klimatfilen CNRM passerar dosen den kritiska nivån två gånger under 30-årsperioden varav det högsta värdet är 1,2, se figur 7.3. För IPSL passerar dosen aldrig indexvärdet 0,4, se figur 7.6. För basfallen är det högsta värdet cirka 0,45 för CNRM och 0,15 för IPSL. Detta beror troligtvis på att klimatfilen CNRM är ett värre klimatscenario än vad IPSL är, både regnmängden och den relativa fuktigheten är högre.

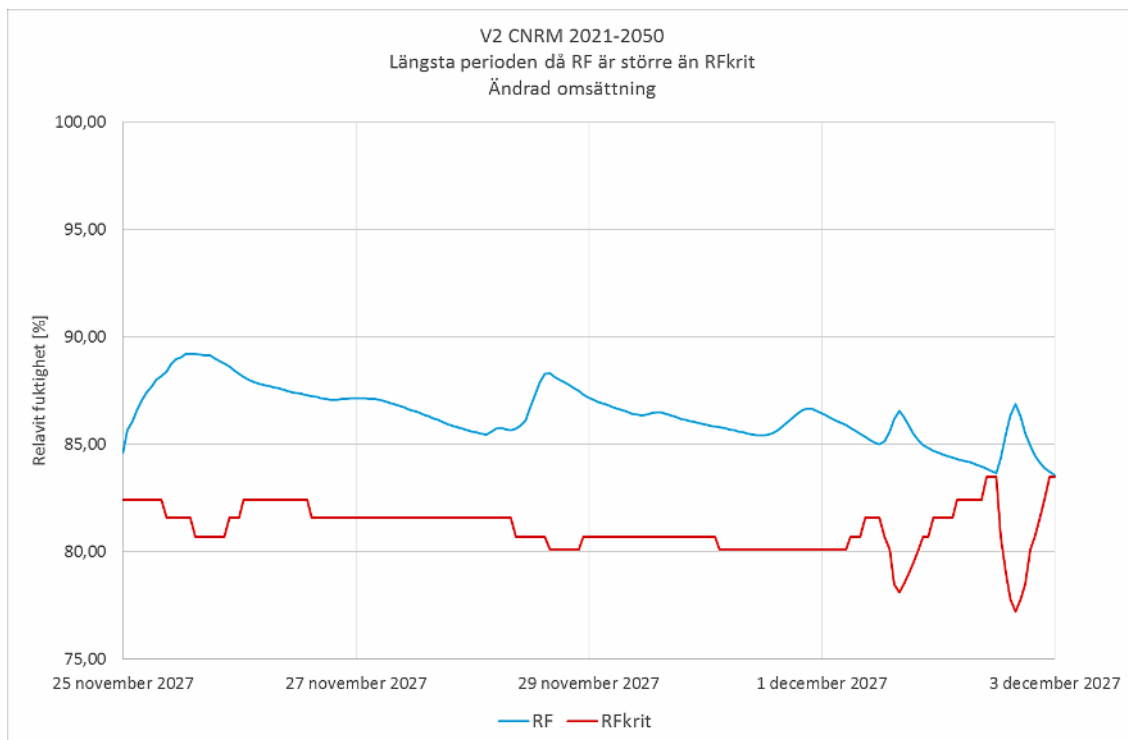
I fallet med ändrad omsättning i luftspalten är det svårt att avgöra om väggen klarar klimatet i framtiden eller inte. Skall det byggas med denna konstruktionslösning bör det säkerställas under fuktprojekteringen att luftspalten får en korrekt luftomsättning, alternativt byta väggsystem för att undvika fuktproblem.

7.3 Väggsystem 2

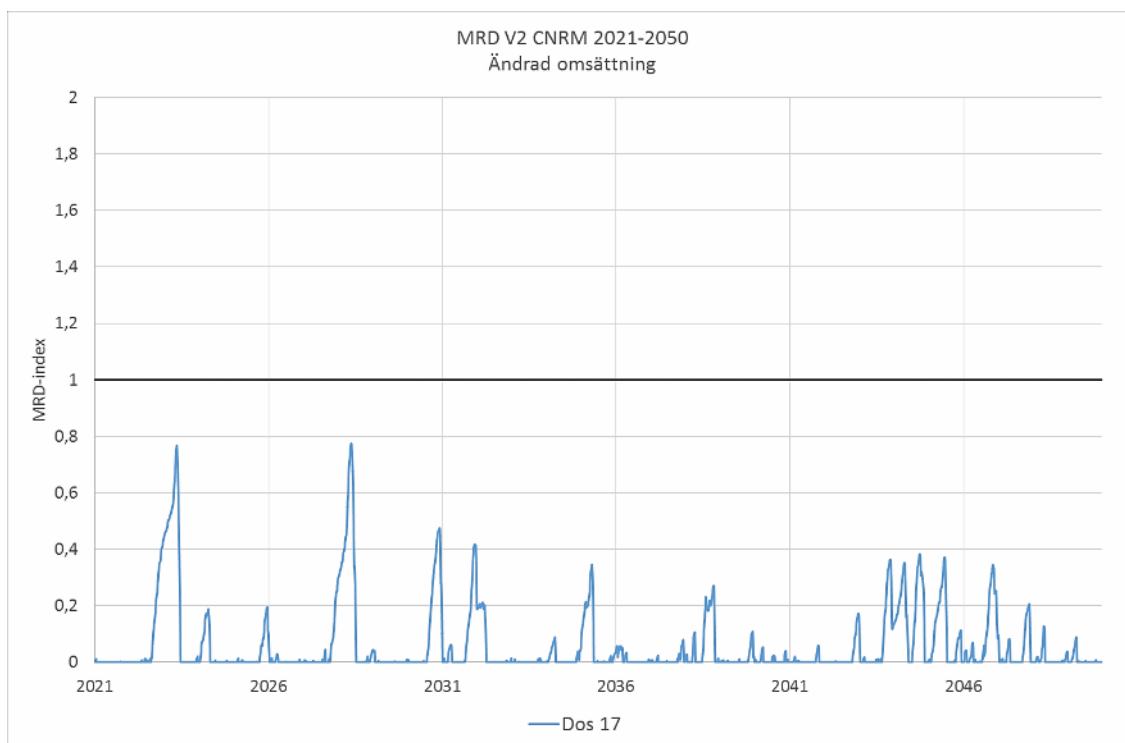
7.3.1 CNRM 2051–2070



Figur 7.7 Folos-diagram för V2 CNRM 2021–2050.

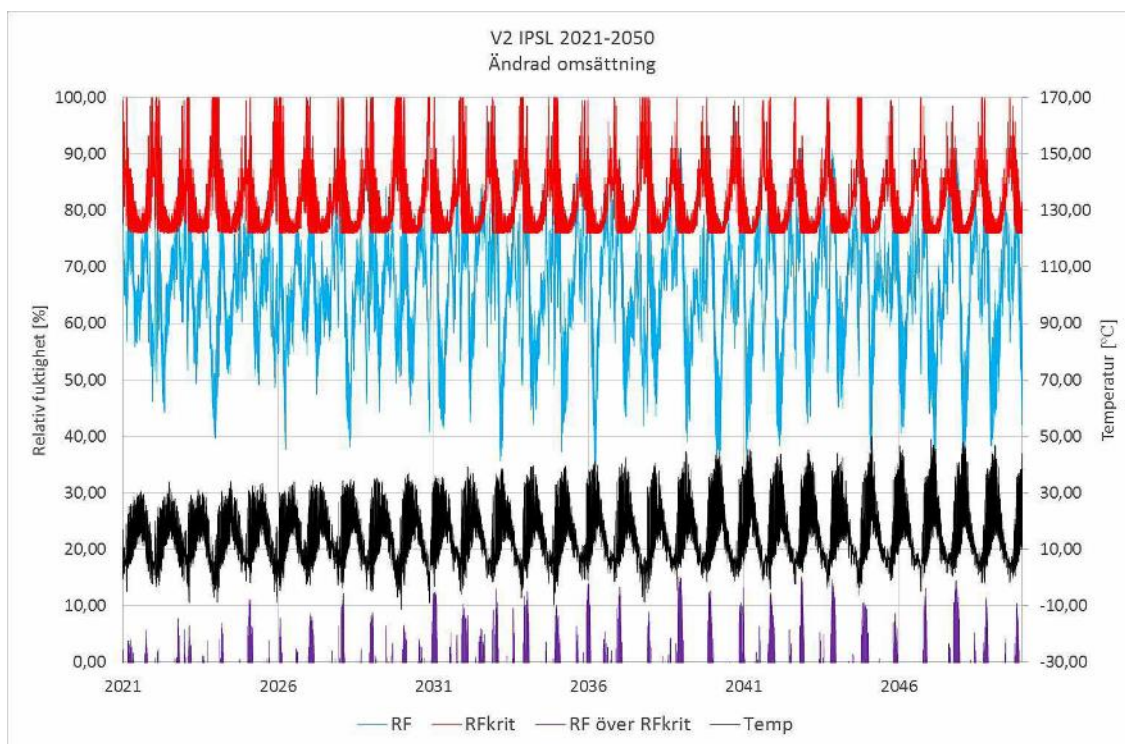


Figur 7.8 Längsta perioden då RF överskrider RFkrit är 9 dygn och 1 timme.

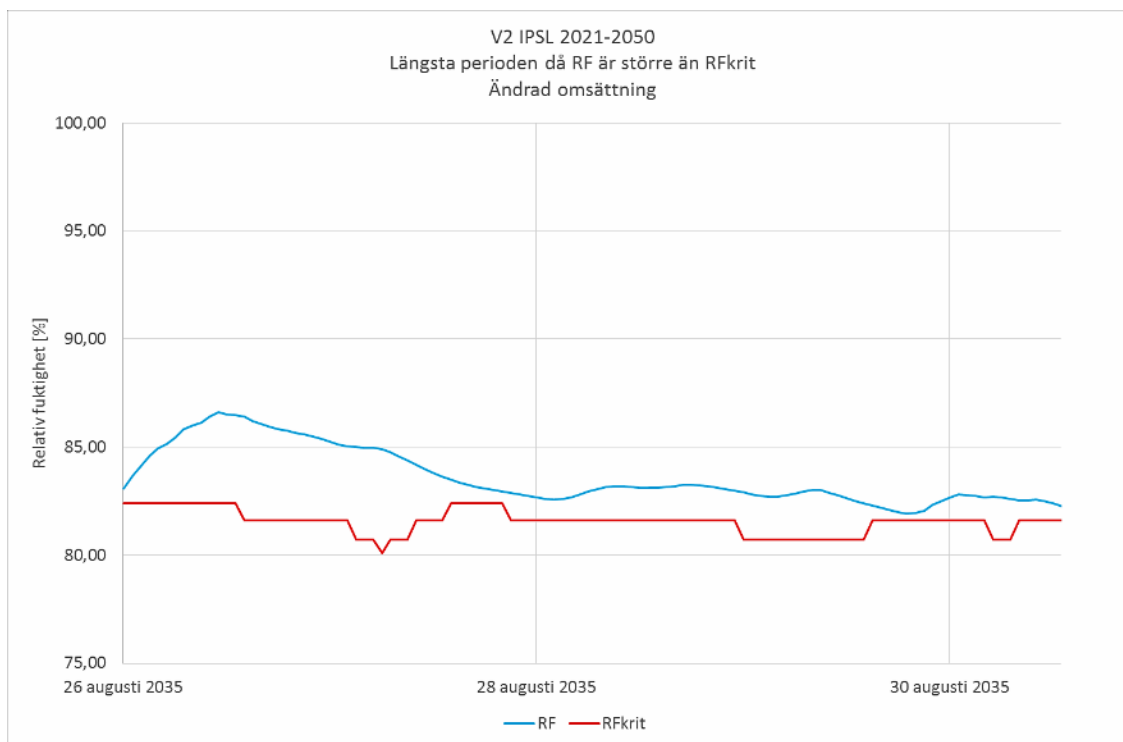


Figur 7.9 MRD-index (0-2).

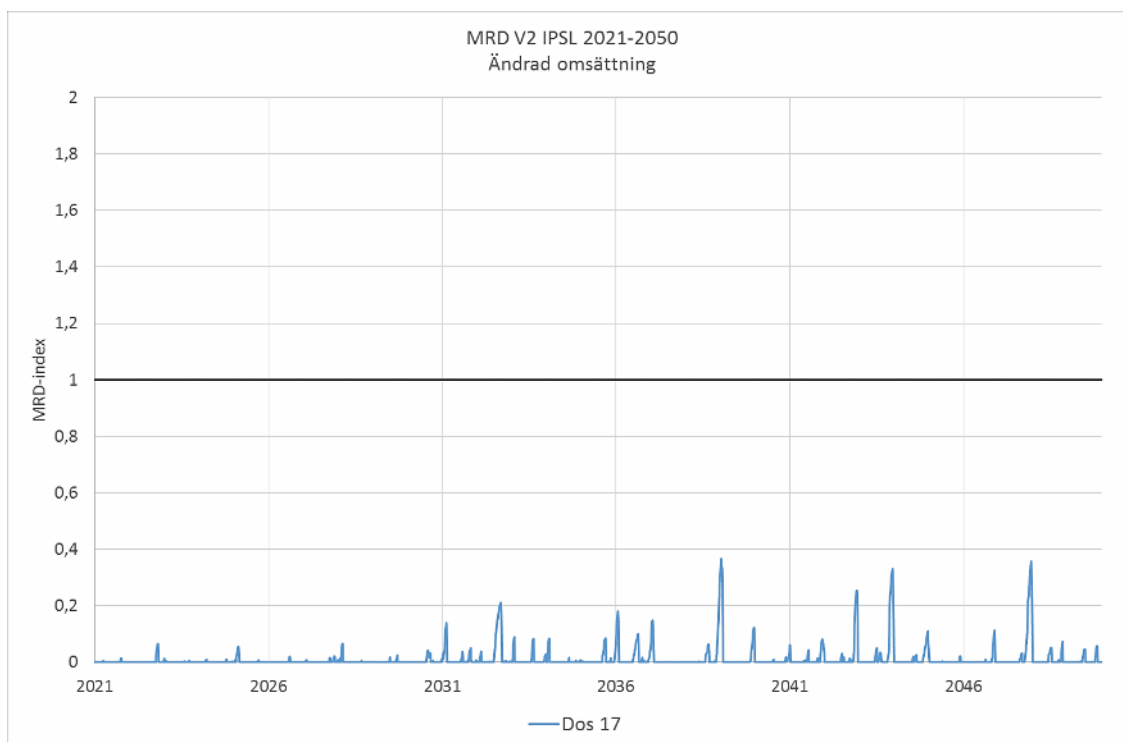
7.3.2 IPSL 2021–2050



Figur 7.10 Folos-diagram för V2 IPSL 2021–2050.



Figur 7.11 Längsta perioden då RF överskrider RFkrit är 4 dygn och 14 timmar.



Figur 7.12 MRD-index (0-2).

7.4 Analys – Ändrad omsättning i väggsystem 2

Detta väggsystem klarar det minskade luftflödet i luftspalten avsevärt bättre än väggsystem 1. Enligt MRD-diagrammen visar konstruktionen ingen tendens till att få mikrobiell påväxt under denna period (figur 7.9 samt 7.12). Det högsta värdet finns i klimatfil CNRM där den uppgår till

strax under 0,8 två gånger under den 30 år långa perioden. För IPSL är det högsta värdet cirka 0,4. Undersöks den längsta perioden då RF överstiger RF_{krit} är den längsta perioden cirka 9 dagar och för IPSL är den cirka 5 dagar vilket är kortare perioder än vad väggsystem 1 visade upp (figur 7.8 samt 7.11). Att detta väggsystem klarar av att stå emot det förändrade flödet bättre än vad väggsystem 1 beror sannolikt på att den tjockare fasadskivan klarar av att stå emot den ökade fuktlasten som bildas inne i luftspalten. Det blir ett längre avstånd mellan fukten i luftspalten och den bärande stommen vilket bidrar till att hålla stommen torrare medan fukten som finns i luftspalten samt fasadskivan hinner vädras ur innan den når stommen.

Tabell 7.1: MRD-dosen för basfallen (B.F) samt det aktuella fallet: Ändrad omsättning i luftspalten (Ä.O).

	Väggsystem 1		Väggsystem 2		Väggsystem 1		Väggsystem 2	
	CNRM		IPSL		CNRM		IPSL	
	B.F	Ä.O	B.F	Ä.O	B.F	Ä.O	B.F	Ä.O
MRD-dos	0,45	1,2	0,15	0,4	0,25	0,8	0,10	0,4

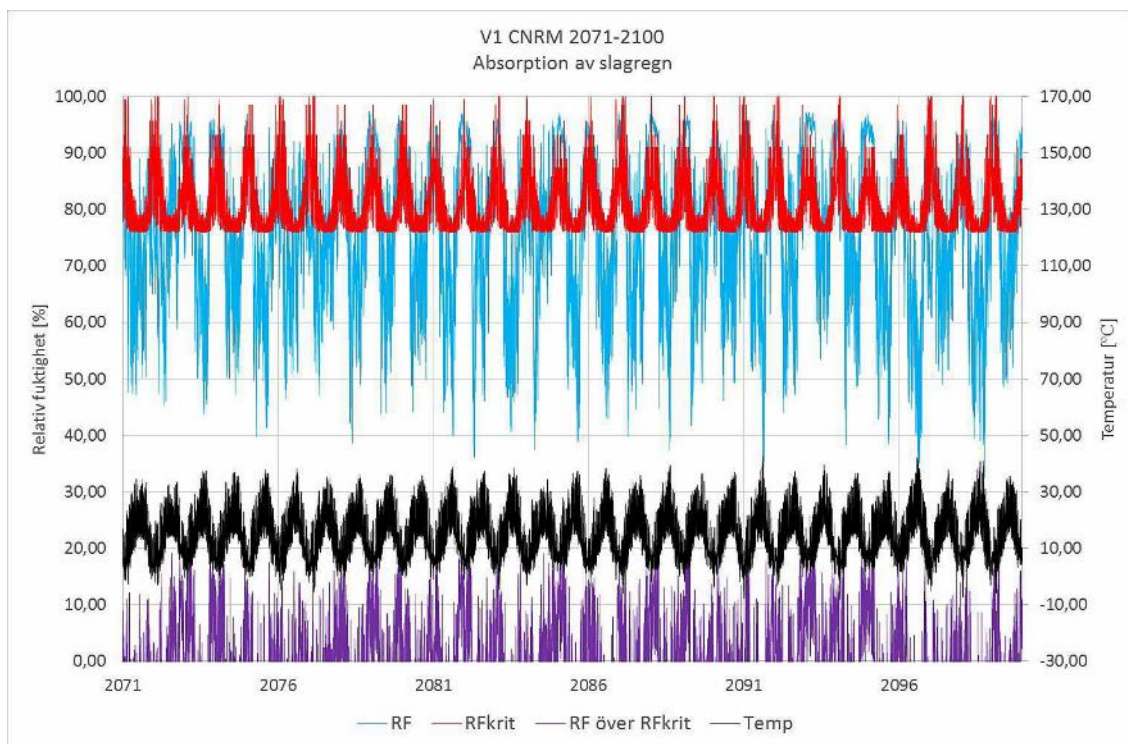
Med resultaten som detta fall uppvisat bör denna passivhusvägg väljas framför väggsystem 1.

8 PARAMETERSTUDIE – ÖKAD ABSORPTION AV SLAGREGN

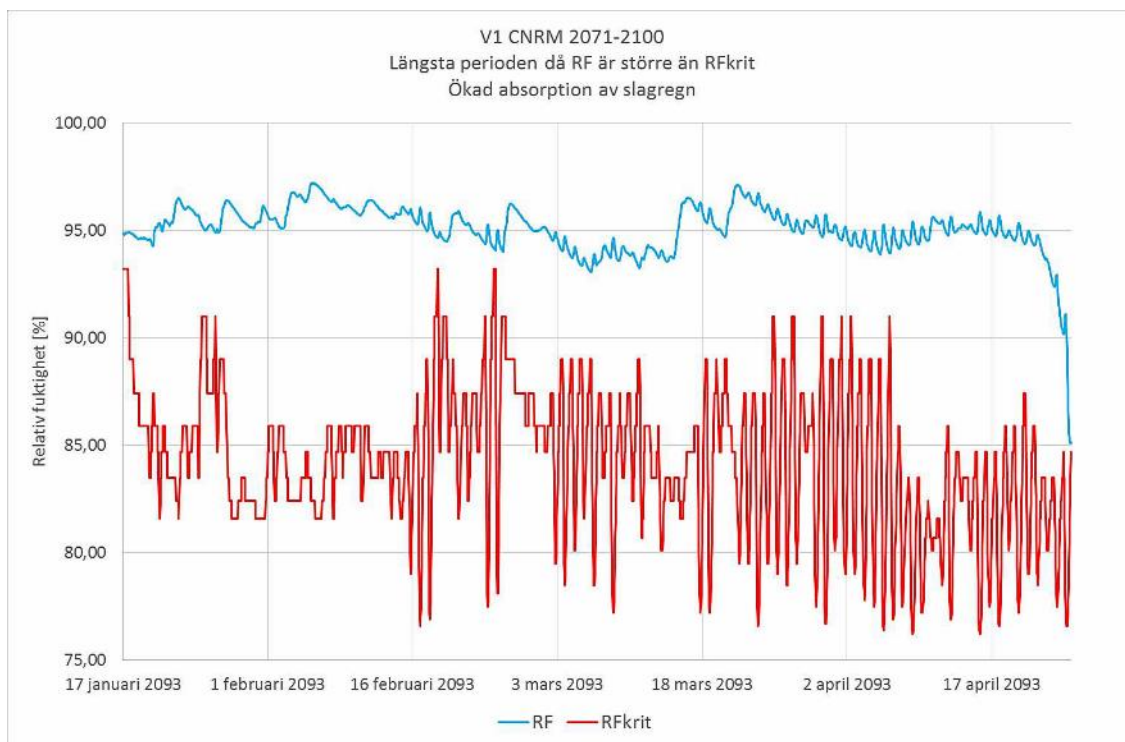
Enligt American ASHRAE Standard 160 tränger 1 % av slagregnet in i konstruktionen (WUFI) genom fasaden. Andra studier visar en inträngning på 2 % eller högre vid detaljer i fasaden (Olsson, 2015). I denna parameterstudie visas hur fukthalten i konstruktionen påverkas av en ökning från 1 % till 3 % i slagregnsinträngning. Detta kan uppfattas som en stor förändring då WUFI är ett endimensionellt program och behandlar denna mängd slagregn som att den tränger igenom hela fasaden och inte vid enstaka detaljlösningar. Denna ökning motiveras med att det ger en indikation på hur skadligt det kan vara för konstruktionen om inte fasadlösningen är korrekt utförd.

8.1 Väggsystem 1

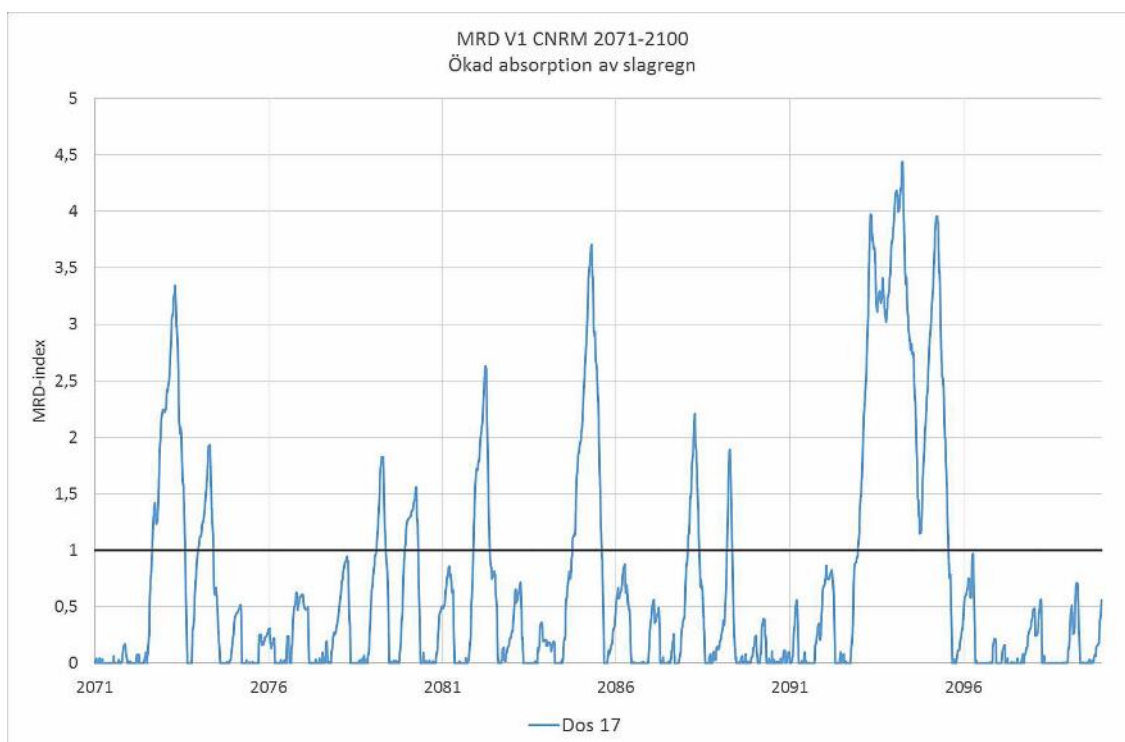
8.1.1 CNRM 2071–2100



Figur 8.1 Folos-diagram för V1 CNRM 2071–2100.

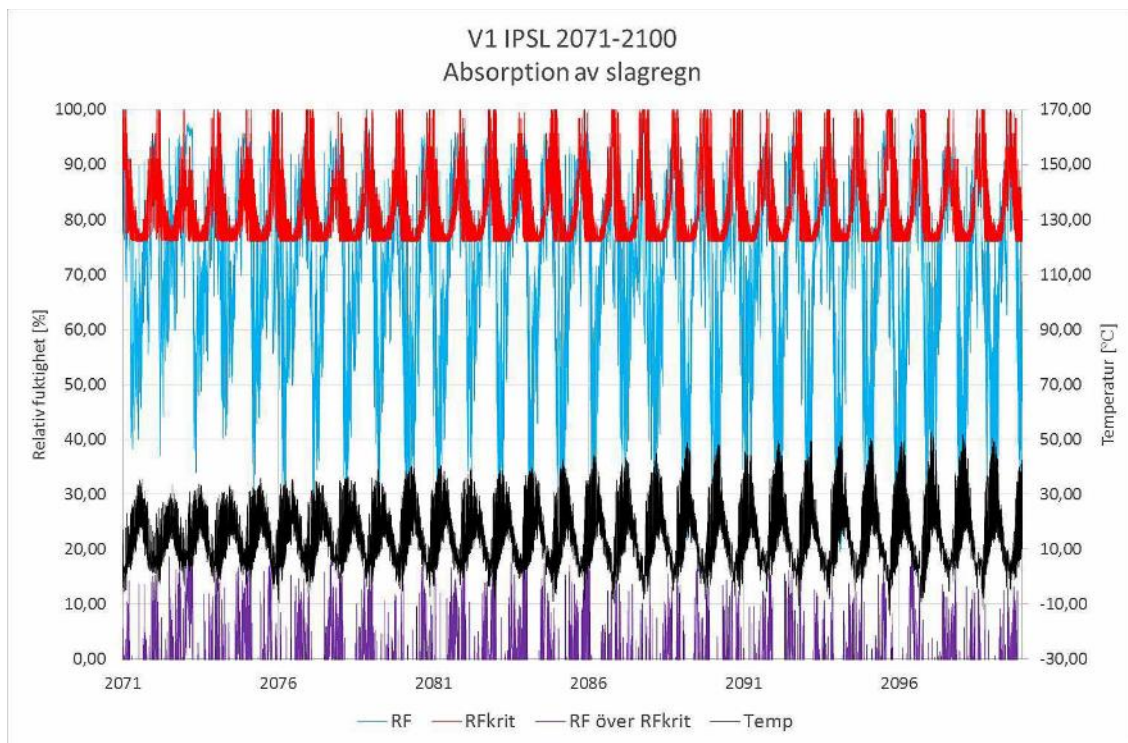


Figur 8.2 Längsta perioden då RF överskrider RFkrit är 98 dygn och 7 timmar.

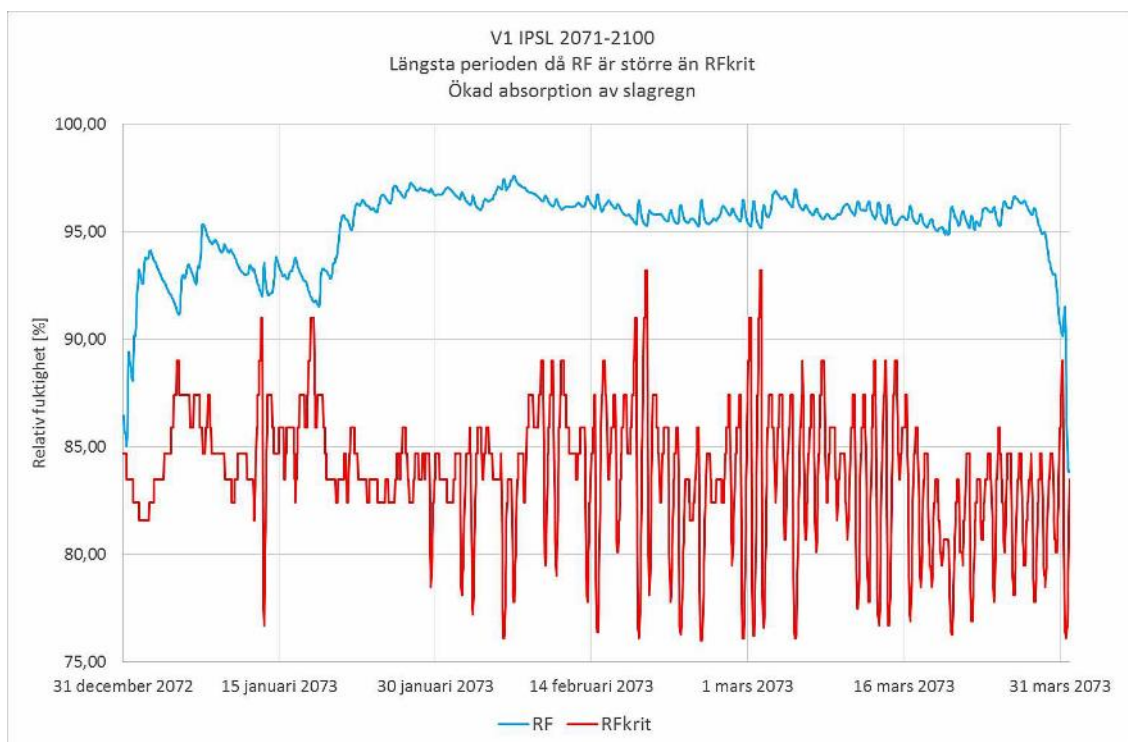


Figur 8.3 MRD-index (0-5).

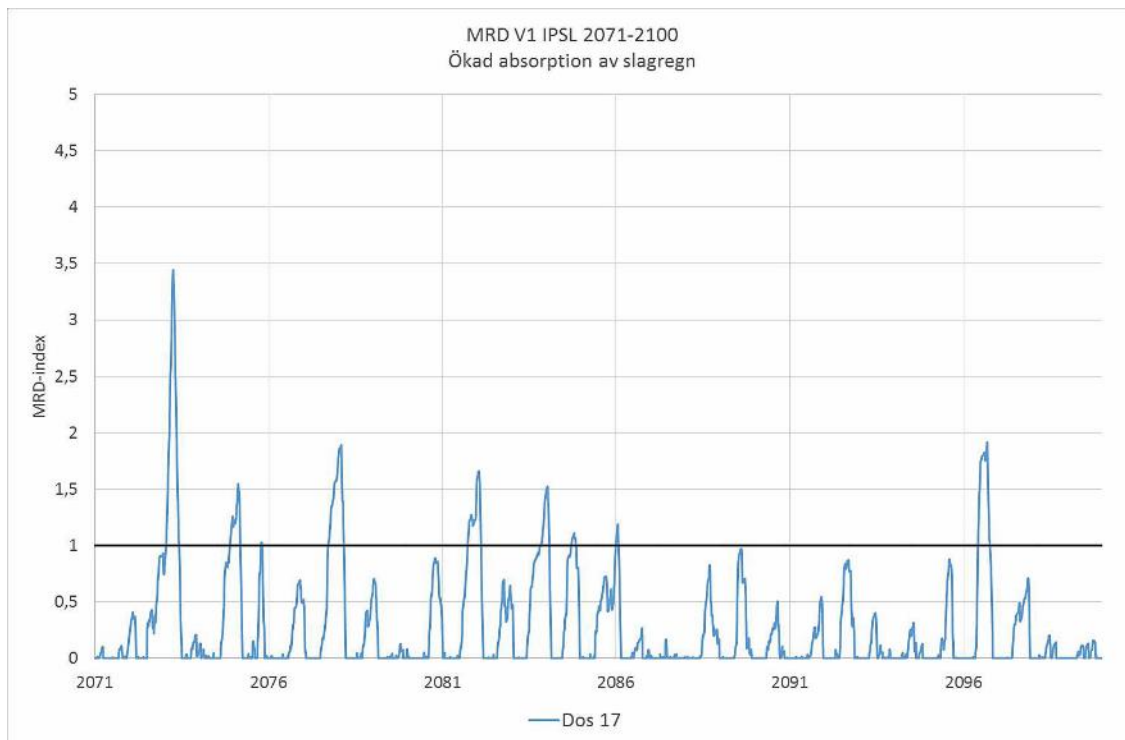
8.1.2 IPSL 2071–2100



Figur 8.4 Folos-diagram för V1 IPSL 2071–2100.



Figur 8.5 Längsta perioden då RF överskrider RFkrit är 90 dygn och 12 timmar.



Figur 8.6 MRD-index (0-5)

8.2 Analys – Ökad absorption av slagregn i väggsystem 1

RF överstiger RF_{krit} i större utsträckning om mängden slagregn tillåts öka mot punkten mellan fasadskivan och stommen (figur 8.2 samt 8.5). Det syns tydligt att om mängden inträngande slagregn ökar från 1 % till 3 % blir det en större belastning på konstruktionen. Studeras diagrammen som visualiserar den längsta perioden då konstruktionen befinner sig i ett ogynnsamt klimat, så uppgår den längsta perioden till strax över 98 dagar. Motsvarande tid för basfallet med samma klimatfil CNRM är cirka 14 dagar. Genomgås väggsystemet för klimatfilen IPSL är den motsvarande längsta tidsperioden strax under 91 dagar och 20 dagar för basfallet.

Att stommen befinner sig under dessa förhållanden leder till en extrem påfrestning, vilket även MRD-indexet visar (figur 8.3 samt 8.6). Läs diagrammet, som är baserat på CNRM, kan det avläsas att dosen uppgår till strax under 4,5. Vilket, enligt tabell 2.4 i kapitel 2.4 innebär en mikrobiell påväxt som kan ses med blotta ögat och täcker träets yta med 10–50 %.

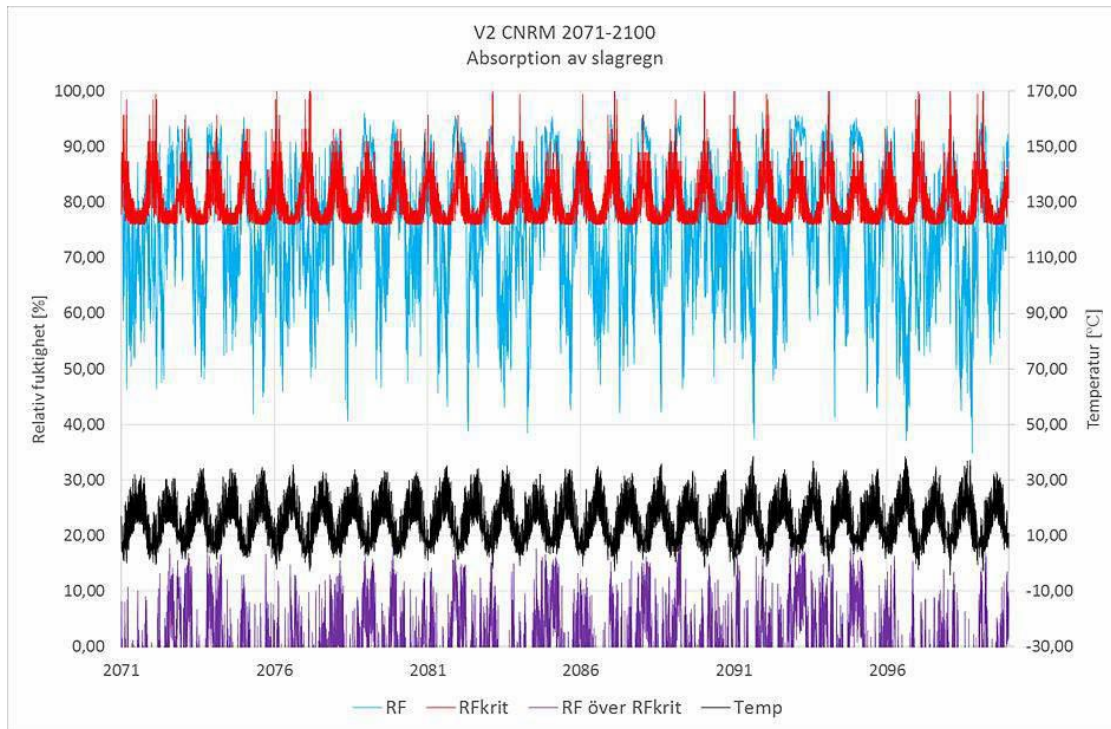
Motsvarande värde för IPSL är ungefär 3,5 vilket betyder att det finns spår av mikrobiell påväxt som täcker mindre än 10 % av ytan men är synligt.

Jämförs värdena för MRD med basfallen kan det avläsas att det högsta värdet konstruktionen belastas med för IPSL är cirka 0,5 och för CNRM är motsvarande värde strax över 0,4.

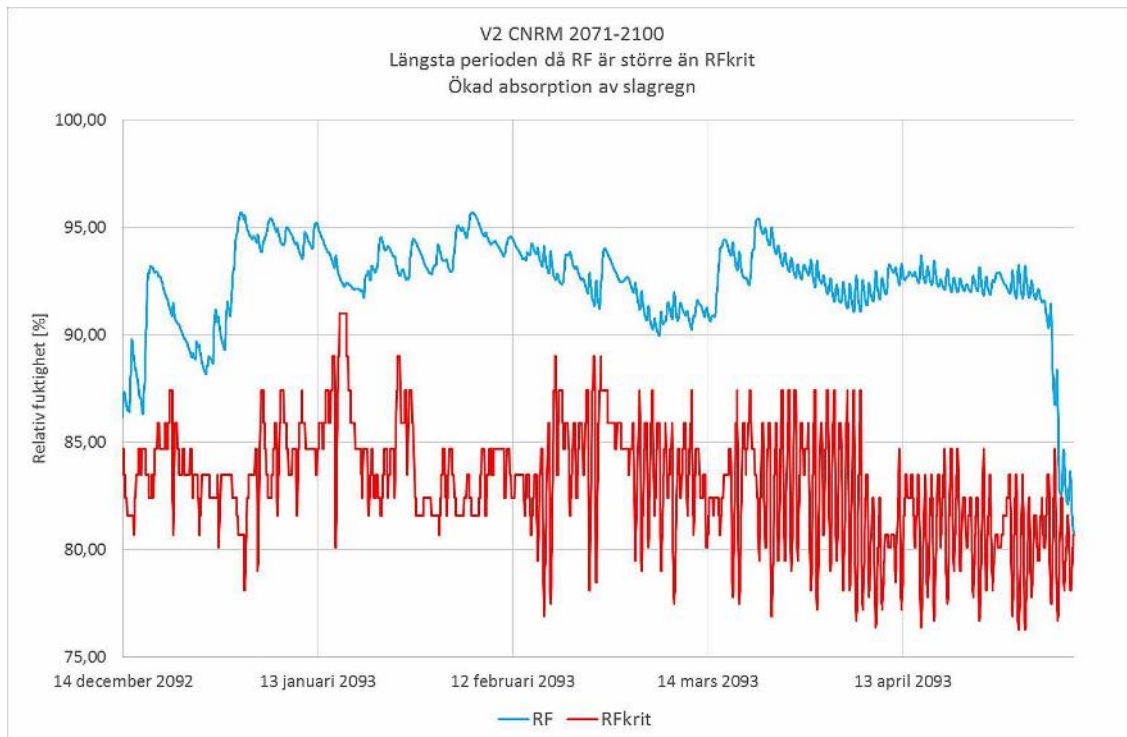
Det är tydligt att införandet av denna extra fuktlast kommer att försämra byggnadens funktion.

8.3 Väggsystem 2

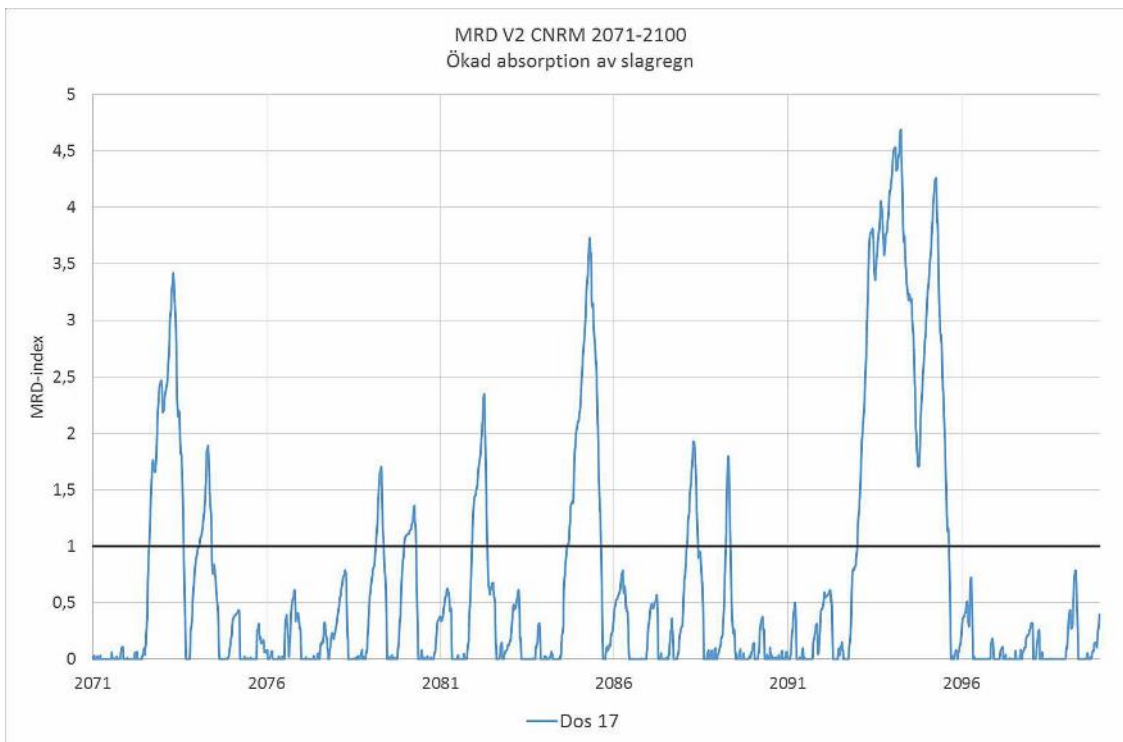
8.3.1 CNRM 2071–2100



Figur 8.7 Folos-diagram för V2 CNRM 2071–2100.

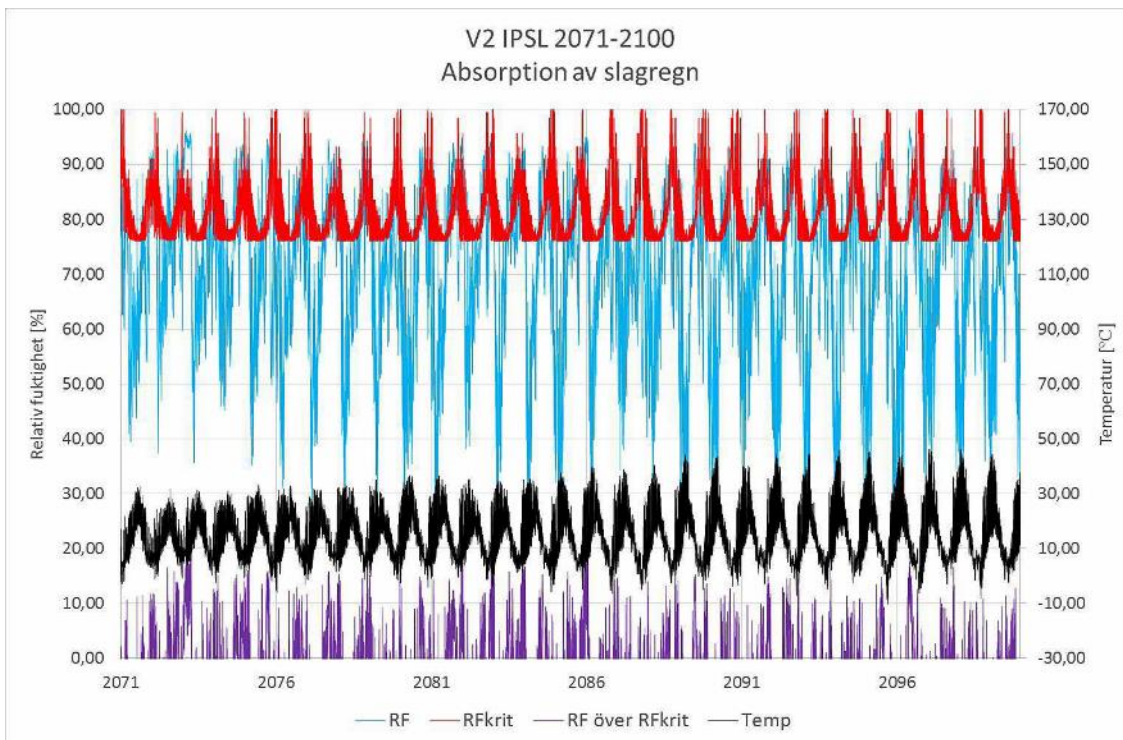


Figur 8.8 Längsta perioden då RF överskrider RFkrit är 146 dygn och 8 timmar.

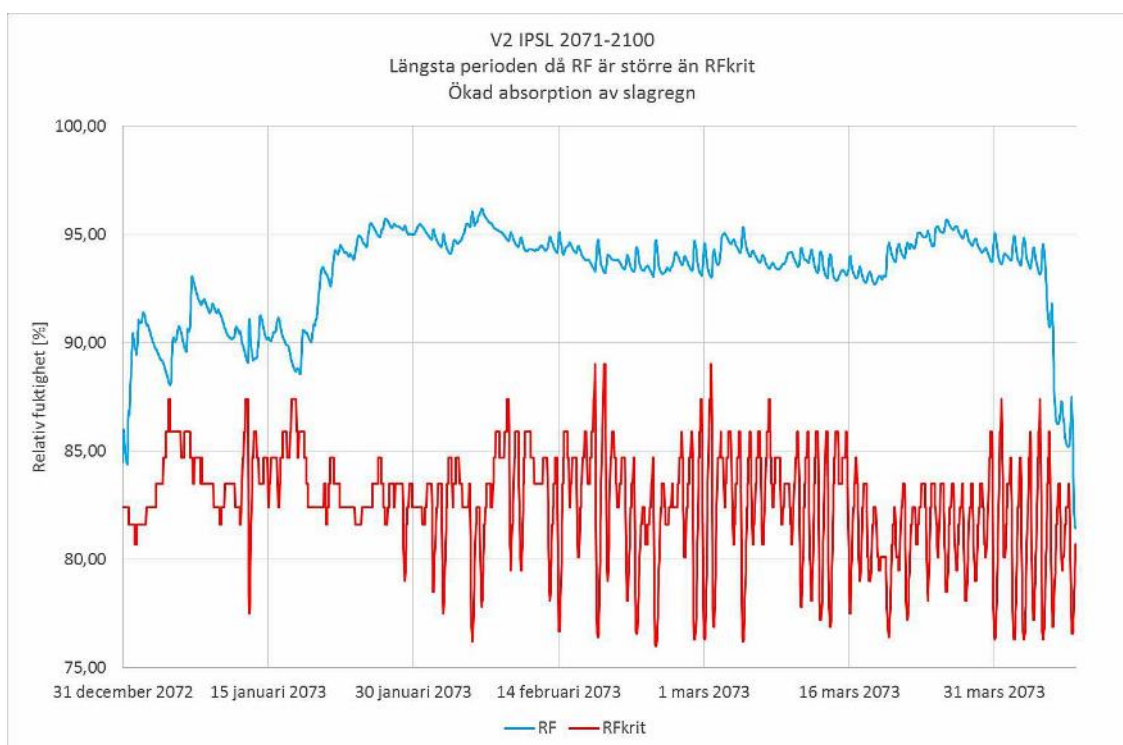


Figur 8.9 MRD-index (0-5).

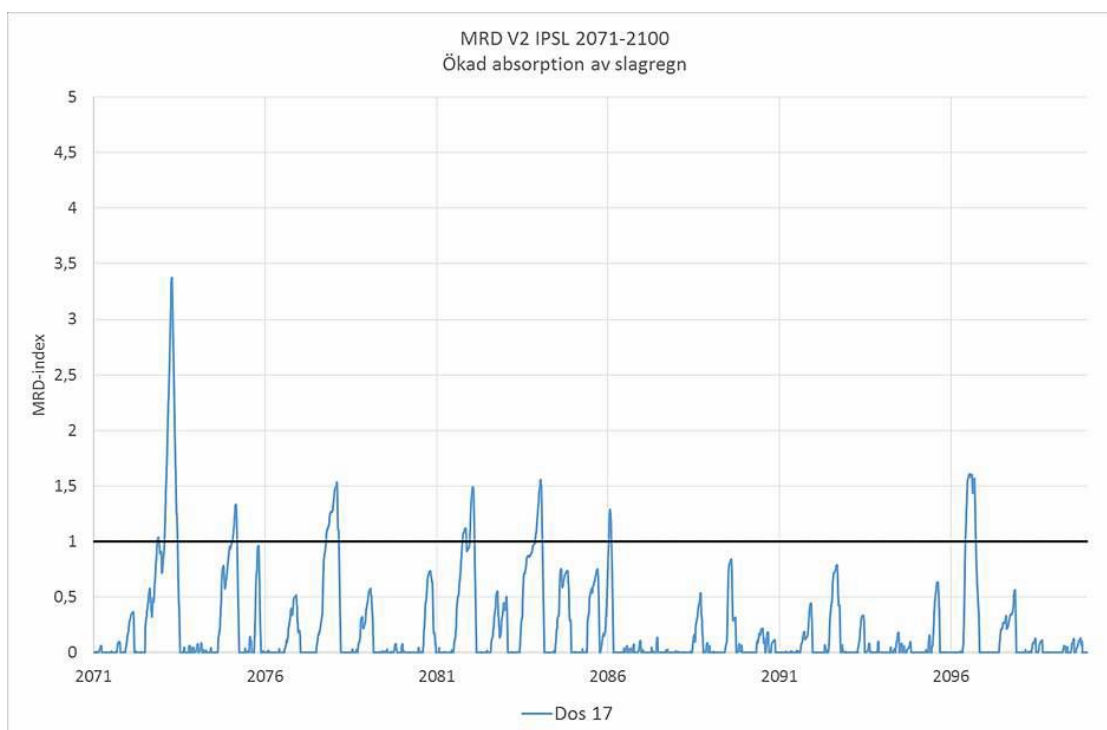
8.3.2 IPSL 2071–2100



Figur 8.10 Folos-diagram för V2 IPSL 2071–2100.



Figur 8.11 Längsta perioden då RF överskrider RFkrit är 98 dygn och 12 timmar.



Figur 8.12 MRD-index (0-5).

8.4 Analys – Ökad absorption av slagregn för väggsystem 2

Precis som för väggsystem 1 upplever väggsystem 2 ett klimat som är skadligt för konstruktionen. Skillnaden ligger i att denna passivhusvägg får aningen högre värde på MRD-dosen samt längre period då RF överstiger RF_{krit} när CNRM analyseras medan MRD-dosen är högre för väggsystem 1 när IPSL analyseras.

Den längsta perioden för väggsystem 2 då RF överstiger RF_{krit} är cirka 146 dagar (figur 8.8) och gäller för CNRM medan för IPSL är den längsta perioden cirka 98 dagar (figur 8.11). För basfallen är utfallen 17 dagar för respektive klimatfil.

Den högsta MRD-dosen inträffar precis som för väggsystem 1 i mitten på 2090-talet och är på 4,7 (figur 8.9). För IPSL är dosen på 3,4 (figur 8.12). För basfallen är motsvarande värden cirka 0,45 respektive 0,25.

Nästan samtliga toppar på MRD-diagrammen är högre än vad de är för väggsystem 1 och detta beror troligen på att möjligheten att torka ut förhindras av den tjockare fasadskivan som sitter på väggsystem 2.

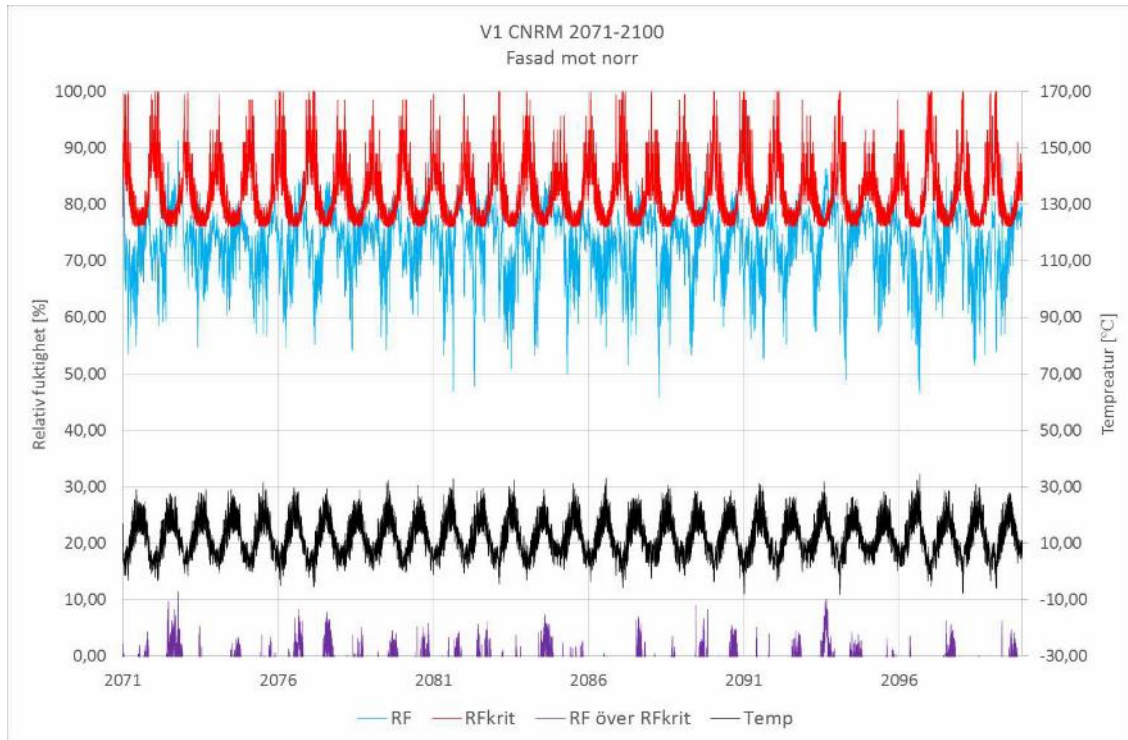
Tabell 8.1: MRD-dosen för basfallen (B.F) samt det aktuella fallet: Ökad absorption av slagregn (Ö.A).

	Väggsystem 1		Väggsystem 2					
	CNRM		IPSL		CNRM		IPSL	
	B.F	Ö.A	B.F	Ö.A	B.F	Ö.A	B.F	Ö.A
MRD-dos	0,4	4,5	0,5	3,5	0,45	4,7	0,25	3,4

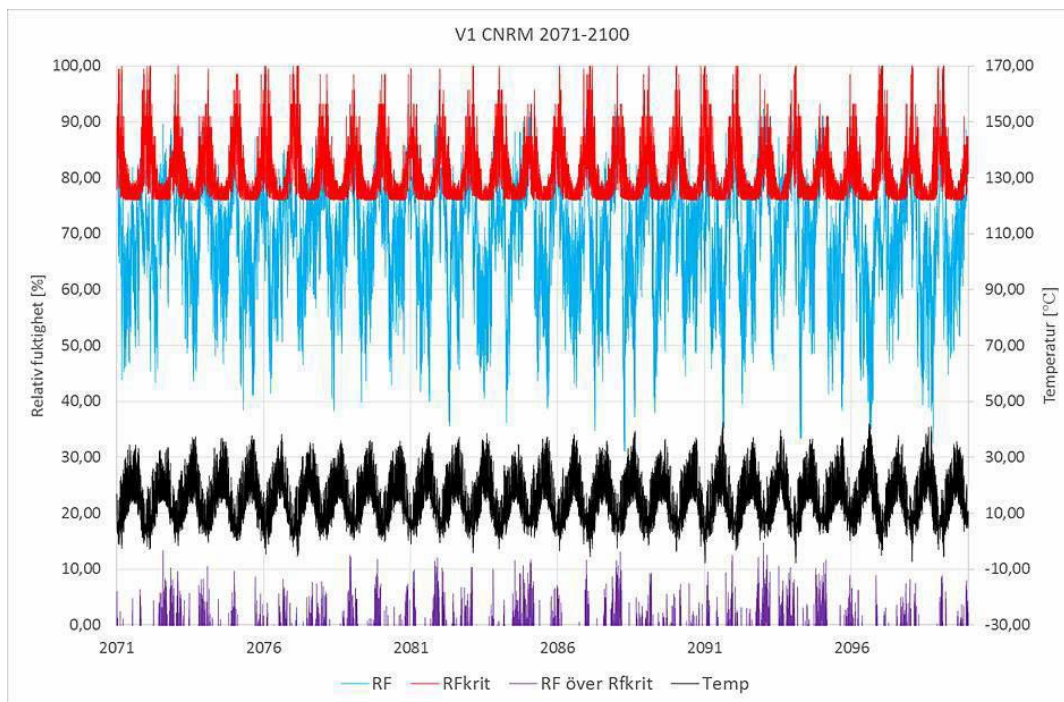
Sammanfattningsvis kan det konstateras att ingen av de båda väggsystem kommer att stå emot den fuktlast som en ökning av mängden slagregn genererar vid 3 % absorption. Om denna mängd slagregn tillåts tränga in i konstruktionen kommer omfattande skador att ske. Enligt simuleringarna kommer de dock klara av att stå emot klimatet om det bortses från ökningen.

9 PARAMETERSTUDIE – VARIERANDE VÄDERSTRECK, NORDFASAD

För att verkligen säkerställa att det är sydfasaden som är dimensionerande utfördes en simulering där fasaden är vänd mot norr. De förutsättningar som användes vid simuleringen var basfallet (se kapitel 3.1) för V1 under perioden 2071–2100 med klimatfilen CNRM.



Figur 9.1 Folos-diagram för V1 CNRM 2071-2100 där fasaden är vänd mot norr.



Figur 9.2 Folos-diagram för V1 CNRM 2071-2100 där fasaden är vänd mot syd.

9.1 Analys – Varierande väderstreck, nordfasad

Om det bortses från slagregn så är vanligtvis den dimensionerande fasaden nordfasaden (Mundt-Petersen, 2012) eftersom den sidan blir kallare än sydfasaden då det saknas solstrålning som värmer upp fasaden. Men det är inte verklighetstroget att bortse från slagregn eftersom det är en dimensionerande parameter, det iaktogs under fallet med ökad absorption av slagregn.

När figur 9.1 och figur 9.2 analyseras syns det tydligt att RF överstiger RF_{krit} i större utsträckning när fasaden är vänd mot söder vilket stärker tesen att sydfasaden är dimensionerande i Göteborg. Det utförs inga ytterligare simuleringar i form av MRD-diagram eller längsta perioden då RF är större RF_{krit} eftersom det anses vara tillräckligt med folos-diagram i detta fall.

10 PARAMETERSTUDIE – VARIERANDE TJOCKLEK PÅ FASADISOLERINGEN

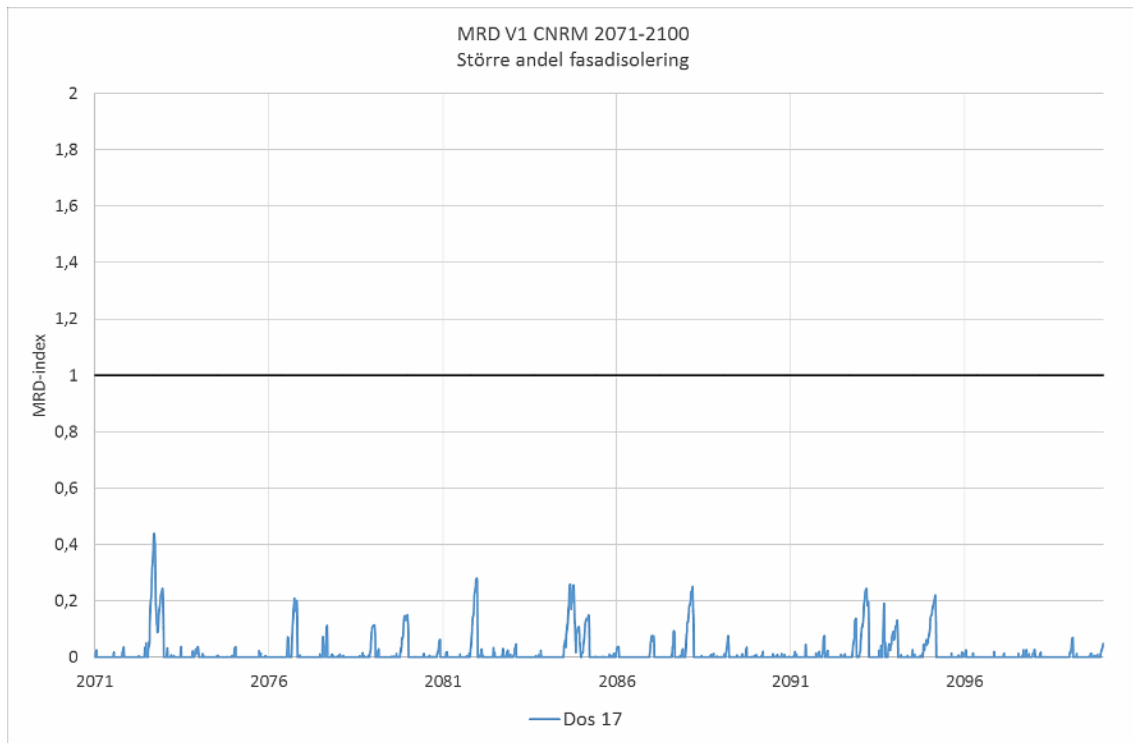
Efter ett antal simuleringar kan det konstateras att den bättre av de två väggarna är väggsystem 2 som motsvarar en passivhusvägg. Det finns ett undantag dock, studien där ökad dos inträngande slagregn introducerades. Att dimensionera för denna mängd slagregn är inte ett alternativ då det är en extrem ökning. Så det antas vara rimligt att ta slutsatsen att väggsystem 2 är den bättre.

I väggsystem 2 är den totala isolertjockleken 370 mm och fasadskivan är 80 mm djup, vilket betyder att fasadskivan står för 21,6 % av den totala isolertjockleken. I väggsystem 1 är den totala isolertjockleken 320 mm och fasadskivan är 45 mm djup. Detta motsvarar 14,1 %.

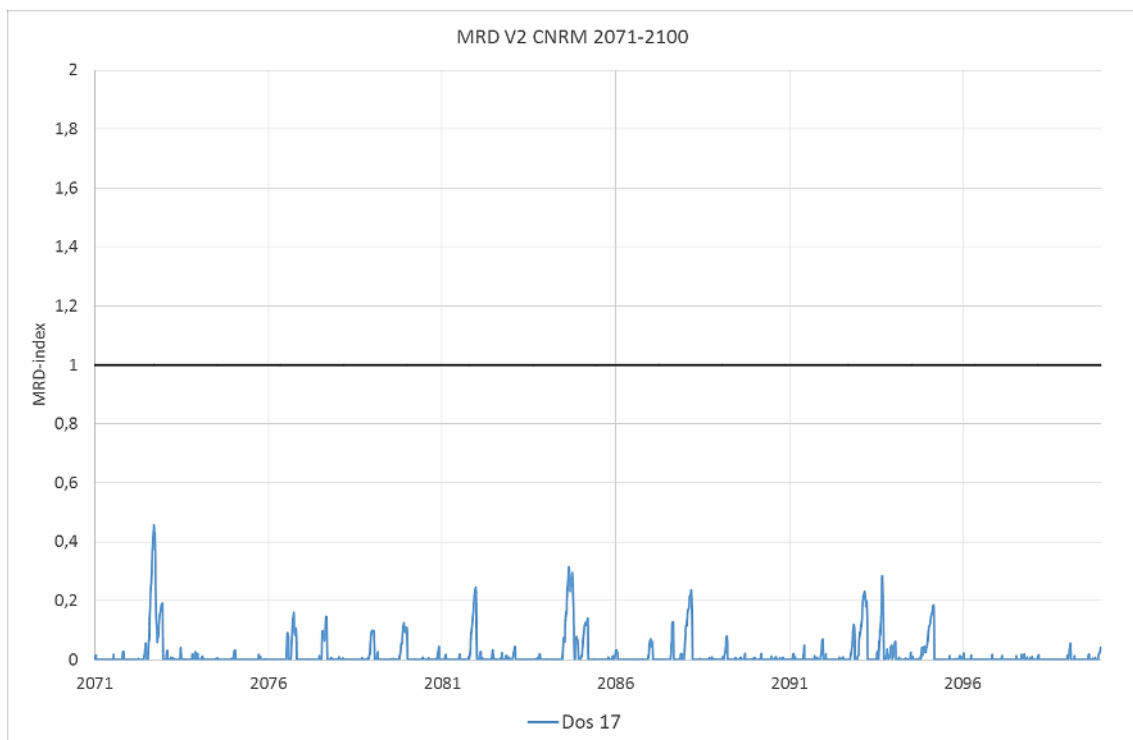
I denna studie undersöks det om det kan finnas en korrelation mellan fasadskivans procentsats i förhållande till den totala isolertjockleken för väggen. För att V1 skall få liknande procentsats som V2 måste fasadskivans tjocklek ökas. V1:s totala isolertjocklek på 320 mm behålls, men fasadskivan kommer att vara 70 mm vid simuleringarna. Med dessa proportioner blir procentsatsen 21,8, vilket får antas vara tillräckligt.

Klimatfilerna som kommer att användas vid dessa simuleringar är CNRM 2071–2100 och IPSL 2071–2100. Resultaten kommer att jämföras med V2 för samma klimatfiler och period.

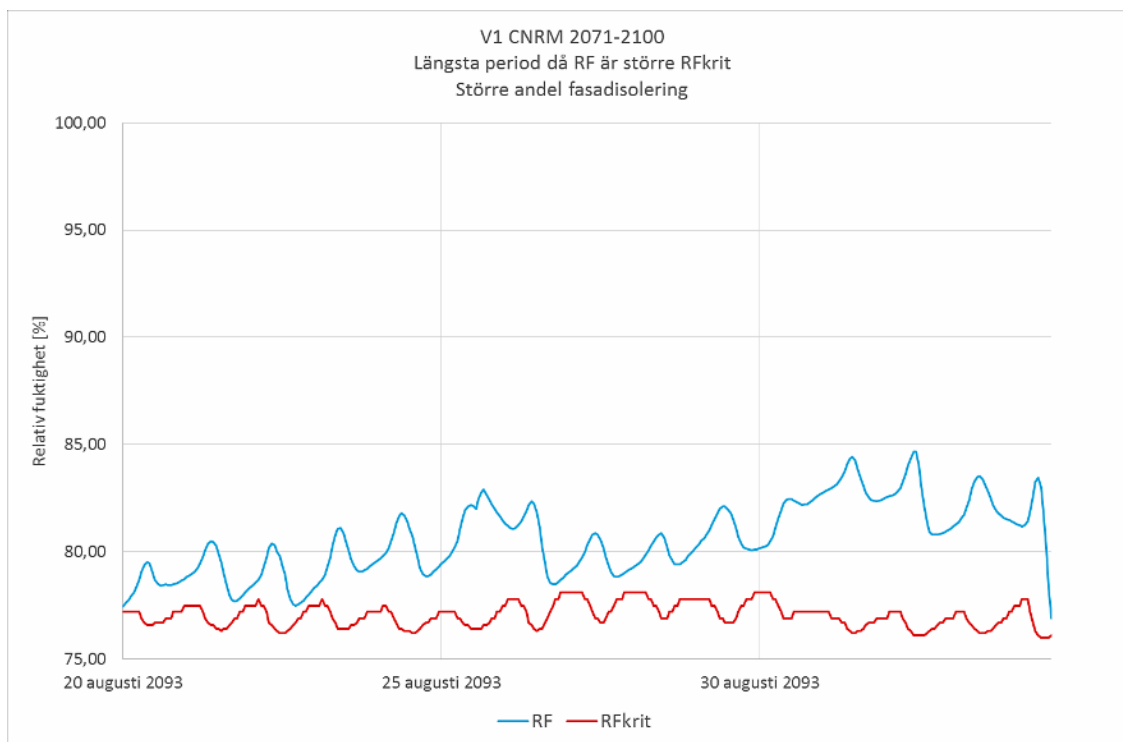
10.1 CNRM 2071–2100



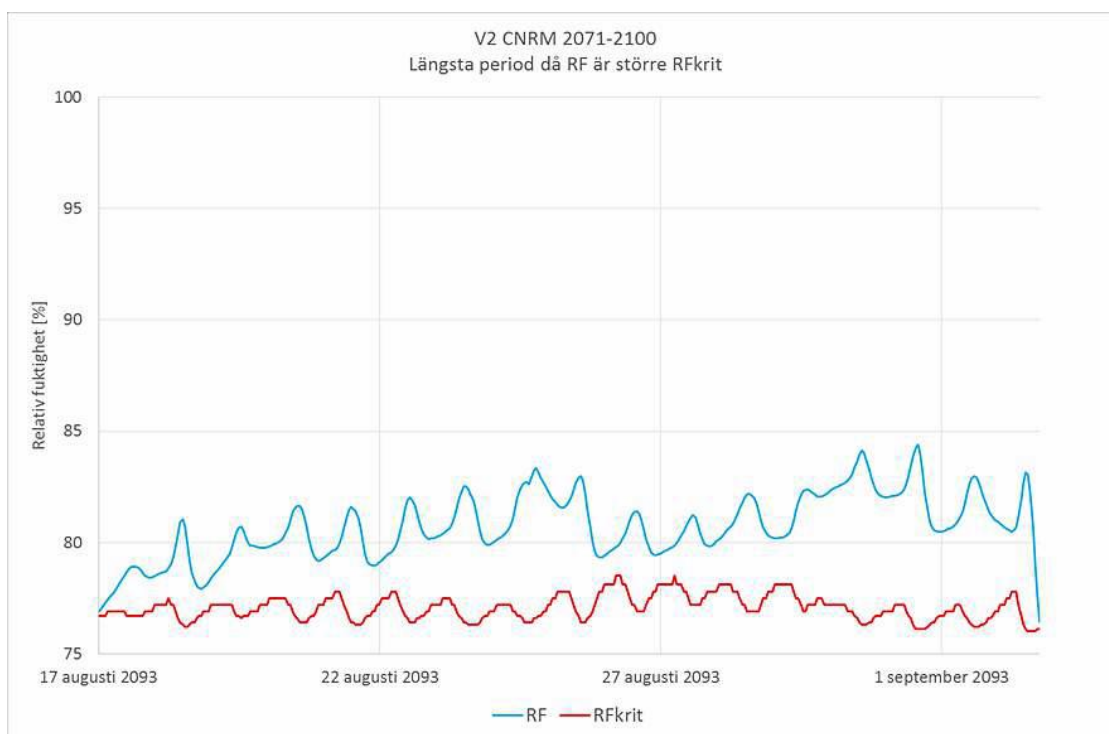
Figur 10.1 MRD-index (0–2) för V1 med ökad fasadisolering.



Figur 10.2 MRD-index (0–2) för V2 basfall.

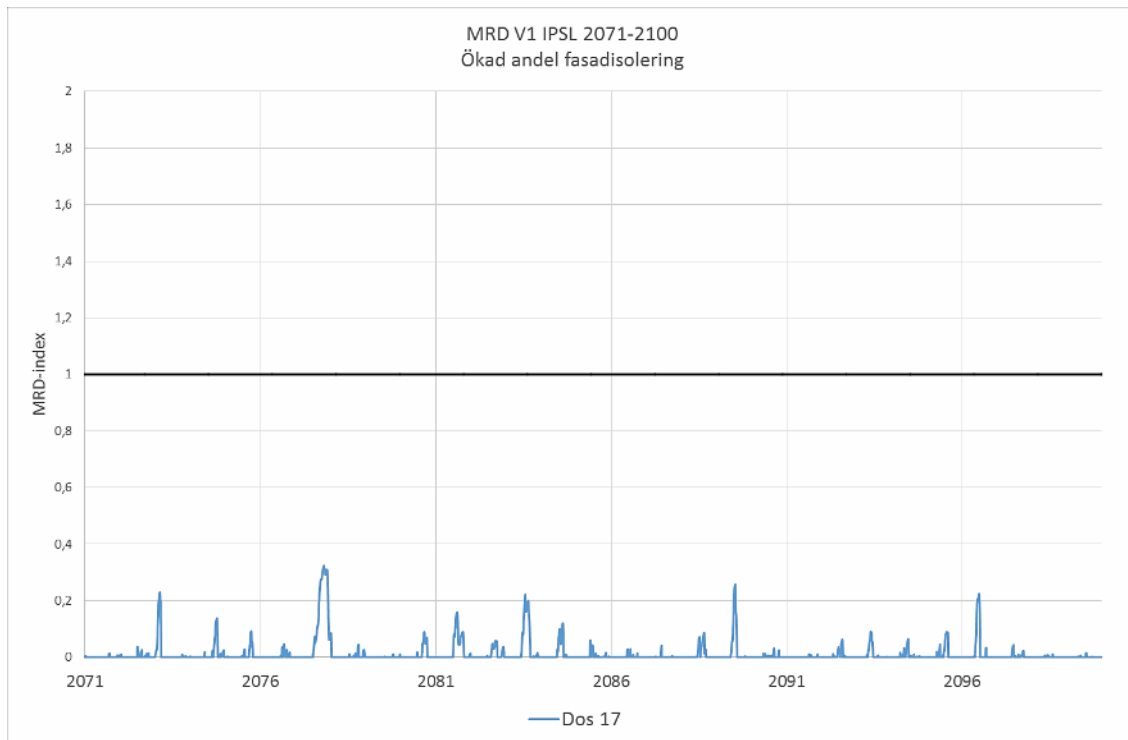


Figur 10.3 Längsta perioden då RF överskrider RFkrit är 14 dygn och 15 timmar.

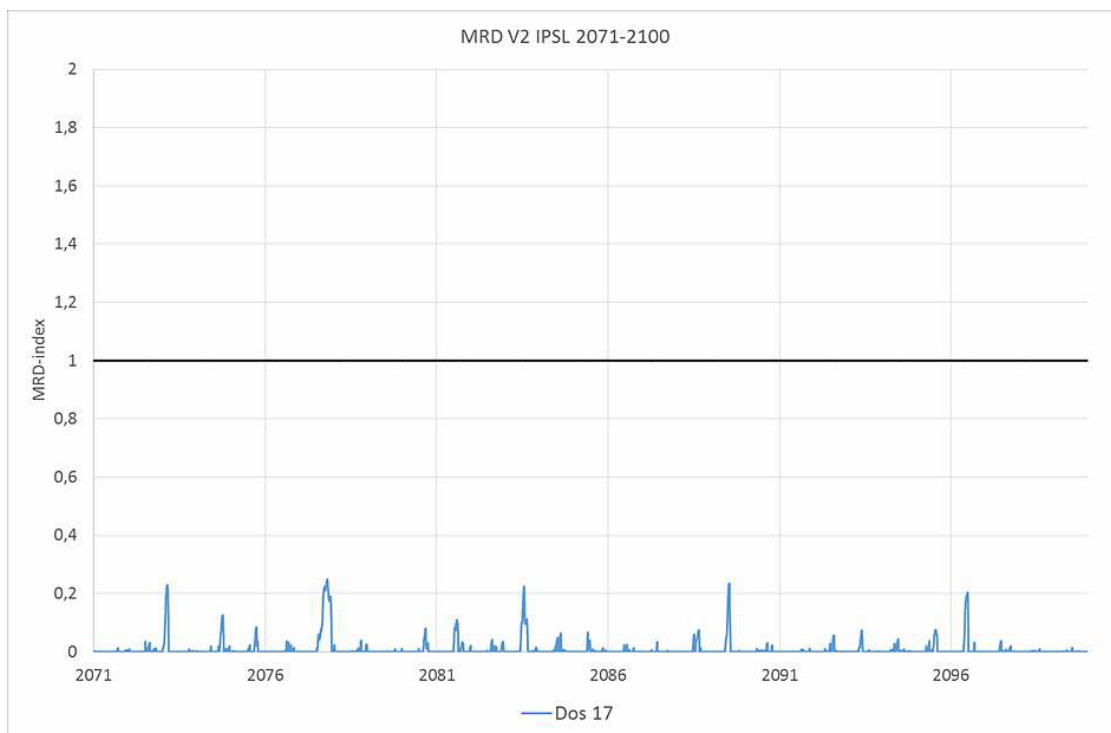


Figur 10.4 Längsta period då RF överstiger RFkrit är 16 dygn och 19 timmar.

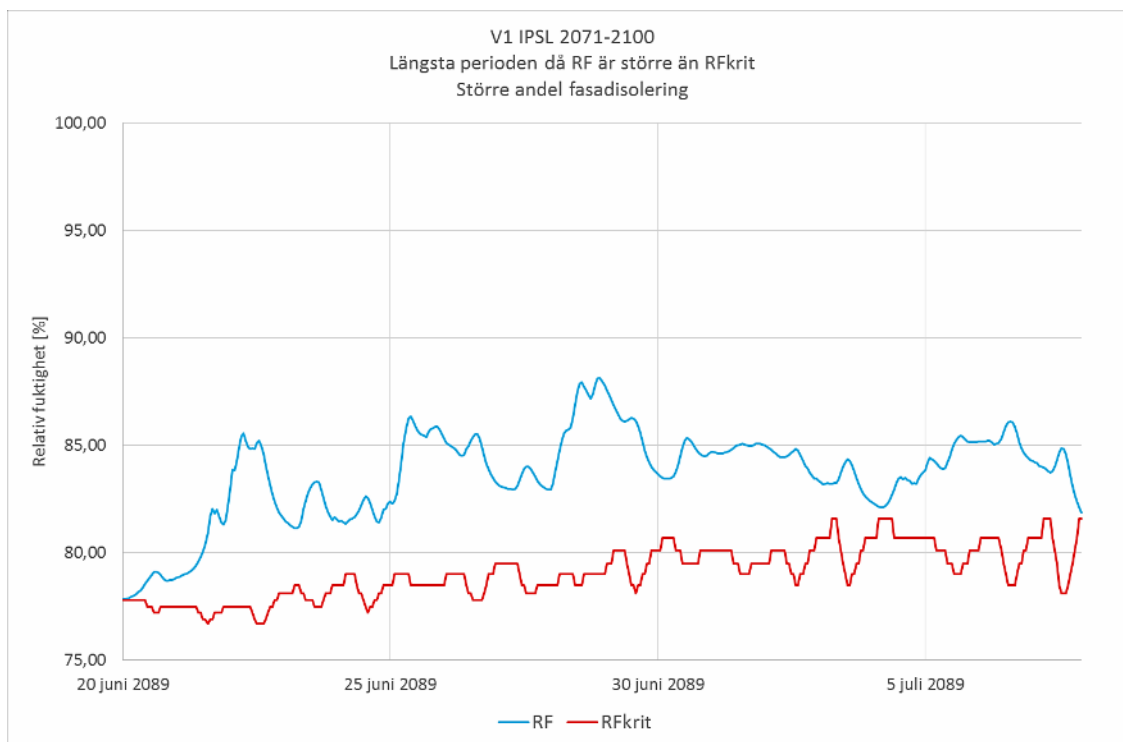
10.2 IPSL 2071–2100



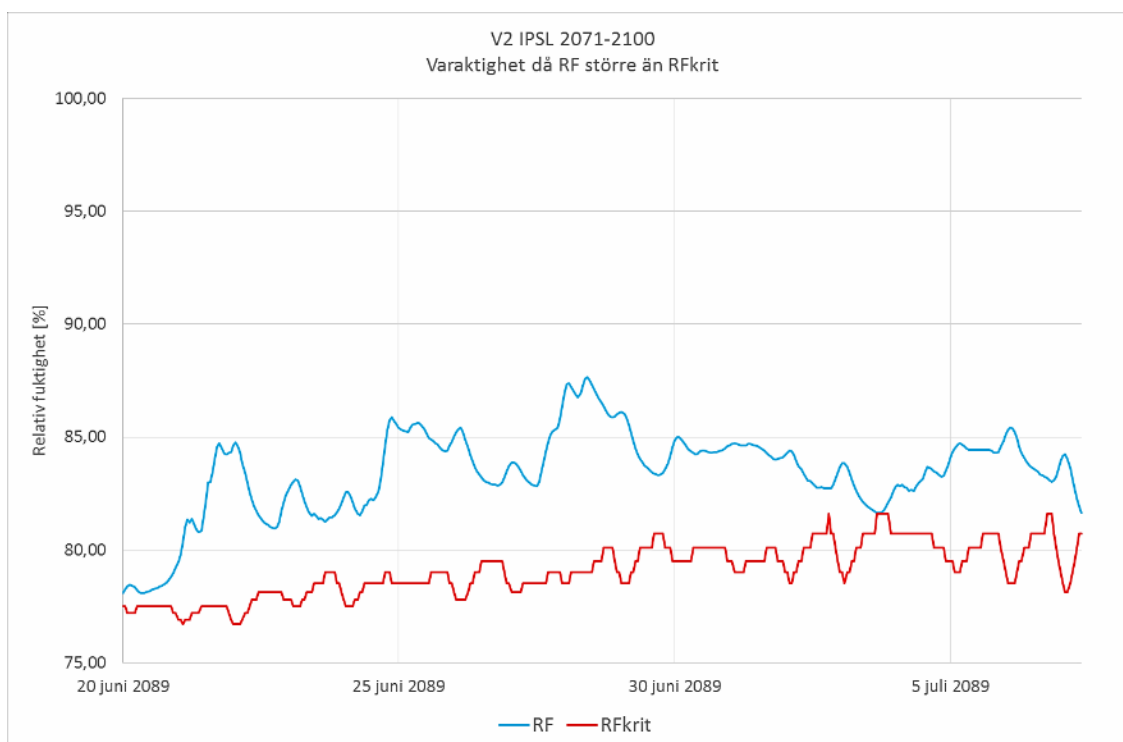
Figur 10.5 MRD-index (0–2) för V1 med ökad fasadisolering.



Figur 10.6 MRD-index (0–2) för V2 basfall.



Figur 10.7 Längsta perioden då RF överskrider RFkrit är 17 dygn och 23 timmar.



Figur 10.8 Längsta period då RF överskrider RFkrit är 17 dygn och 10 timmar.

10.3 Analys – Varierande tjocklek på fasadisoleringen

Trots att basfallen inte påvisade någon mikrobiell påväxt så blev det en klar förbättring genom att öka upp fasadisoleringens tjocklek. Jämförs MRD- diagrammen mellan V1 med ökad fasadisolering (figur 10.1 samt 10.5) och V2 (figur 10.2 samt 10.6) kan det konstateras att

kurvorna är lika eller väldigt snarlika för båda klimatfilerna. När fasadisoleringens tjocklek ökade sjönk MRD-dosen för de båda fallen, dosen blir inte lika hög samt de höga topparna återkommer inte lika frekvent. Detta påvisar att denna enkla förändring av fasadisoleringen kommer bidra till att väggsystemet klarar av att stå emot mikrobiell påväxt orsakat av det framtida klimatet lika bra som passivhusväggen, som har en större mängd isolering.

Även diagrammen över den längsta perioden då RF överstiger RF_{krit} är mer eller mindre identiska för båda klimatfilerna (figur 10.3, 10.4, 10.7 samt 10.8).

11 DISKUSSION

Klimatfilernas trovärdighet kan diskuteras eftersom olika klimatscenarion ger olika resultat. Det syns att klimatfilerna som ligger till grund för denna rapport skiljer sig avsevärt ifrån varandra i fråga om temperatur, relativ fuktighet o.s.v., där CNRM är ett klimatscenario som är värre än vad IPSL är. Det finns alltid en osäkerhet att använda data som ska försöka förutspå framtiden.

Eftersom klimatfilerna är rent matematiska så kan det finnas andra faktorer som påverkar hur vårt klimat kommer att vara i framtiden. En faktor som kan göra väsentliga skillnad är politiska mål, många av världens länder arbetar hårt för att kunna lämna över ett samhälle där många av de stora miljöproblemen är lösta och det är svårt i dagsläget att avgöra om problemen kommer minska eller öka. Ytterligare en faktor som kan påverka klimatet är teknikens utveckling. Om en kraftig minskning av koldioxidutsläpp blir möjlig kan den globala medeltemperaturen stagnera och det finns en möjlighet att hålla den globala temperaturökningen under 2°C .

Folos-diagrammet är tillräckligt bra för att skapa en uppfattning om det kan föreligga en risk för konstruktionen eller inte. Grunden till diagrammet bygger på att man kan avläsa när RF överskrider RF_{krit} och på så vis få information om konstruktionen befinner sig i ett ogynnsamt klimat. Diagrammet visar inte varaktighet när det behandlas så långa perioder som denna rapport har hanterat, vilket innebär att det inte går att avläsa om det kommer uppstå problem med mikrobiell påväxt. Många diagram som har producerats för denna rapport innehåller höga toppar på linjen som visar RF över RF_{krit} trots att MRD-dosen inte överstiger det kritiska värdet. För att folos-diagrammet skall fungera bra behöver det kompletteras med diagram som även hanterar varaktighet.

Granskas basfallet för väggsystem 1 med klimatdatan IPSL under perioden 2071–2100 kan det avläsas att den period då RF överstiger RF_{krit} uppgår till 20 dagar. Men trots att konstruktionen befinner sig i ett så pass ogynnsamt klimat under en relativt lång tid ger inte MRD-modellen något utslag som påvisar mikrobiell påväxt.

Det valdes att lägga in en extra belastning mot konstruktionen i form av en relativt stor mängd slagregn (3 %) istället för basfallets 1 % för att få en reaktion från programmet. Som det nämndes i ett tidigare kapitel har studier visat att cirka 1 % av slagregnet som träffar fasaden tränger igenom otätheter. Eftersom WUFI är ett endimensionellt simuleringsprogram och verkligheten är tredimensionell så uppstår en konflikt vid fallet med extra absorption av slagregn. Programmet hanterar slagregnet som att det tränger igenom över hela fasaden och inte enbart vid otätheter. Att öka djupet på något av byggmaterialen utanför stommen kommer inte ge ett resultat som skiljer sig signifikant från ursprungsfallet då det aktivt väljs att en viss mängd (%) slagregn kommer att tränga in till skiktet där det väljs att placera den aktuella fuktkällan. Valet av att låta 1% slagregnet tränga in innanför luftspalten när beräkningen är endimensionell är långt ifrån självklar. Det finns väldigt lite statistik på regninträngning i fasader. Vi vet att regninträngning ofta sker genom sprickor och hål och därför inte alls fördelar sig jämt över

fasaden. Det antyder att en två eller tredimensionell beräkning hade varit beräkning. Men eftersom vi inte vet fördelning av sprickor och hål med påföljande regninträngning i en ”normal” fasad så skulle en två eller tredimensionell beräkning inte självklart ge mer realistiska data när det gäller att testa robustheten hos en konstruktion. Blinda beräkningar utförda av Mundt-Petersen (2013) visar rimliga resultat i jämförelse med mätningar med denna enkla modell. Problemet kan inte med det sagt anses vara utrett, men alternativet att använda 0% regninträngning blir att totalt ignorera problemet.

Trots att det blir vanligare att bygga med fasadskiva så förekommer det konstruktioner utan. Det byggs fortfarande konstruktioner där det yttersta lagret innan luftspalten är en skiva av utegips. Enligt de resultat som rapporten har gett så är det av yttersta vikt att det monteras en fasadisolering med korrekt tjocklek för att i största mån undvika problem med fukt. Då fasadisolering är ett relativt nytt byggmaterial så borde det utföras simuleringar med samma klimatdata där det tas hänsyn till äldre byggmetoder, däribland en konstruktion utan fasadskiva.

En trend som har visats under simuleringarna är att MRD-dosen ökar för varje 30-årsperiod som klimatfilerna baseras på. Konstruktionerna som har presenterats i denna rapport har stor sannolikhet att klara av det framtida klimatet om de byggs på ett korrekt fackmannamässigt sätt. En villa som byggs idag förväntas ha en livstid på mellan 75 och 100 år, vilket sträcker sig mellan tidsperioden 2090–2115. Då är det högst relevant hur konstruktionerna kommer uppträda under de perioder som har simulerats, men det är inte nödvändigt att försöka förutspå klimatet efter 2100 år. Detta är något som eventuellt behövs undersökas om tidigast 20 år då tekniken har utvecklats.

I fallet där fasadisoleringen tjocklek ökades på V1 så att den fick ungefär samma procentsats som V2 upptäcktes ett samband mellan fasadisoleringens tjocklek och den totala isolertjockleken. Alla diagram som jämfördes mellan de båda väggsystemen hade mer eller mindre identiska kurvor trots att V2 är ett aningen tjockare väggsystem. Det skiljer inte mycket i tjocklek mellan väggsystemen (50 mm), så om det har med procentsatsen eller fasadisoleringen tjocklek att göra är ett fall som hade varit intressant att simulera. Men om det har med procentsatsen att göra så är det svårt att avgöra vilken procentsats som är den mest optimala utifrån resultaten då det inte fanns tid för ytterligare simuleringar. Att sätta 20 % som en fingervisning i dagsläget är något att rekommendera. Om det har med tjockleken på fasadisoleringen att göra, kan det rekommenderas att montera minst 70 mm.

Det har påvisats att båda väggsystemen är känsliga för minskad luftomsättning under perioden 2021–2050. Då vi sett att klimatet år 2071–2100 är en värre period relaterat till fuktproblem, antas att ett värre utslag på MRD-index skulle uppstå för den senare perioden. Det är relativt enkelt att få en korrekt utförd luftspalt på en konstruktion med träpanel som fasadmateriell, men desto svårare på en konstruktion med fasadtegel då det lätt trycks ut ”murbrukstungor” på baksidan av teglet. För att minimera risken med att få en försämrade luftomsättning krävs det att monteringen utförs enligt fackmannamässiga regler.

För att undvika fuktproblem i konstruktionen krävs det att inomhusluften skiljs åt från stommen med en ångspärr. I fallet med luftläckage inifrån kunde det avläsas att det kan ske mikrobiell påväxt ifall ångspärren inte är korrekt monterad. WUFI behandlar inte läckage genom revor och hål, i denna rapport har jämnt fördelat läckage antagits.

Detta är givetvis ett svårt moment under produktionen då det inte är lätt att få täta hörn och liknande. Det finns även en okunskap angående fuktprojektering bland hantverkare. Att utbilda

de människor som arbetar dagligen med detta kan vara ett steg i rätt riktning i att bygga fuktsäkert.

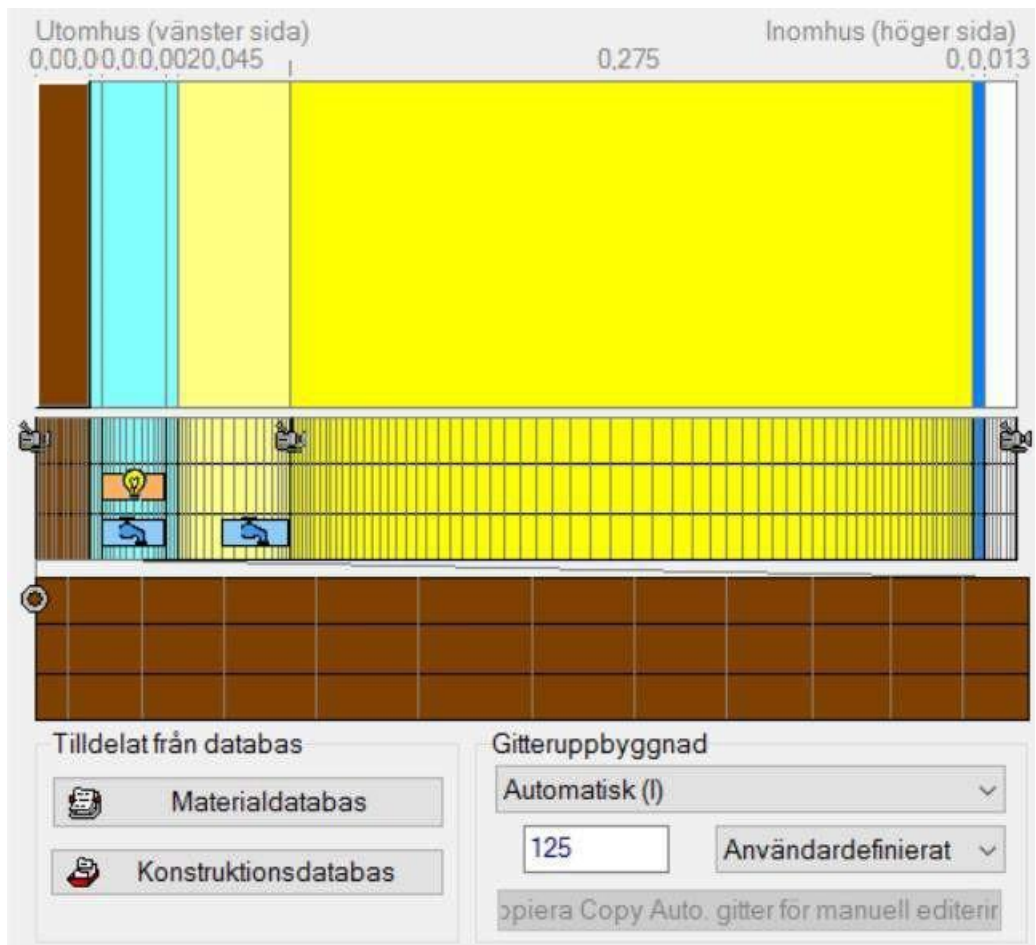
Ett annat problem som kan uppstå om ett par år är att det upptäcks att den ålderbeständiga tejpens inte har ett fungerande lim längre, vilket gör att den faller av och skapar stora otätheter i ångspärren och lämnar konstruktionen blottad.

BBR tar inte upp varaktighet, temperatur eller variationer hos fuktbelastningen vid reglerna för högsta tillåtna fukttillstånd. Dessa parametrar är direkt kopplade till risk för mikrobiell påväxt. I BBR finns endast regler gällande ett materials fuktkvot. Om parametrar för varaktighet och temperatur implementeras i BBR, t.ex. genom krav på fuktanalyser med MRD-modellen, skulle förståelsen öka samt risken för fuktskador minska.

11.1 Felanalys av simuleringar i WUFI

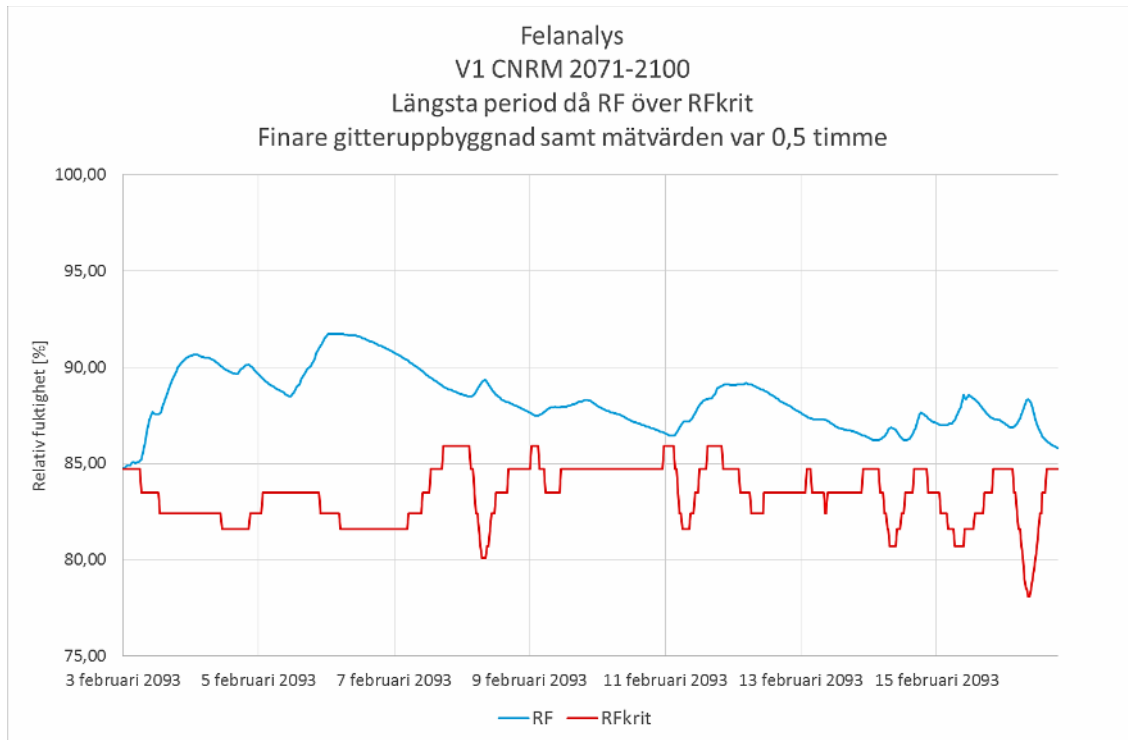
Vid simuleringar i WUFI finns inställningar för gitteruppbyggnad samt tidssteg. Dessa påverkar simuleringsresultatets precision. Varje ruta i gitteruppbyggnaden analyseras vid simuleringar. Väljs ett finare gitter (rutnät) ger det ett mer noggrant resultat. Väljs ett tidssteg på 1 h i WUFI görs en beräkning varje timma. Ändras tidssteget till ett kortare intervall fås således fler mätpunkter och ett mer exakt resultat. Om inställningarna för gitteruppbyggnad ändras till det finare samt kortare tidssteg, tar simuleringarna längre tid och större mängd data behöver hanteras.

I detta arbete har gitteruppbyggnaden satt till 100, vilket klassas som "fint" i WUFI. Tidssteget som använts har varit 1 h. För att göra en felanalys har en simulering med gitteruppbyggnad på 125, se figur 11.1 samt tidssteg 0,5 h gjorts. Felanalysen är gjord för väggsystem 1, med klimatdata CNRM 2071–2100.



Figur 11.1 Gitteruppbyggnad för felanalysen.

För att tydligt kunna jämföra skillnader i resultatet jämförs den längsta tidsperiod då RF är över RF_{krit} . Om vi studerar diagrammet från felanalysen nedan (figur 11.2) och jämför med figur 14.26 ser vi att tidsperioden då RF är över RF_{krit} infaller samma tidsperiod och endast skiljer 2 timmar. Vilket indikerar att den gitteruppbyggnad och tidssteg på 1 timme som använts genom arbetet är tillfredställande.



Figur 11.2 Längsta perioden då RF överskrider RF_{krit} är 13 dygn och 20 timmar för felanalysen.

12 SLUTSATS

Väggarnas förmåga att motstå mögel och mikrobiell påväxt var högre än vad som förväntades vid begynnelsen av rapportskrivandet. Inget av de båda väggsystemen påvisar mikrobiell påväxt vid något av basfallen.

Den simulering som skiljer sig signifikant från de andra fallen är fallet med extra absorption av slagregn. Att slagregnet tänger ända in till stommen vid vissa konstruktioner kan konstateras.

Gjorda studier visar även att slagregnsinträngningen i många fall överstiger 1 %.

Funktionsverifierade konstruktioner bör implementeras vid byggande. Studier där fasadskivans tjocklek, slagregnsinträngning vid detaljer osv måste göras. Detta för att verifiera att mängden inträngande slagregn samt fuktkällans djup i konstruktionen håller godtagbara värden.

Att undvika ett fuktläckage inifrån är viktigt. Rapportens resultat visar att mögelpåväxt kommer ske, om ett läckage inifrån uppstår. För att undvika detta bör mätningar och läckagesökning göras under produktionstiden samt efter färdigställandet av byggnaden.

Trots att RF överstiger RF_{krit} under en längre tid behöver det inte nödvändigtvis betyda att det skadar konstruktionen. För att få en korrekt bild av fuktproblem bör MRD-modellen implementeras vid fuktprojektering.

Med ökad fasadisolering förbättras klimatet vid stommens utsida ur ett fukttekniskt perspektiv. Att använda sig av minst 20 % fasadisolering av den totala isolertjockleken eller minst 70 mm är att rekommendera. Detta för att få ett avstånd mellan den bärande stommen och luftspalten som ofta har hög relativ fuktighet pga exponeringen mot uteklimatet.

Luftspaltens omsättning är en kritisk faktor till fuktproblem. En korrekt utförd luftspalt är extremt viktig för konstruktionens förmåga av avleda fukt.

Teknisk utveckling samt nya mätningar ger större kunskap om hur det framtida klimatet kommer att se ut. Klimatfiler uppdateras kontinuerligt vilket innebär att beräkningar och kontroller bör göras med jämna mellanrum, för att analysera det framtida klimatets inverkan på dagens konstruktioner.

13 REFERENSER

- BBR, 2017. Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (BFS 2017:5) föreskrifter och allmänna råd.
- Berggren B, Wall M. 2012. Moisture Conditions in exterior walls for net zero energy buildings in cold climate considering future climate scenarios.
- Ejnar J, Nilsson J. 2008. Fuktskador i byggnader.
- Elmarsson B, Nevander L-E, 1994. Fukthandboken.
- Folkhälsomyndigheten, Socialstyrelsen. Temperatur inomhus, 2005.
<https://www.folkhalsomyndigheten.se/pagefiles/12940/temperatur- inomhus.pdf>
- Hartwig M. Künzel, Daniel Zirkelbach, Beate Schafaczek, 2012, Modelling the effect of air leakage in hygrothermal envelope simulation, Building Enclosure Science & Technology Conference (BEST3), Atlanta 2012.
- Johansson P, 2012. Kritiskt fuktillstånd för mikrobiell tillväxt på byggmaterial, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.
- Johansson P m.fl. 2005. Kritiskt fuktillstånd för mikrobiell tillväxt på byggmaterial – kunskapssammanfattning, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.
- Mundt-Petersen S.O. 2012. Fuktsäkra träkonstruktioner. LTH.
- Mundt-Petersen, S. Olof, 2013. Moisture Safety in Wood Frame Walls. Blind evaluation of the hygrothermal calculation tool WUFI 5.0 using field measurements and determination of factors affecting the moisture safety. Report TVBH-3059 Lund 2013, Building Physics LTH, Sweden. ISRN LUTVDG/TVBH--13/3059--SE(168), ISSN 0349-4950, ISBN 978-91-88722-50-8.
- Nik V, Mundt-Petersen O, 2015. Future moisture loads for building facades in Sweden: Climate change and wind-driven rain.
- Nik, Vahid, 2012. Hygrothermal Simulations of Buildings Concerning Uncertainties of the Future Climate. Ph D thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden. ISBN 978-91-7385-689-8
- Nik M. Vahid, Mundt-Petersen, S. Olof, Kalagasidis, Angela Sasic, De Wilde, Pieter, 2015, Future moisture loads for building facades in Sweden: Climate change and wind-driven rain, Building and Environment 93 (2015) 362-375.
- Nilsson L-O. 2009. Kunskapsläge och råd kring fuktsäker projektering och tillämpning av fuktkrav i BBR för träkonstruktioner. LTH.
- Olsson, Lars. 2015. Laboratoriestudie av inläckagemängder i 7 olika otätheter i fasad exponerad för slagregn och vattenstänk.
- Olsson, Lars, 2014. Moisture Conditions in Exterior Wooden Walls and Timber During Production and Use. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden. ISSN no. 1652-9146.
- SMHI. Sveriges klimat om 100 år. <http://www.smhi.se/k- data/klimatpresentation/smhi4.swf> (Hämtad 2016-04-20)

Thelandersson S m.fl. 2013. Fuktsäker utformning av klimatskiljande byggnadsdelar med fuktkänsliga material. LTH.

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

Van Den Bossche, N., Lacasse, M., Janssens, A., Watertightness of masonry walls: An overview, 12th International conference on durability of building materials and components, XII DBMC, Porto – Portugal 2011

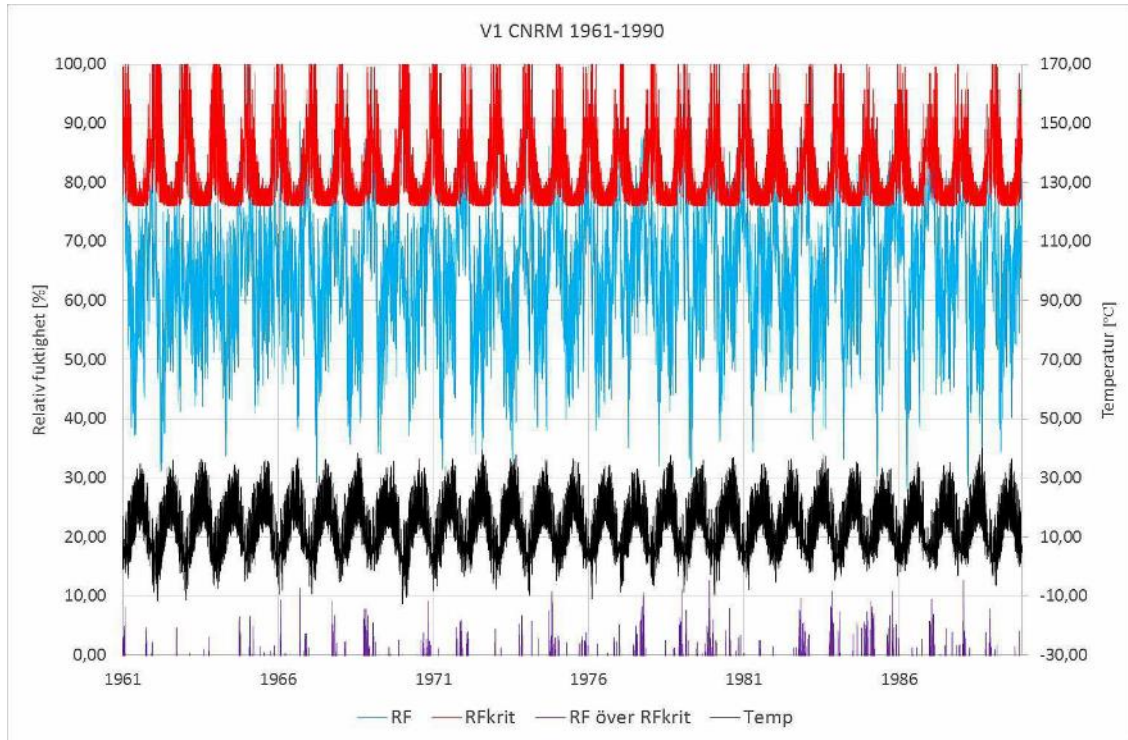
Viitanen, H. 1996. Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden materials and wooden structures. Effect of humidity, temperature and exposure time. Doktorsavhandling, SLU Uppsala.

14 APPENDIX A

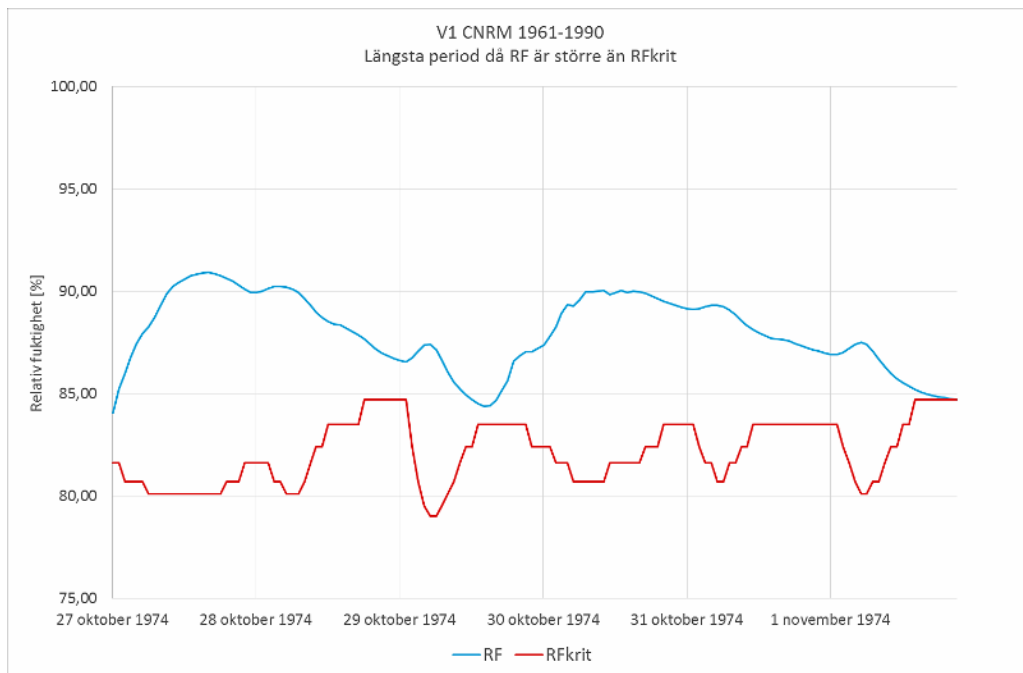
14.1 A.1 Basfallen

Basfall Väggsystem 1

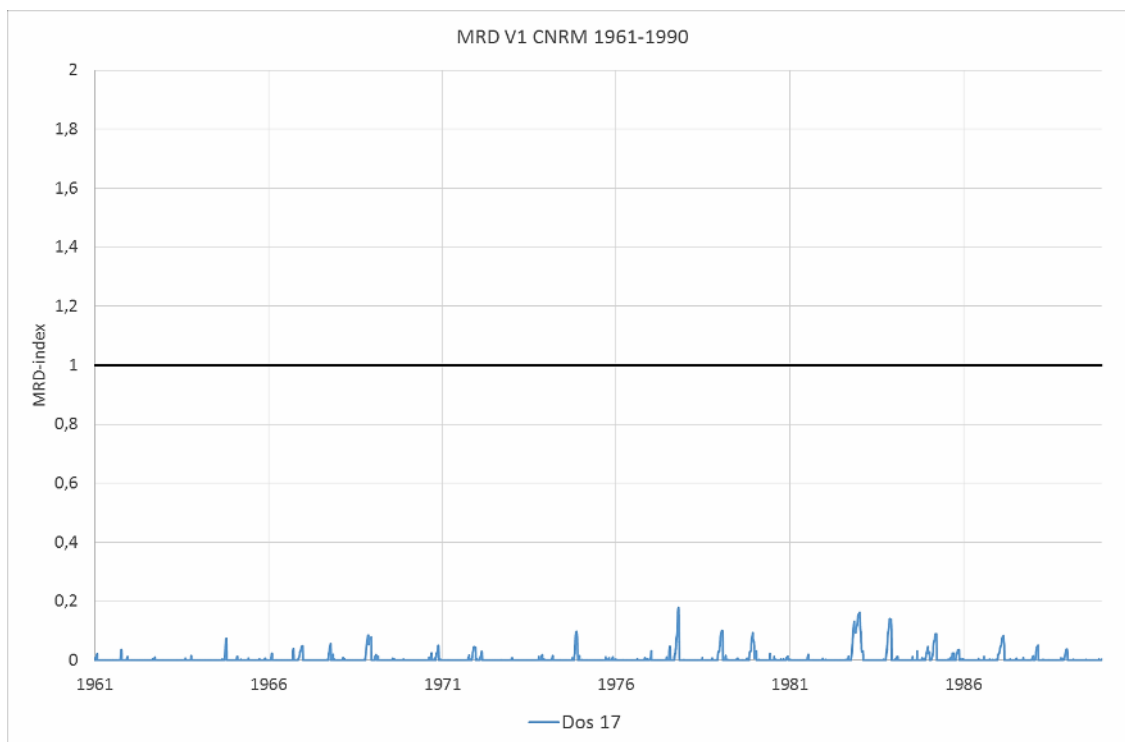
14.1.1 A.1.1 CNRM 1961-1990



Figur A.1 Folos-diagram för V1 CNRM 1961–1990.

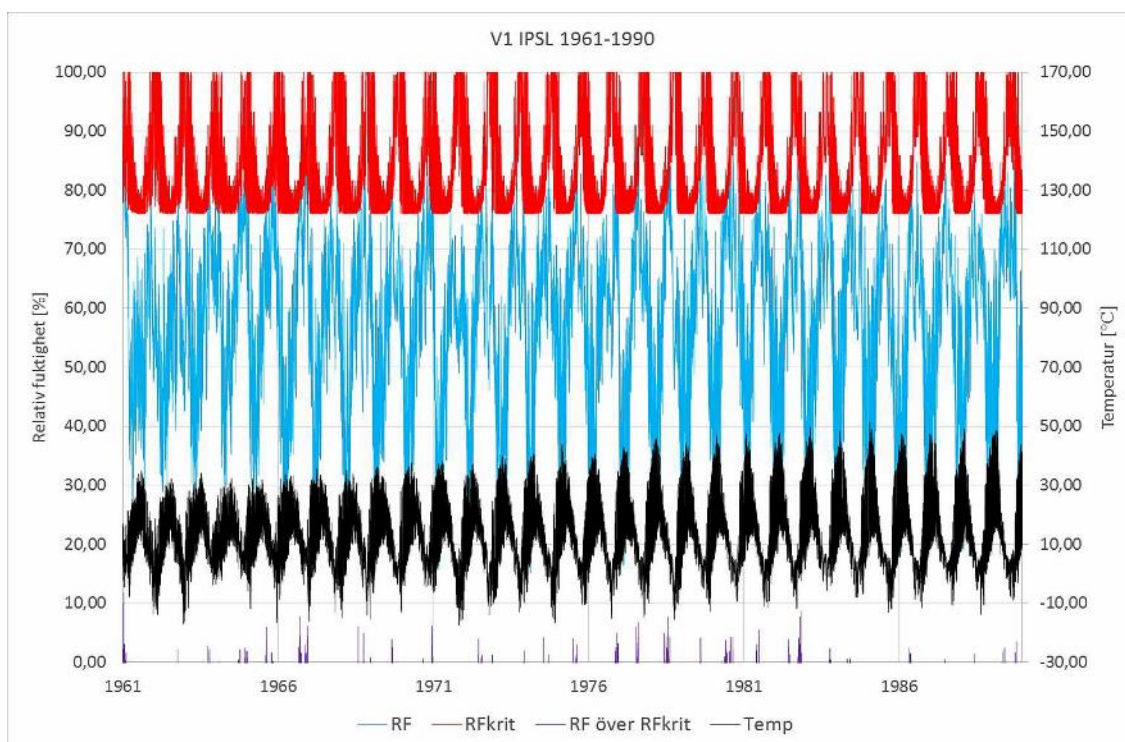


Figur A.2 Längsta period då RF överskrider RFkrit är 5 dygn och 22 timmar.

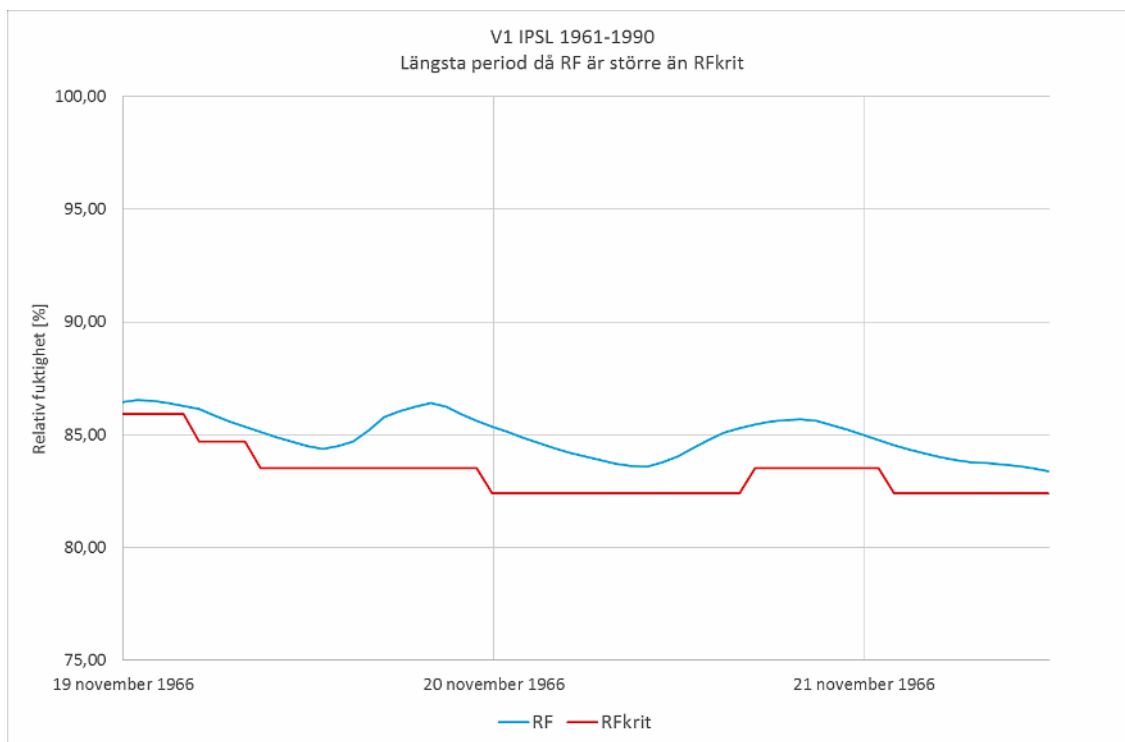


Figur A.3 MRD-index (0-2).

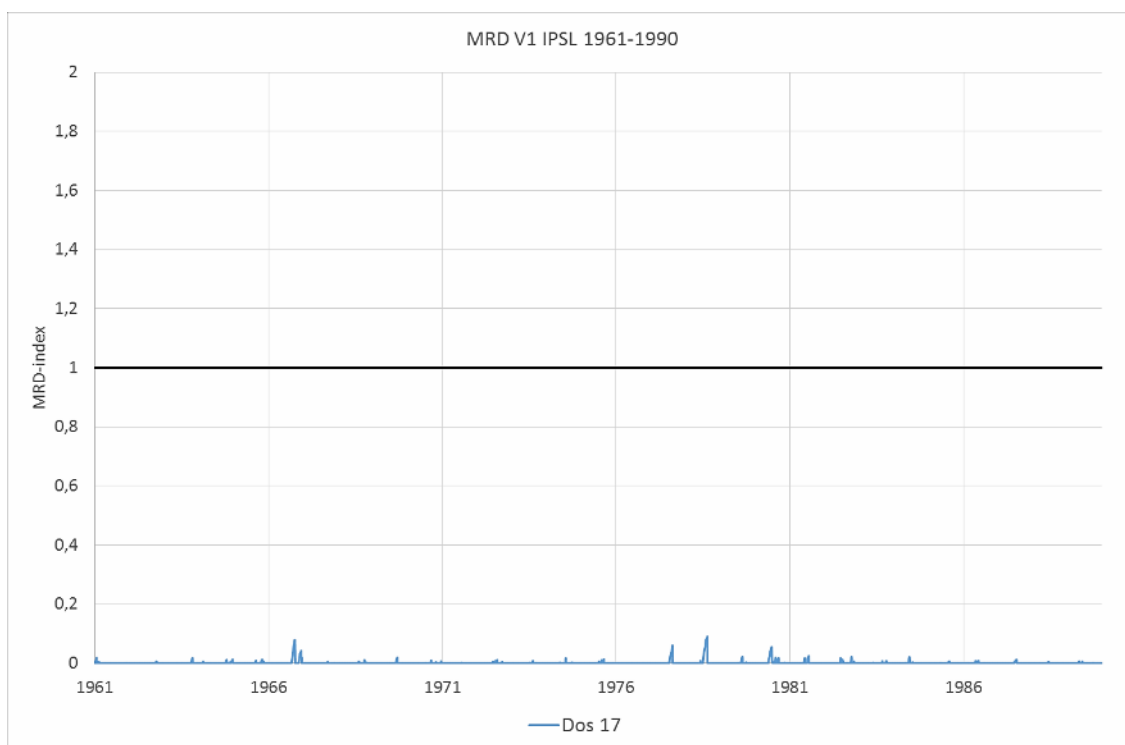
14.1.2A.1.2 IPSL 1961-1990



Figur A.4 Folos-diagram för V1 IPSL 1961–1990.



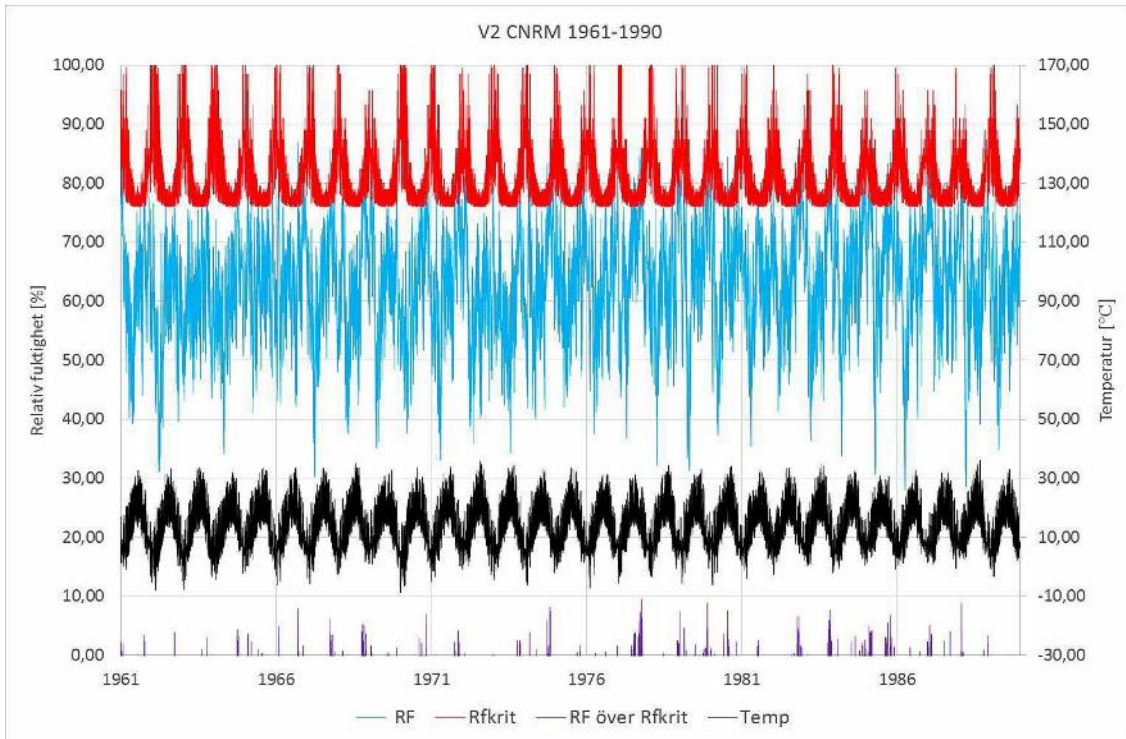
Figur A.5 Längsta period då RF överstiger RFkrit är 2 dygn och 13 timmar.



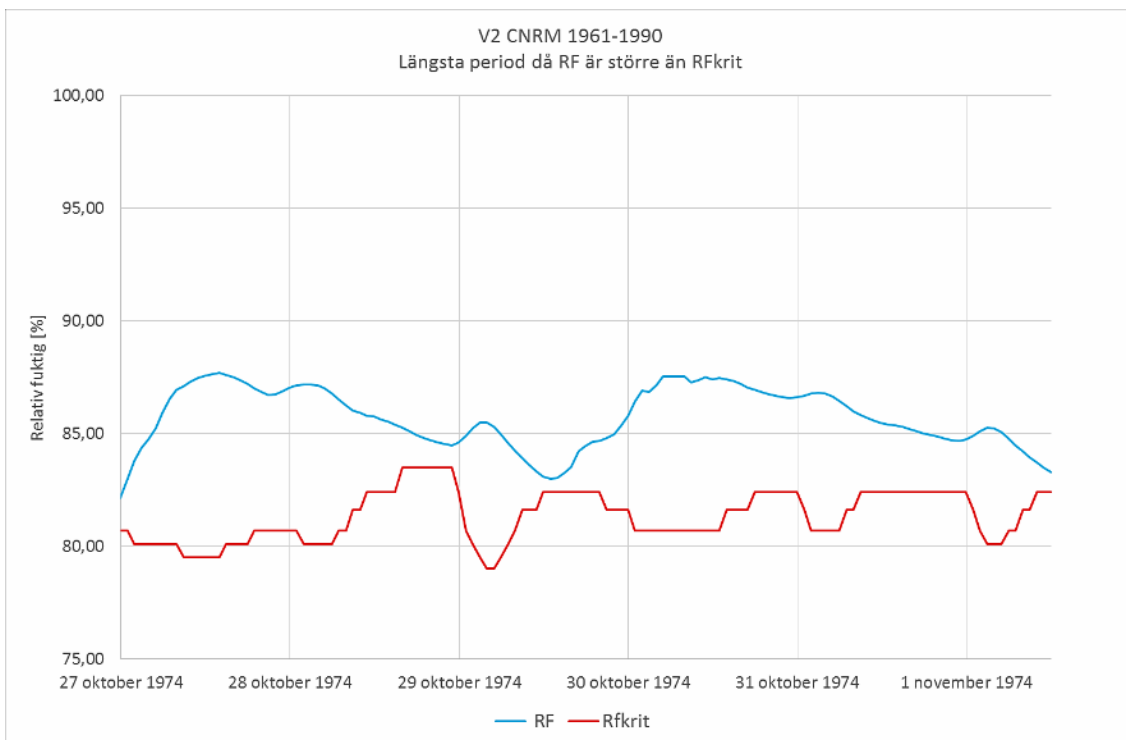
Figur A.6 MRD-index (0–2).

14.2A.2 Basfall Väggsystem 2

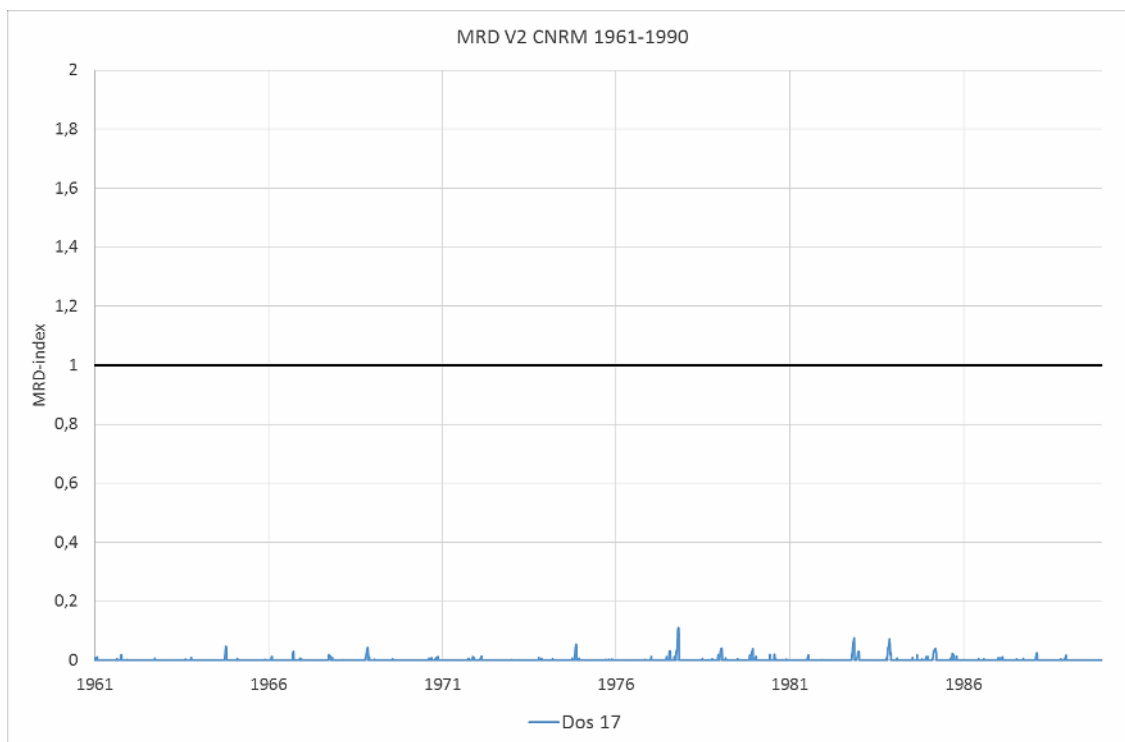
14.2.1A.2.1 CNRM 1961-1990



Figur A.7 Folos-diagram för V2 CNRM 1961-1990.

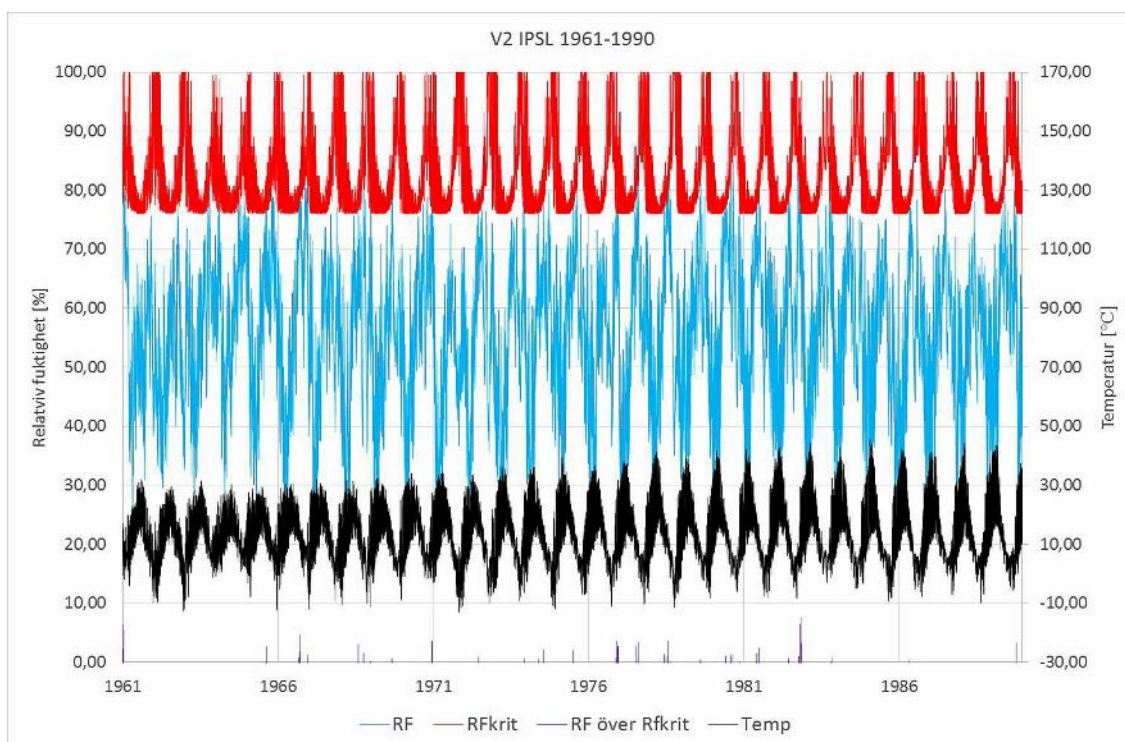


Figur A.8 Längsta perioden då RF överstiger Rfkrit är 5 dygn och 13 timmar.

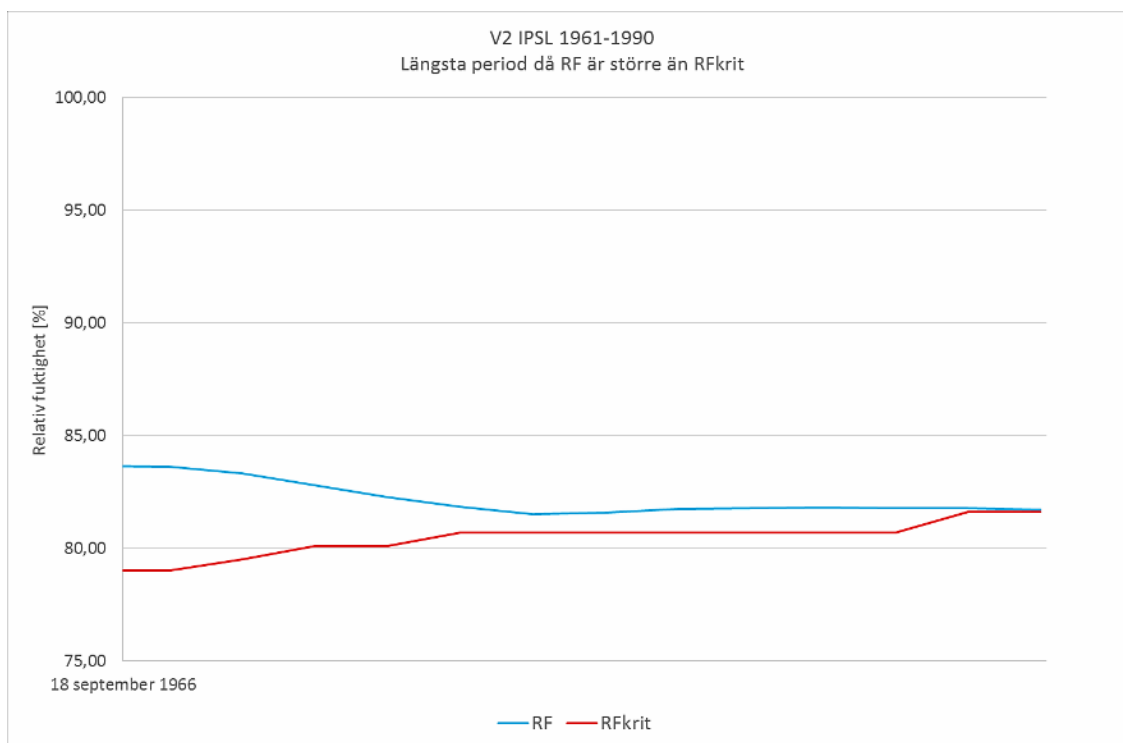


Figur A.9 MRD-index (0-2).

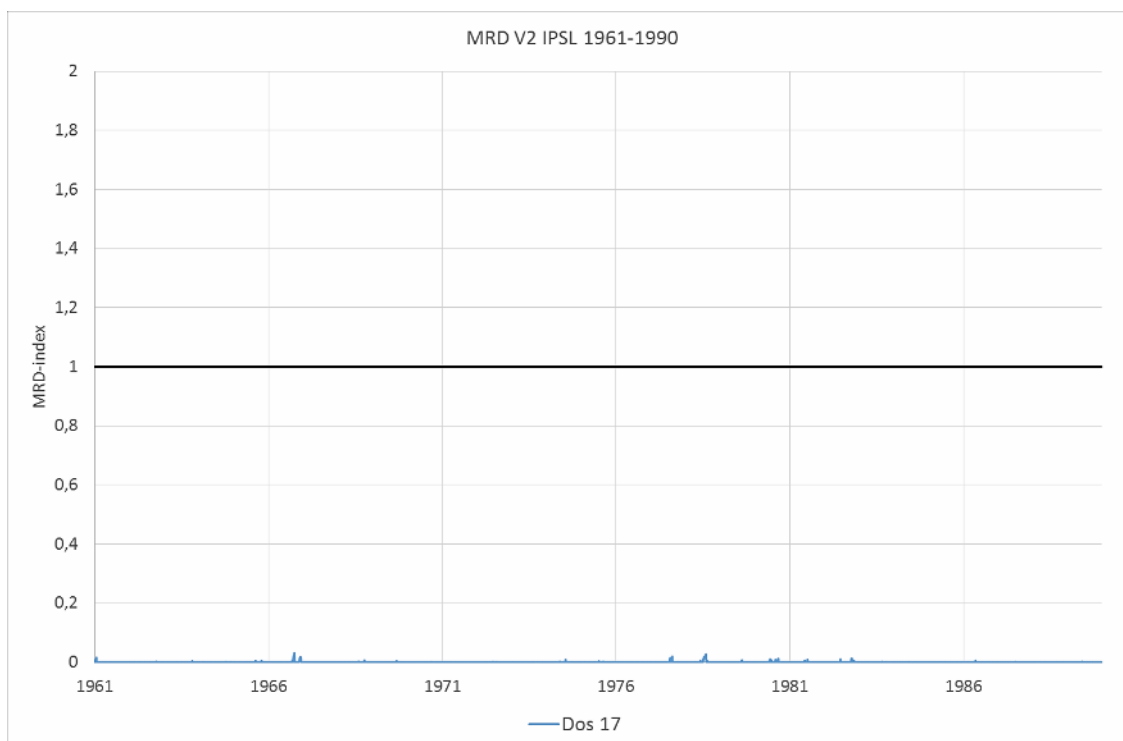
14.2.2A.2.1 IPSL 1961-1990



Figur A.10 Folos-diagram för V2 IPSL 1961-1990.



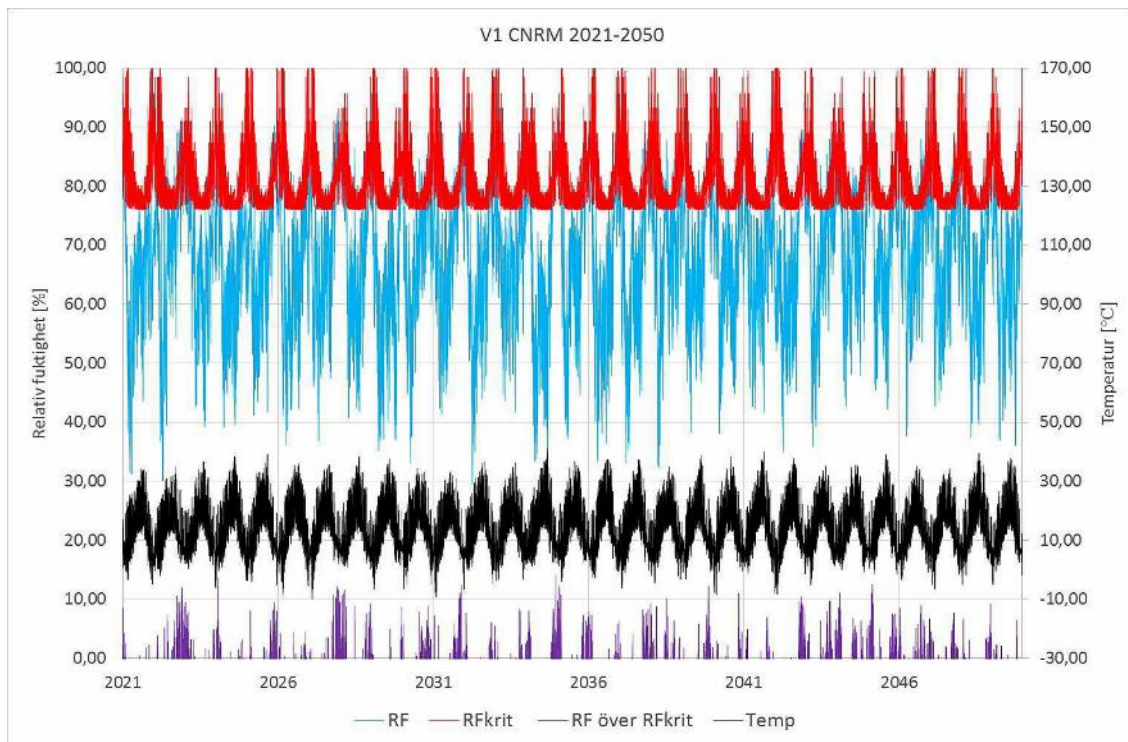
Figur A.11 Längsta perioden då RF överstiger RFkrit är 18 timmar.



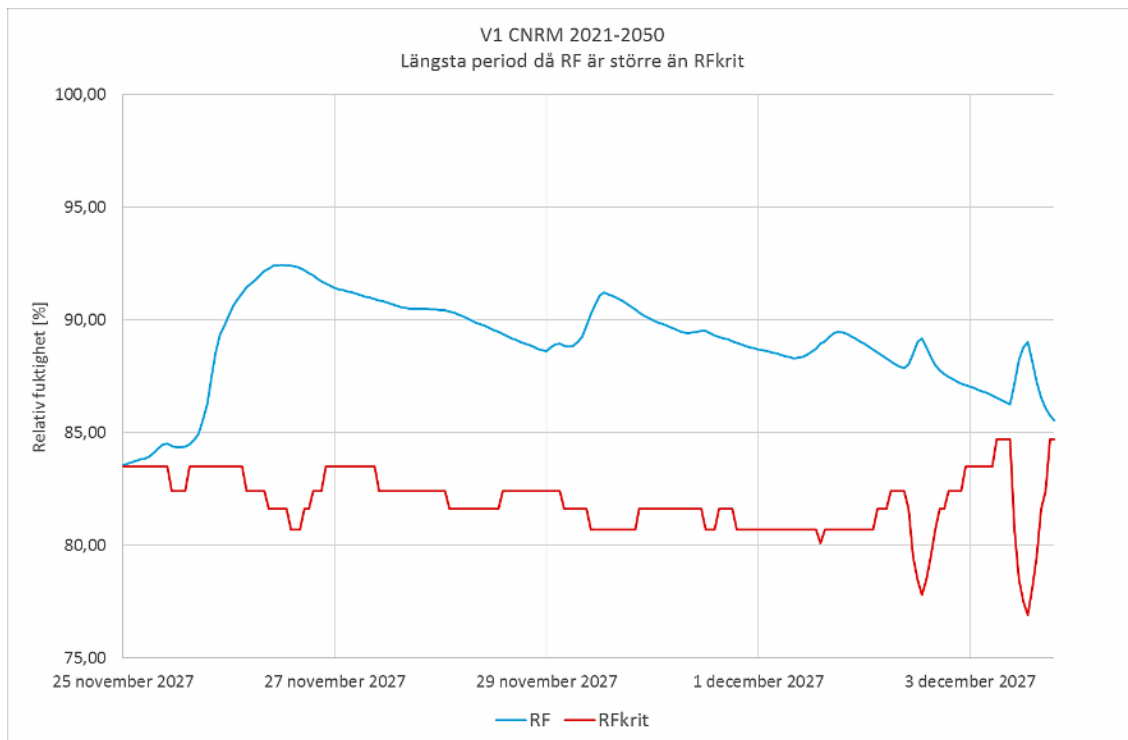
Figur A.12 MRD-index (0-2).

14.3A.3 Basfall Väggsystem 1

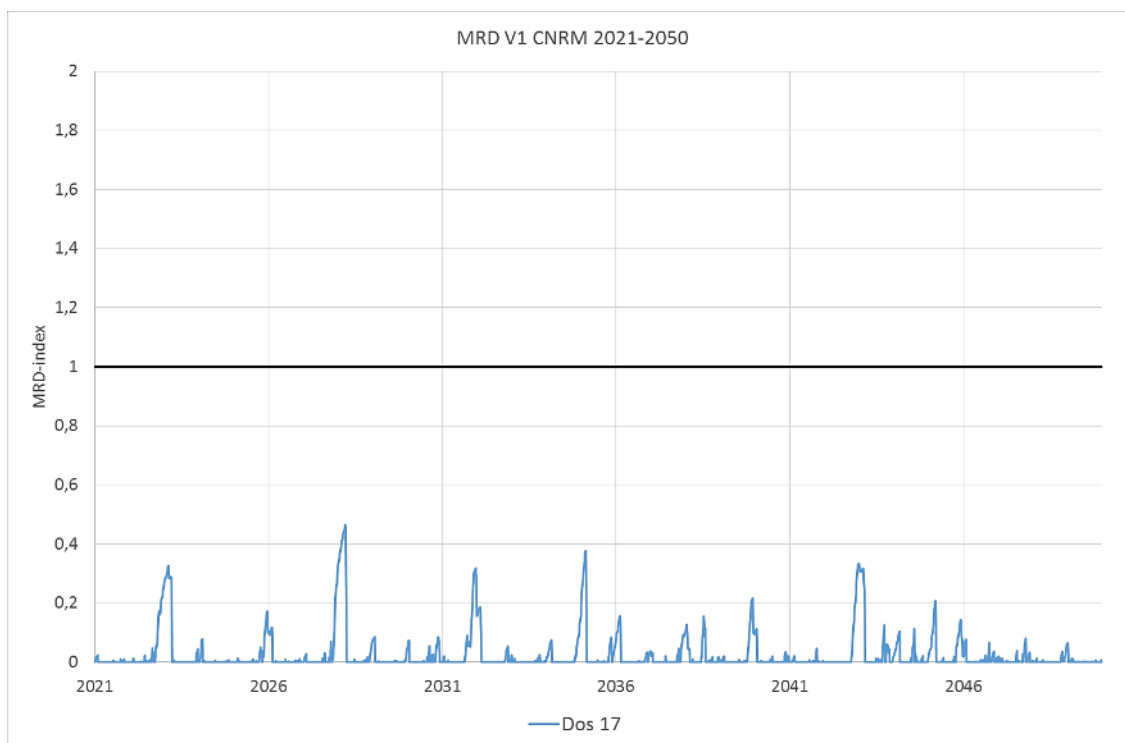
14.3.1A.3.1 CNRM 2021-2050



Figur A.13 Folos-diagram för V1 CNRM 2021-2050.

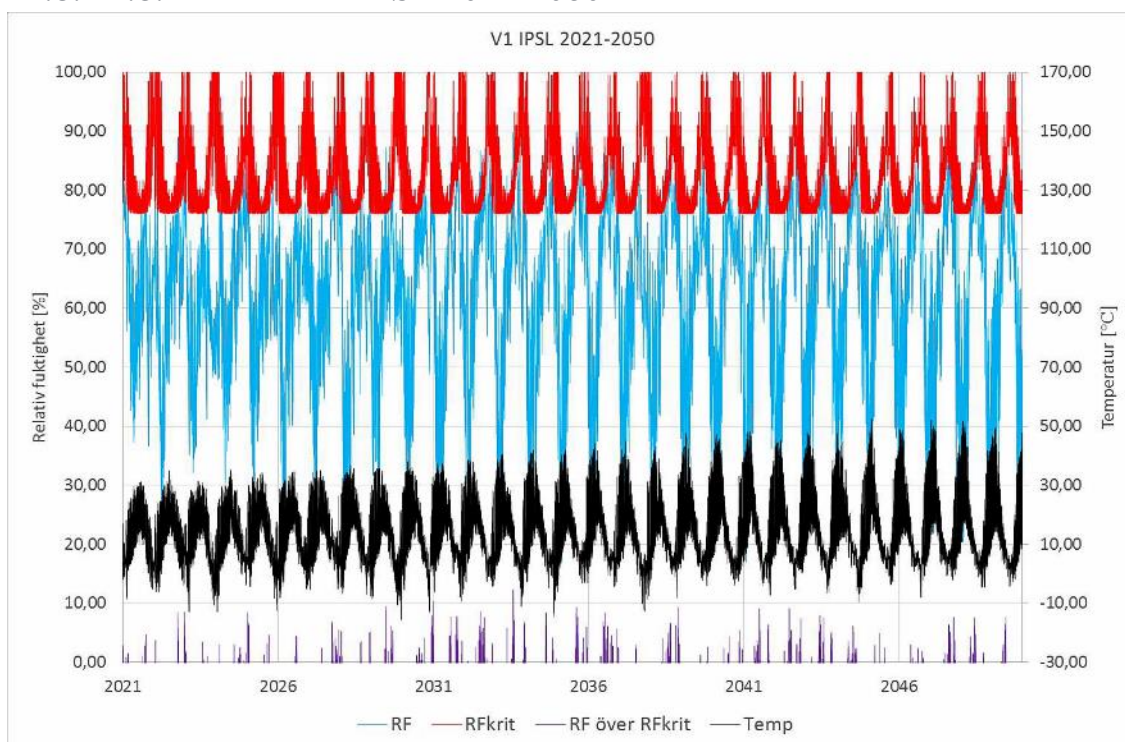


Figur A.14 Längsta perioden då RF överskrider RFkrit är 8 dygn och 20 timmar.

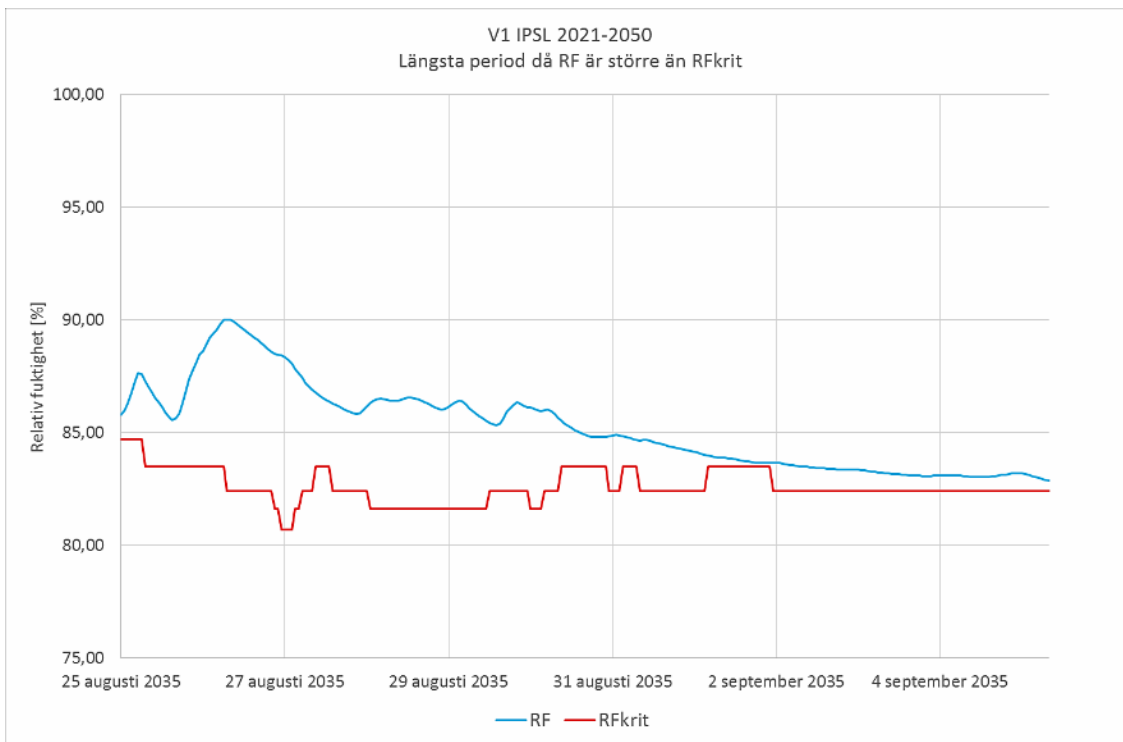


Figur A.15 MRD-index (0-2).

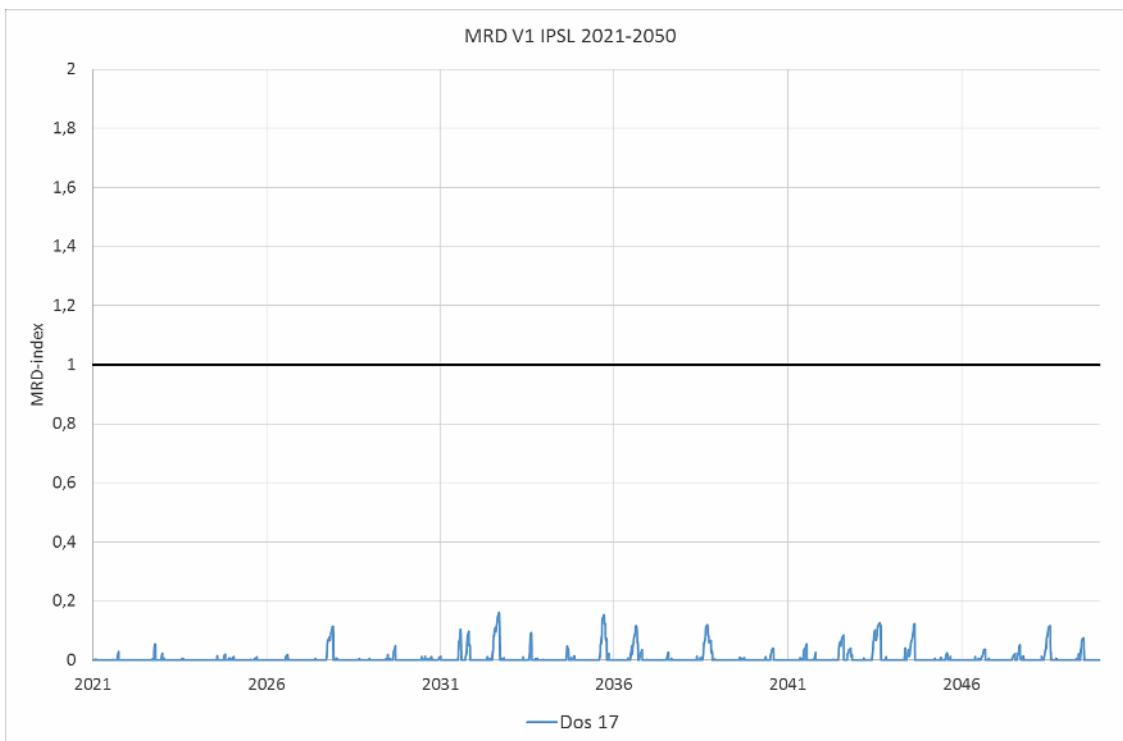
14.3.2A.3.1 IPSL 2021-2050



Figur A.16 Folos-diagram för V1 IPSL 2021-2050.



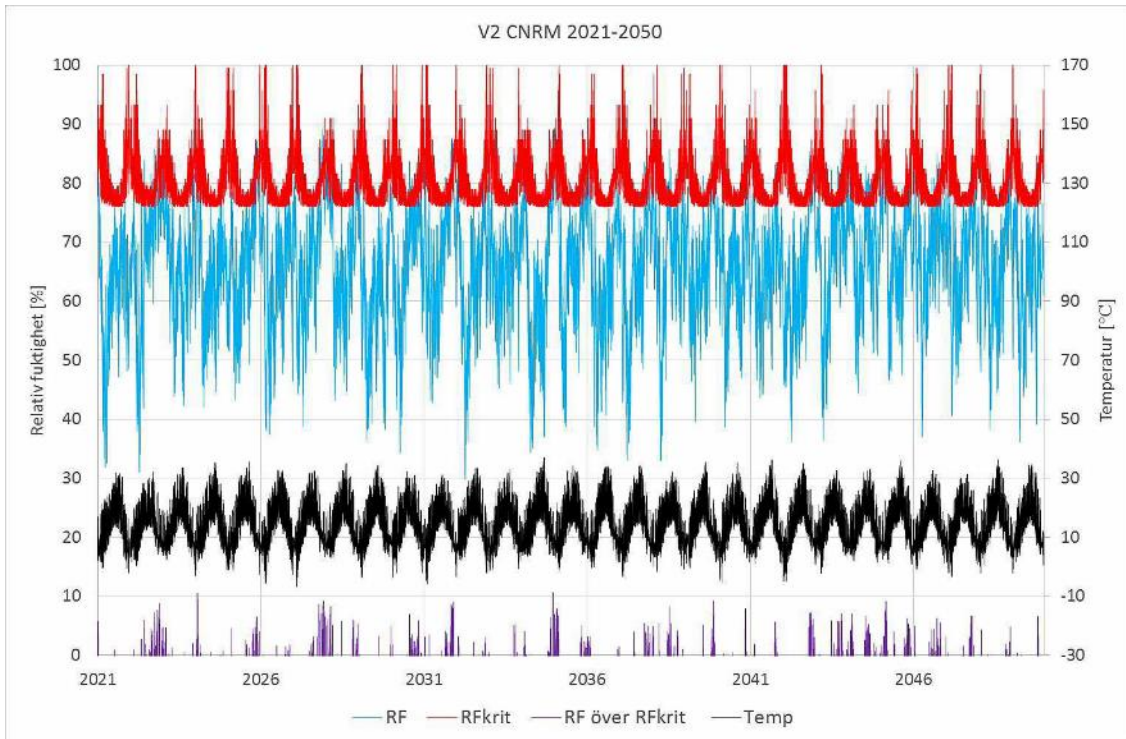
Figur A.17 Längsta perioden då RF överskrider RFkrit är 11 dygn och 9 timmar.



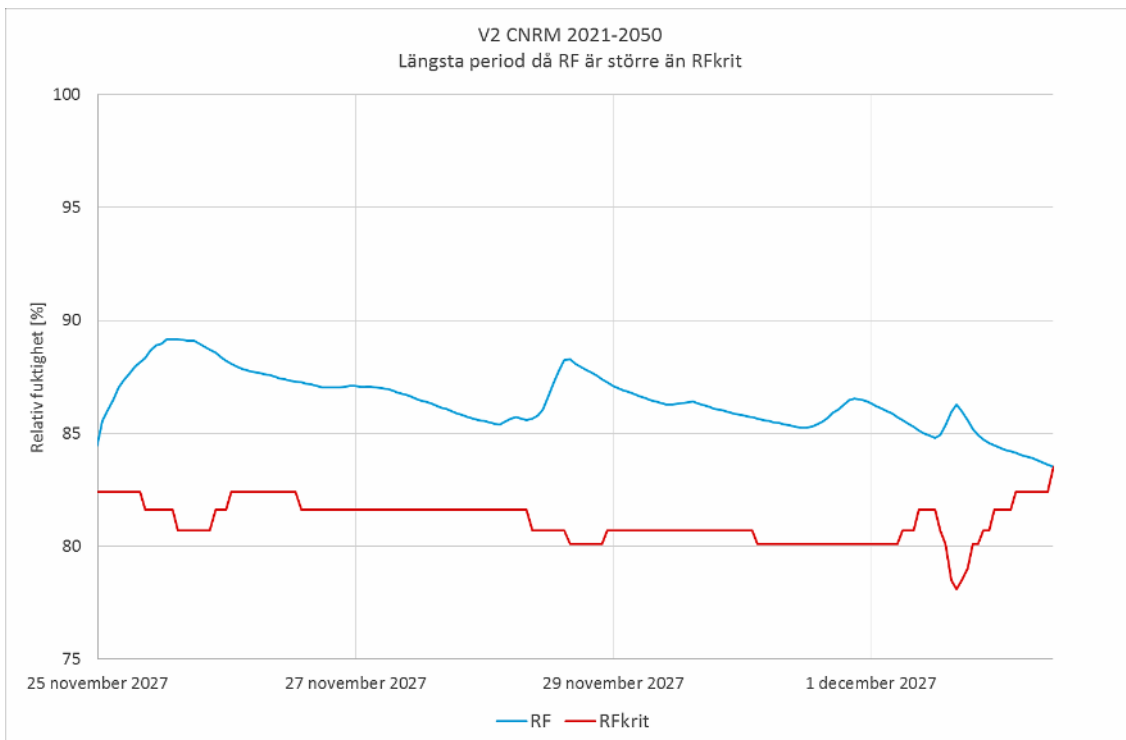
Figur A.18 MRD-index (0-2).

14.4A.4Väggsystem 2

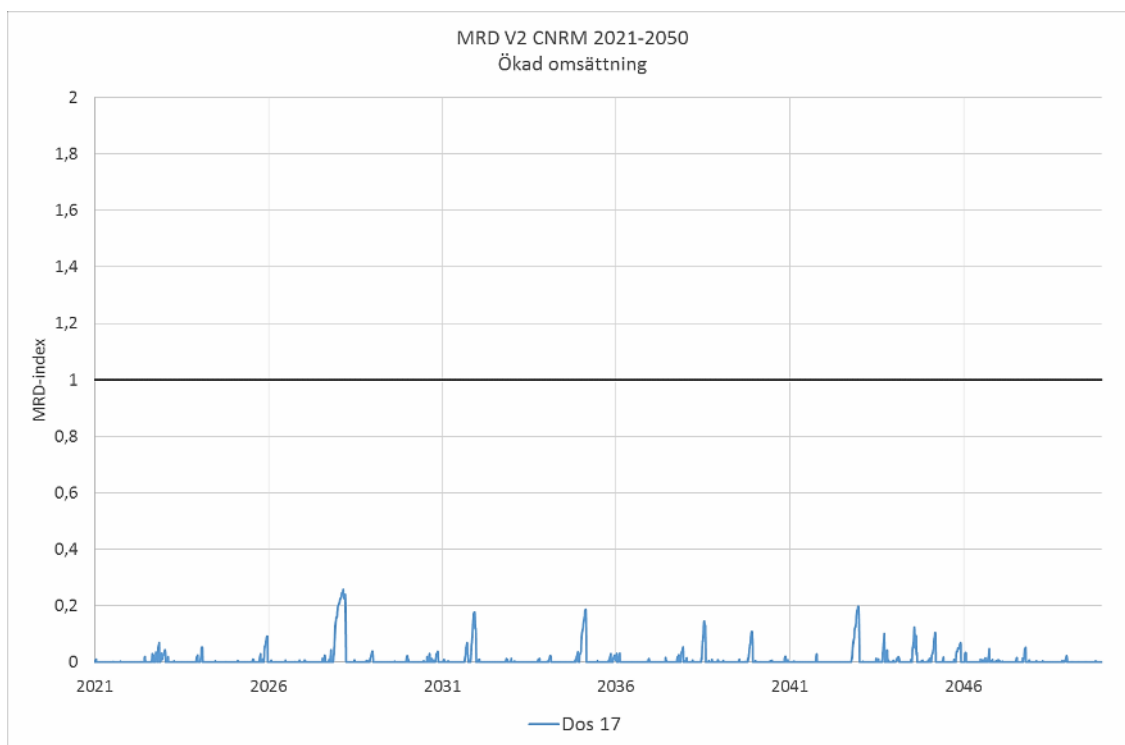
14.4.1A.4.1 CNRM 2021-2050



Figur A.19 Folos-diagram för V2 CNRM 2021-2050.

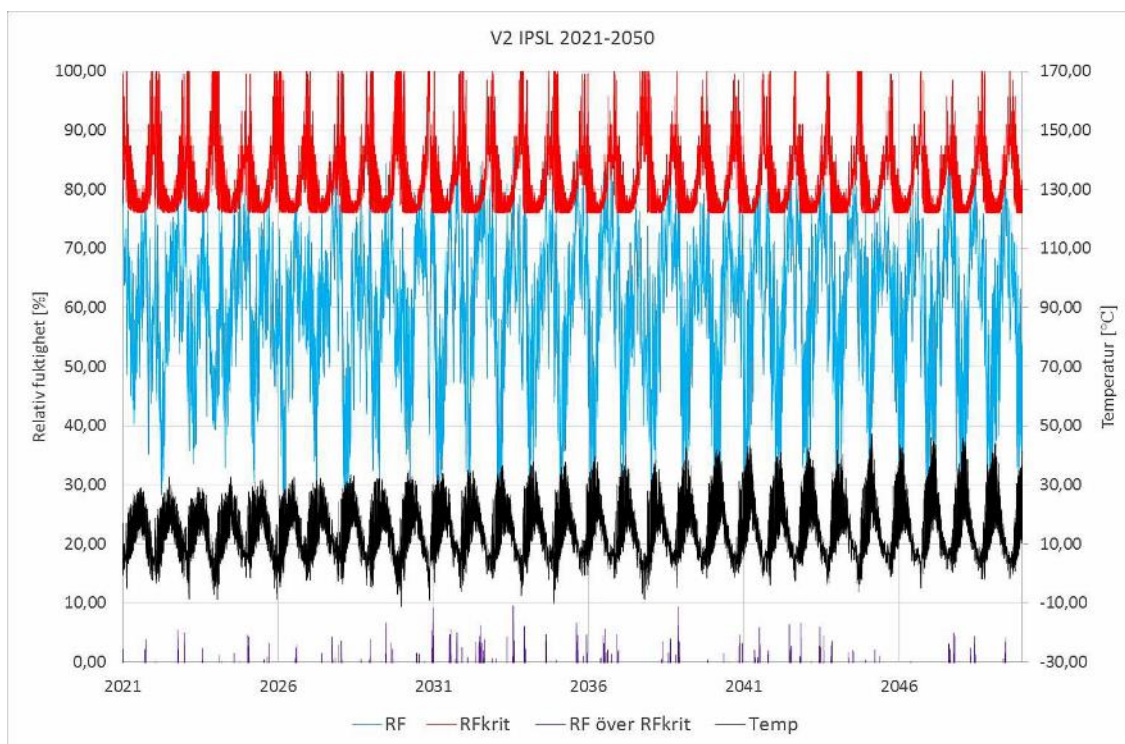


Figur A.20 Längsta perioden då RF överskrider RFkrit är 7 dygn och 11 timmar.

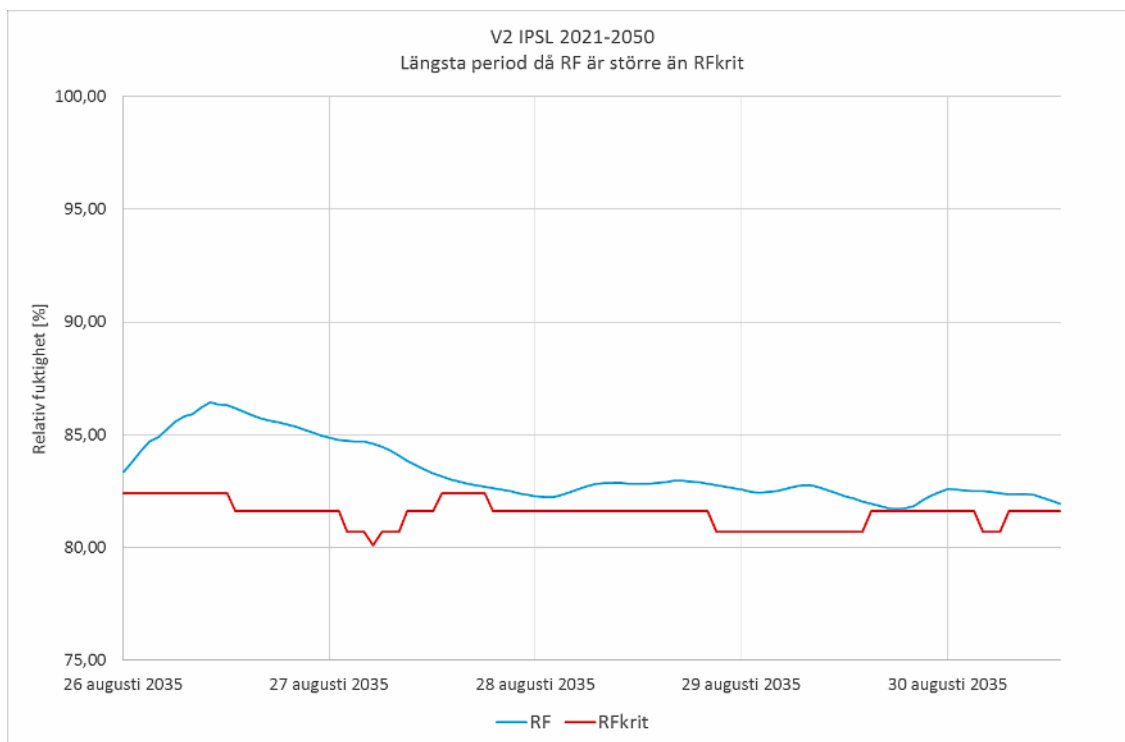


Figur A.21 MRD-index (0-2).

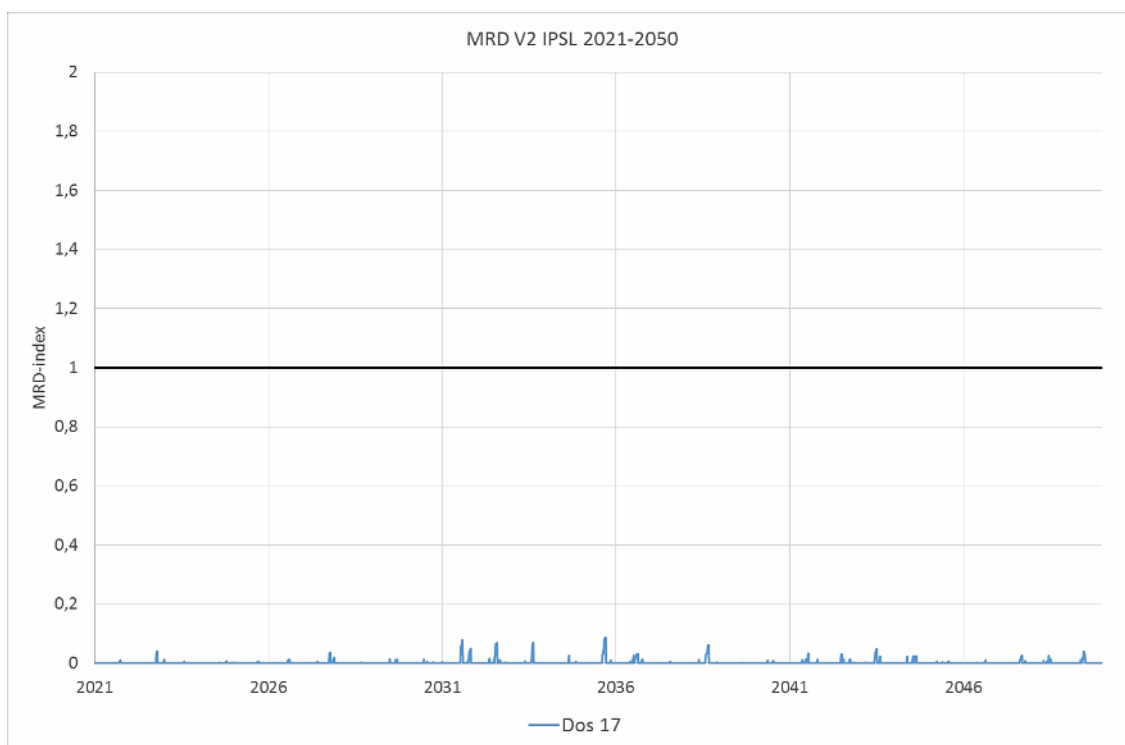
14.4.2A.4.1 IPSL 2021-2050



Figur A.22 Folos-diagram för V2 IPSL 2021-2050.



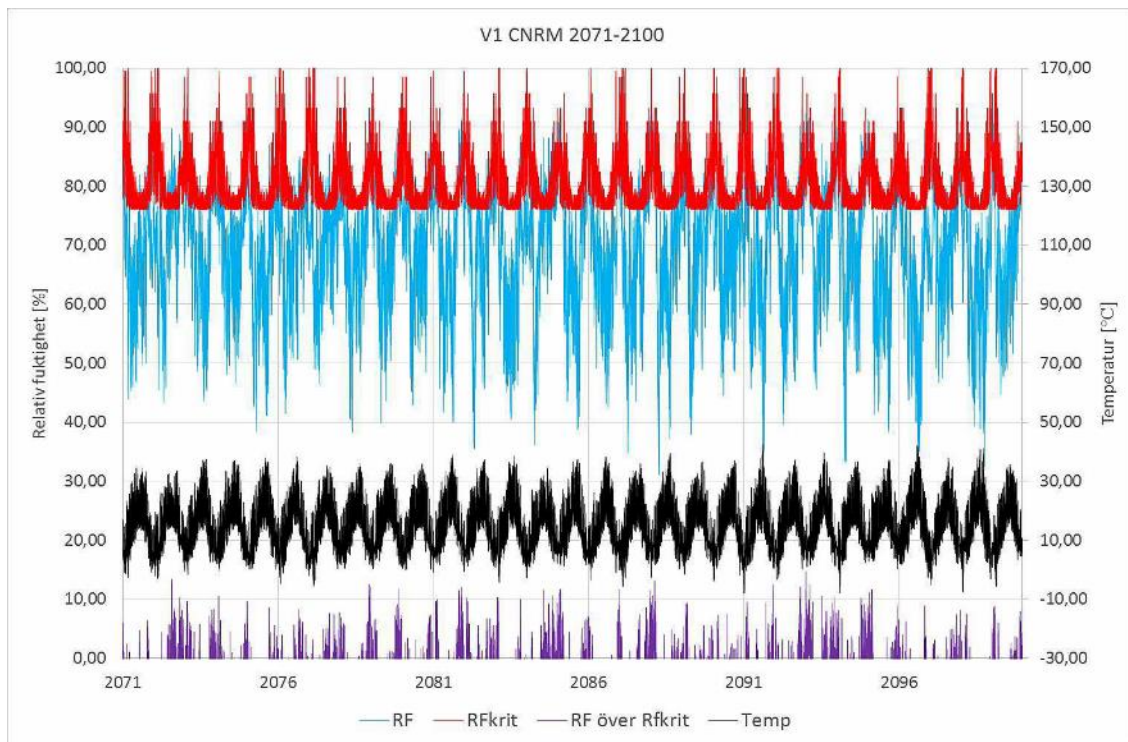
Figur A.23 Längsta perioden då RF överskrider RFkrit är 4 dygn och 14 timmar.



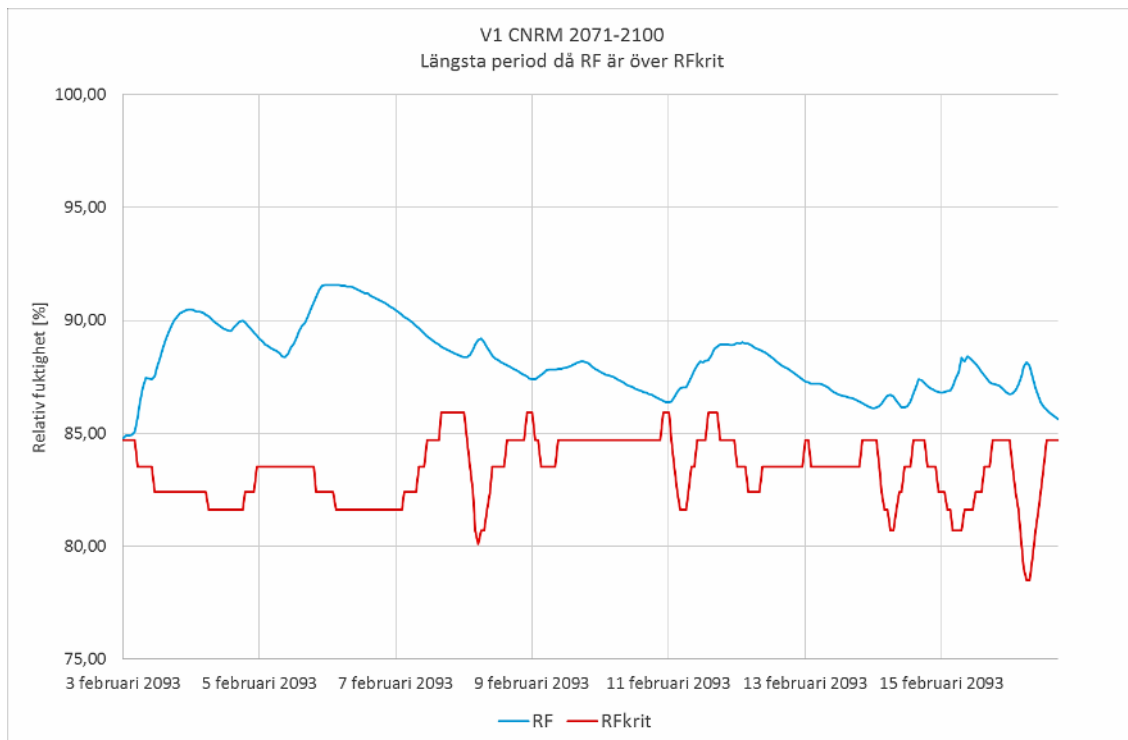
Figur A.24 MRD-index (0-2).

14.5A.5 Basfall Väggsystem 1

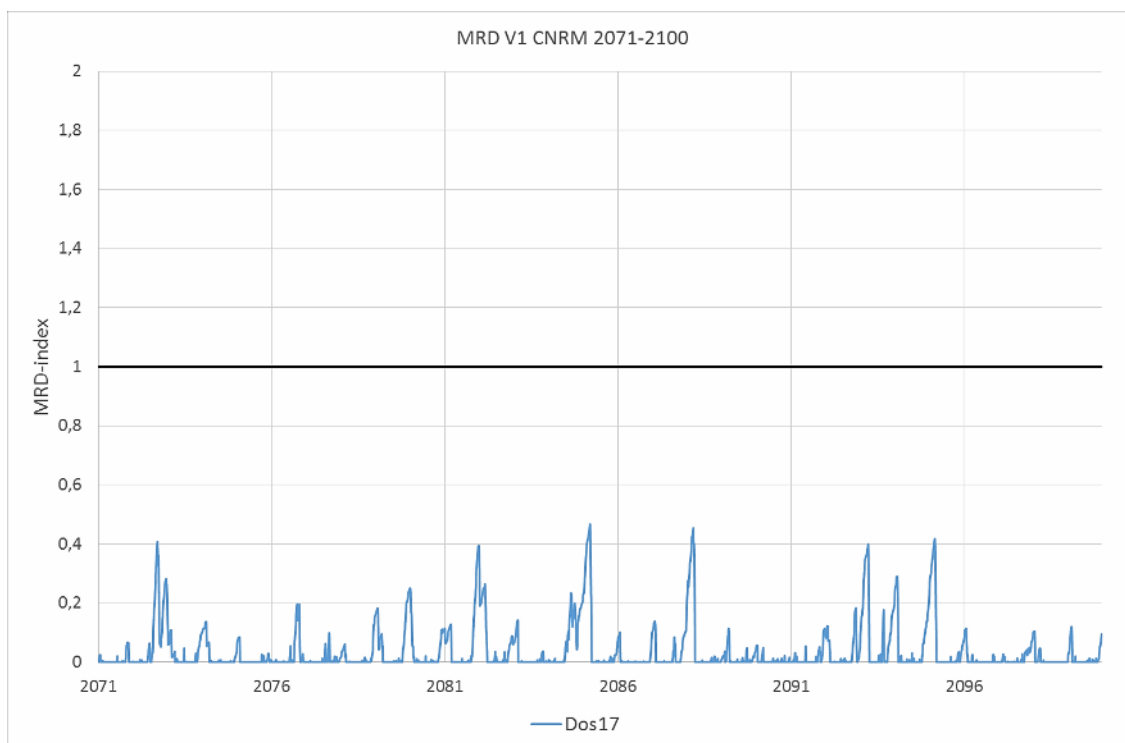
14.5.1A.5.1 CNRM 2071-2100



Figur A.25 Folos-diagram för V1 CNRM 2071-2100.

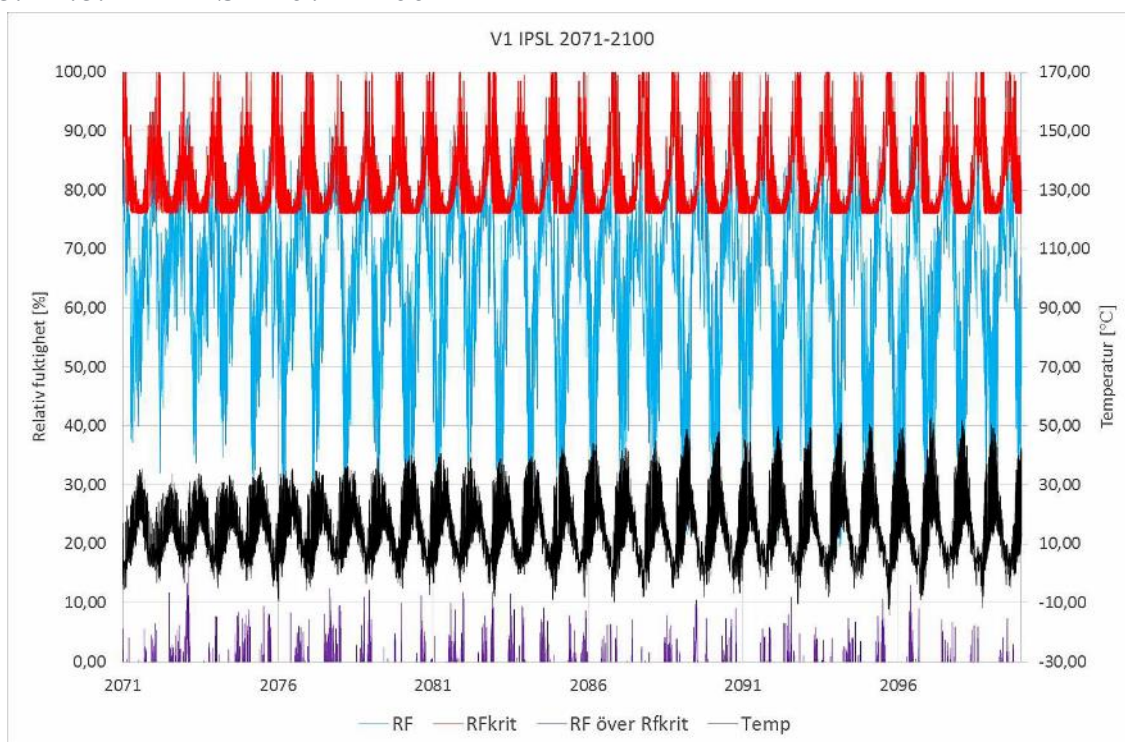


Figur A.26 Längsta perioden då RF överskrider RFkrit är 13 dygn och 18 timmar.

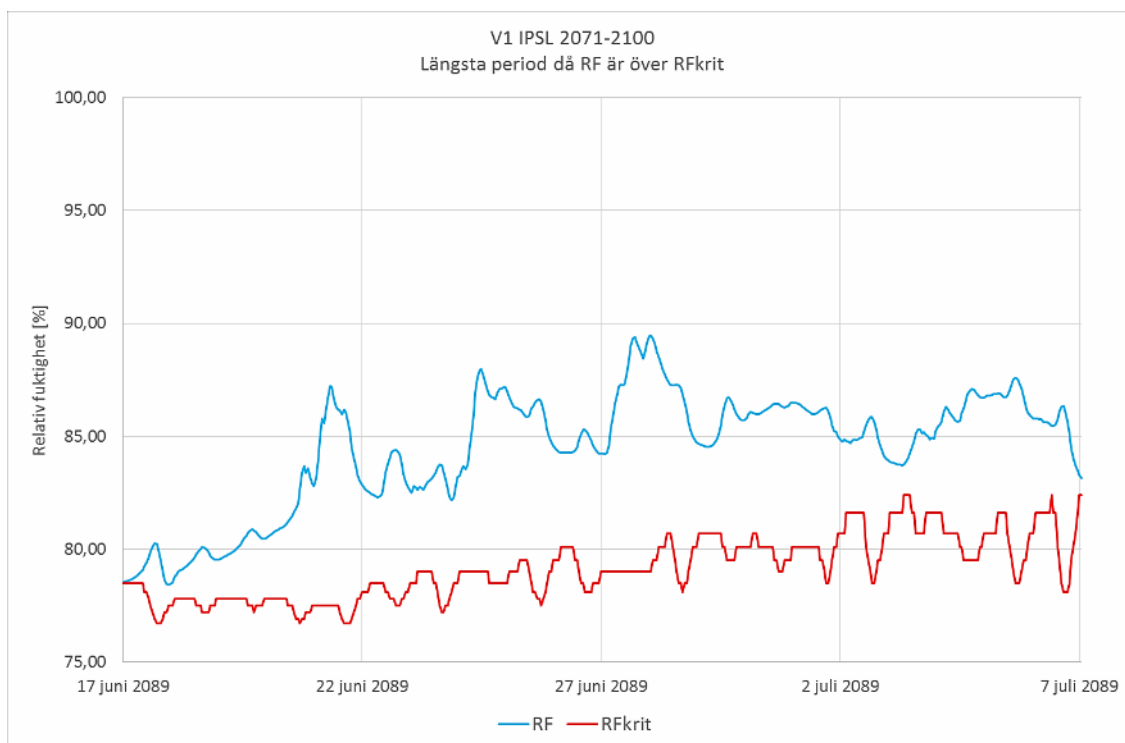


Figur A.27 MRD-index (0-2).

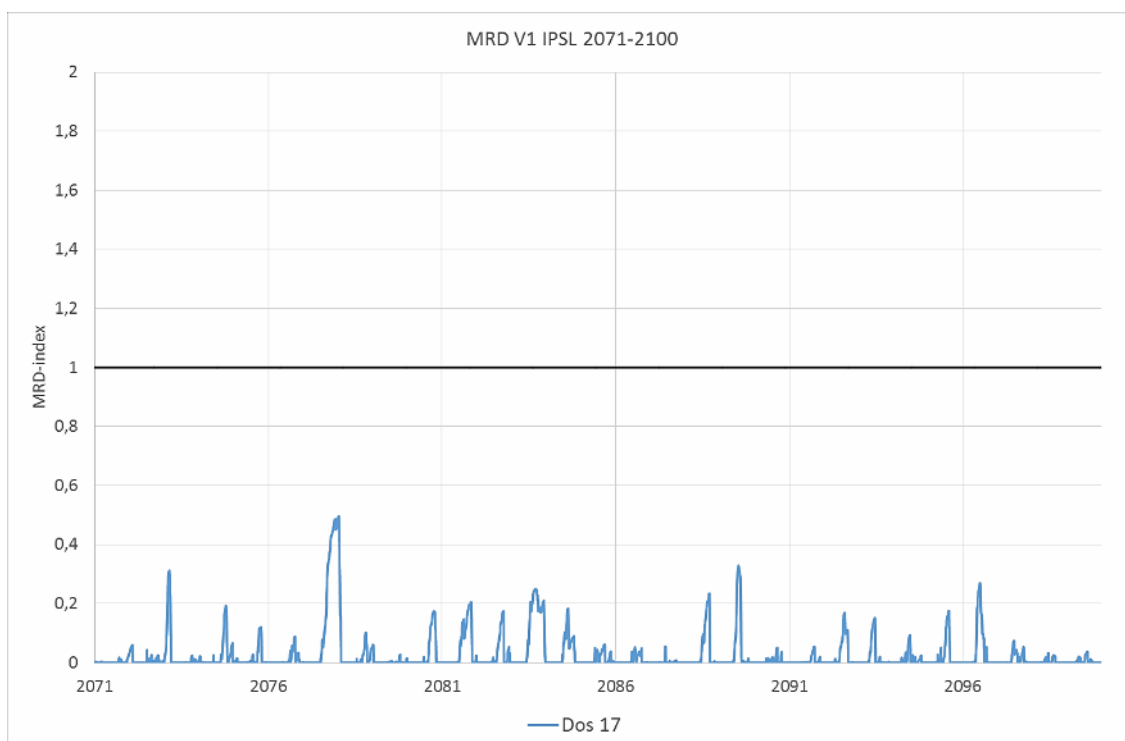
14.5.2A.5.1 IPSL 2071-2100



Figur A.28 Folos-diagram för V1 IPSL 2071-2100.



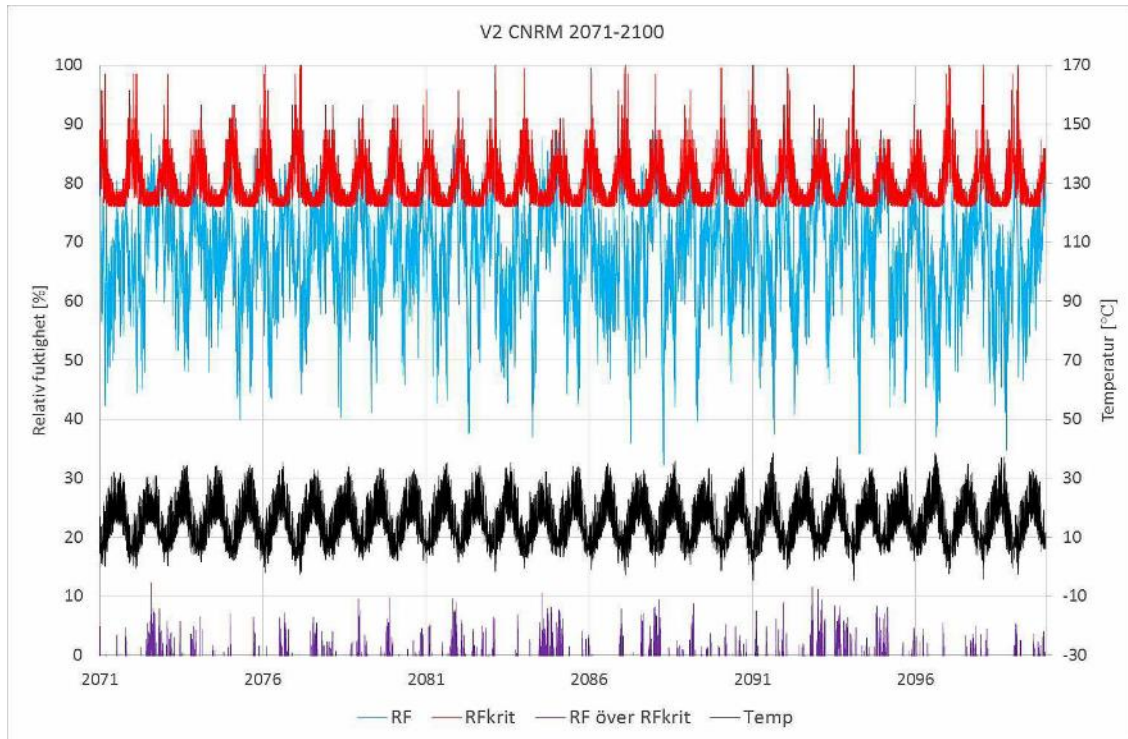
Figur A.29 Längsta perioden då RF överstiger RFkrit 20 dygn och 2 timmar.



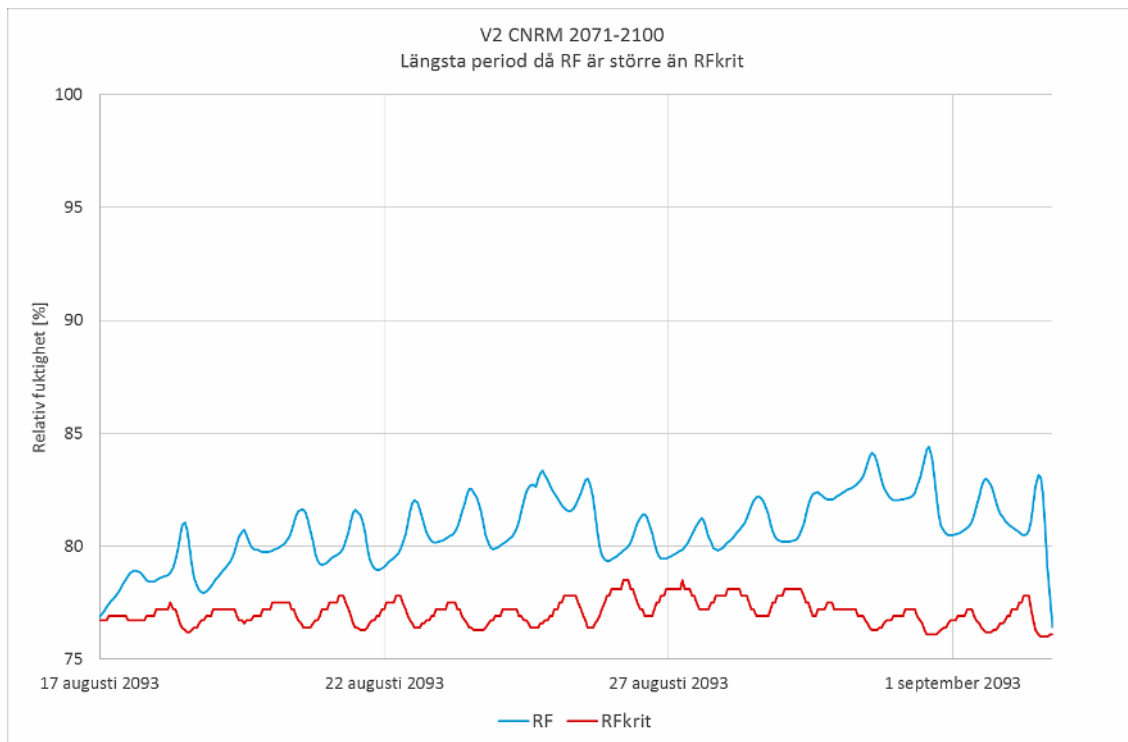
Figur A.30 MRD-index (0–2).

14.6A.5 Basfall Väggsystem 2

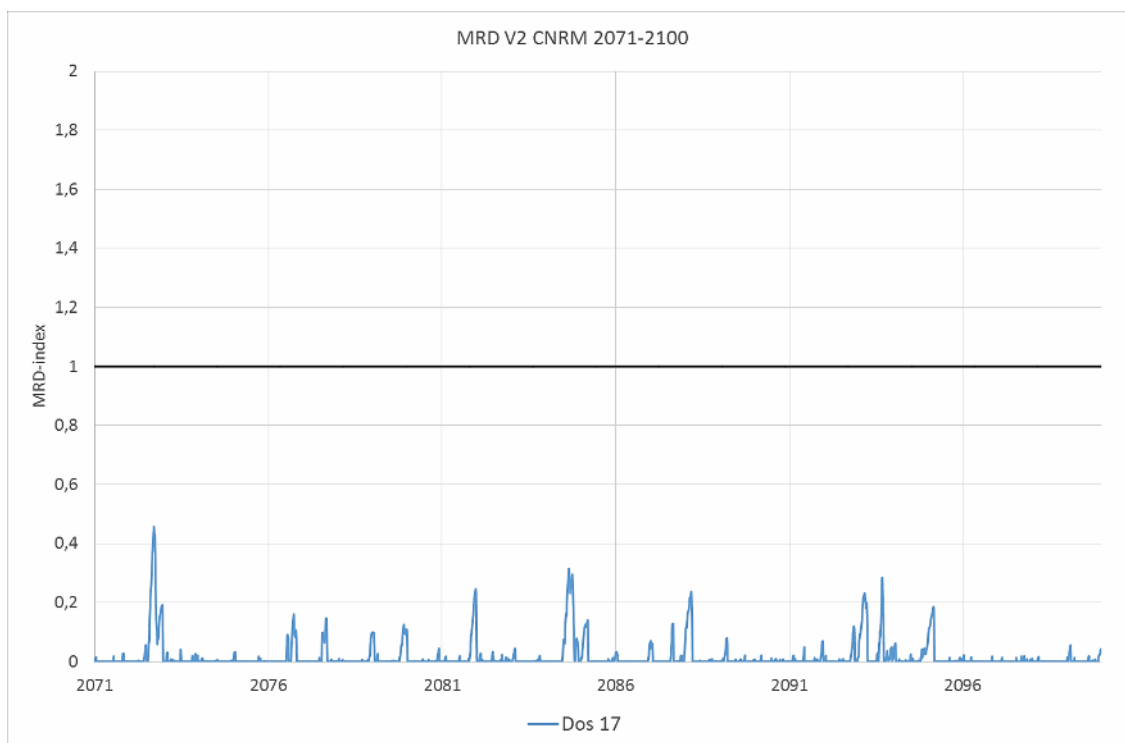
14.6.1A.5.1 CNRM 2071-2100



Figur A.31 Folos-diagram för V2 CNRM 2071-2100.

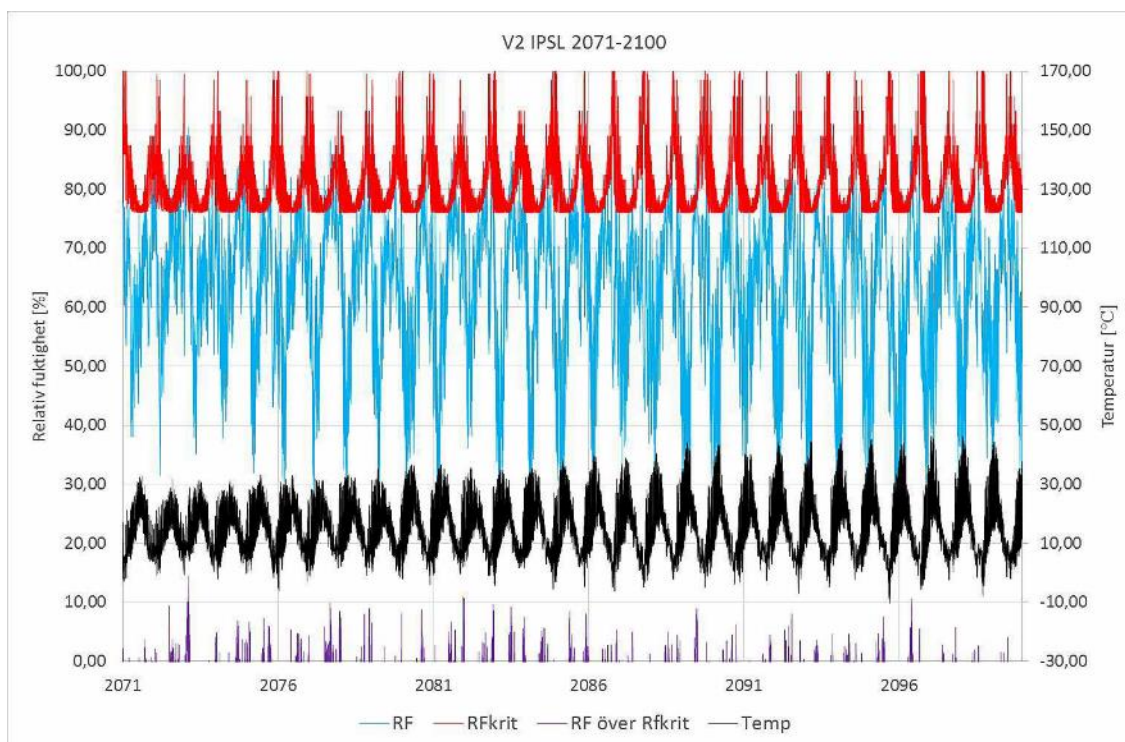


Figur A.32 Längsta perioden då RF överstiger RFkrit är 16 dygn och 19 timmar.

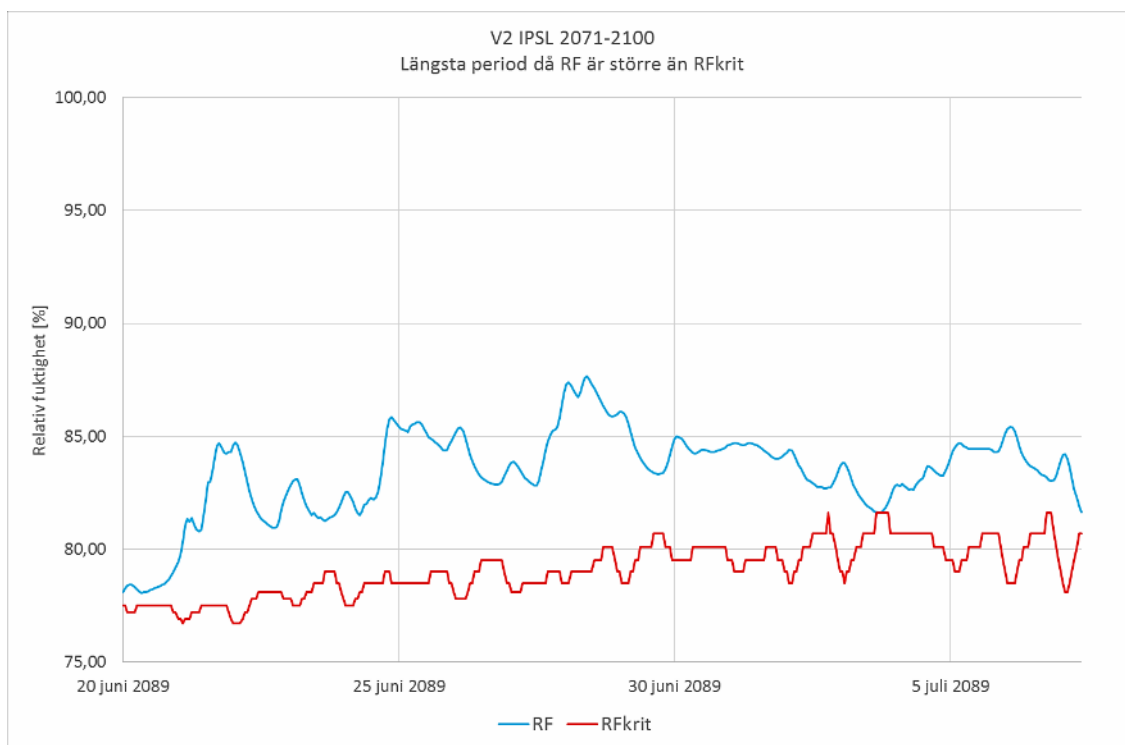


Figur A.33 MRD-index (0-2).

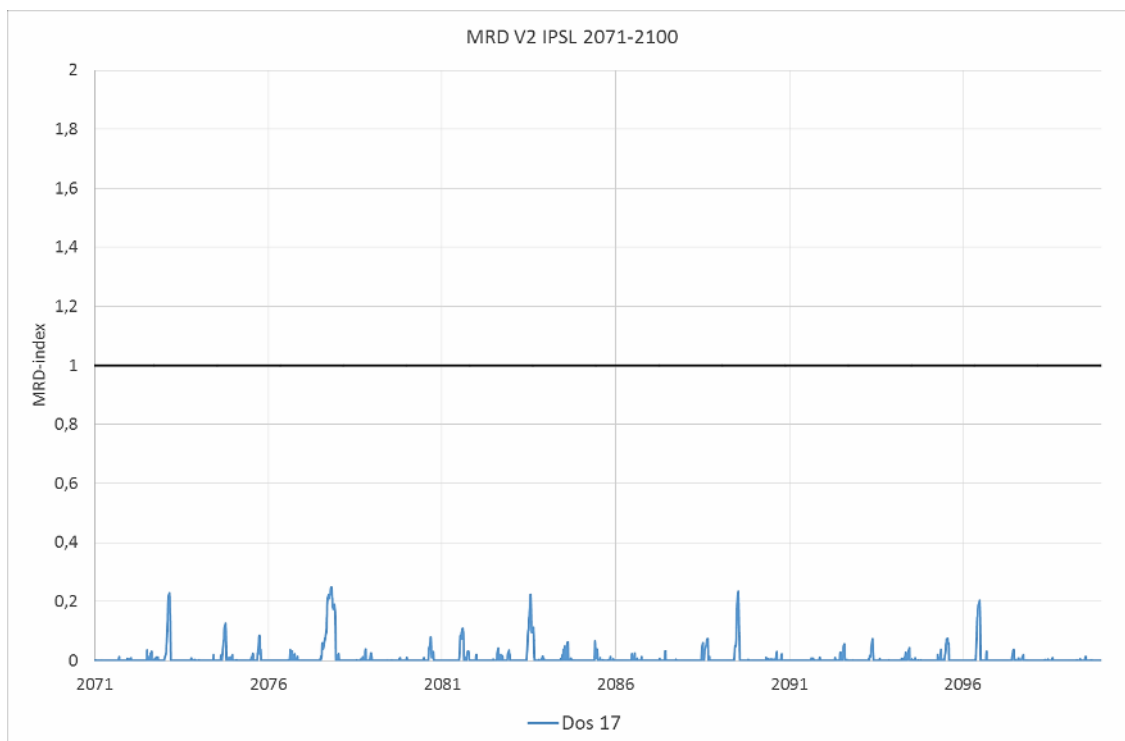
14.6.2A.5.1 2071-2100



Figur A.34 Folos-diagram för V2 IPSL 2071-2100.



Figur A.35 Längsta perioden då RF överstiger RFkrit är 17 dygn och 10 timmar.



Figur A.36 MRD-index (0-2).

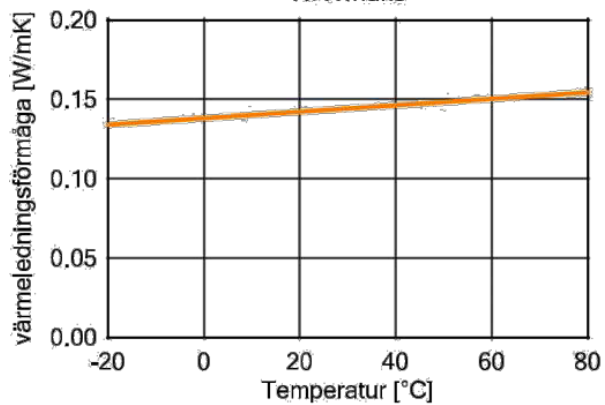
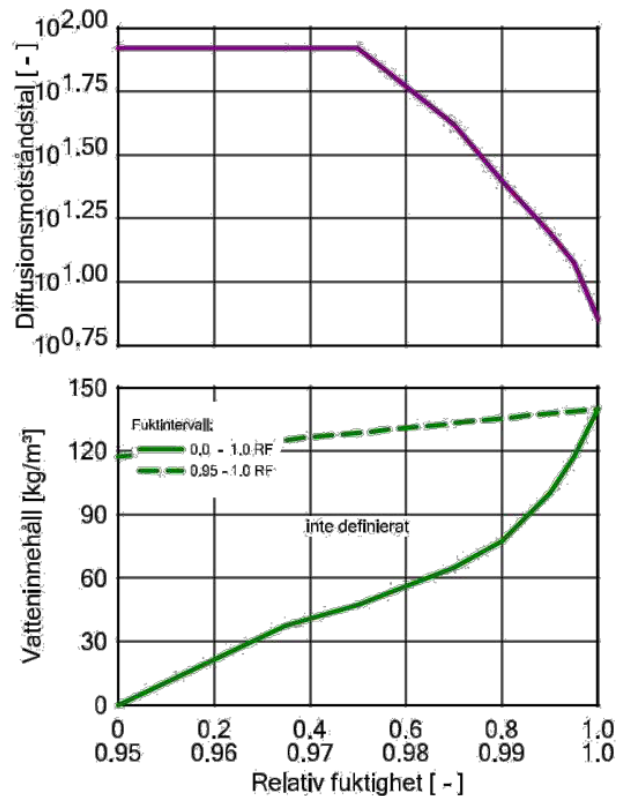
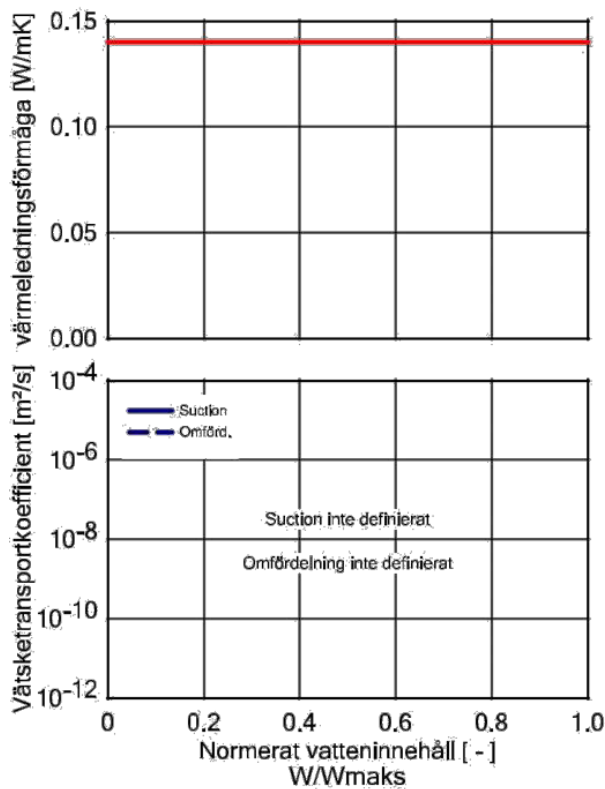
15 APPENDIX B

Materialdata som använts vid WUFI simuleringarna.

Material: Gran, tangentiellt

Sammanställning indata

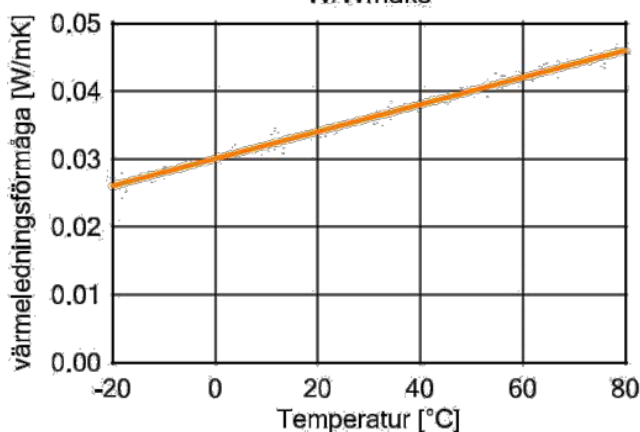
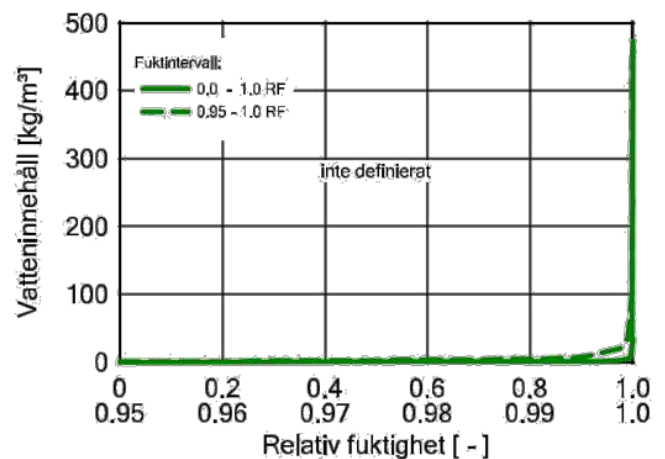
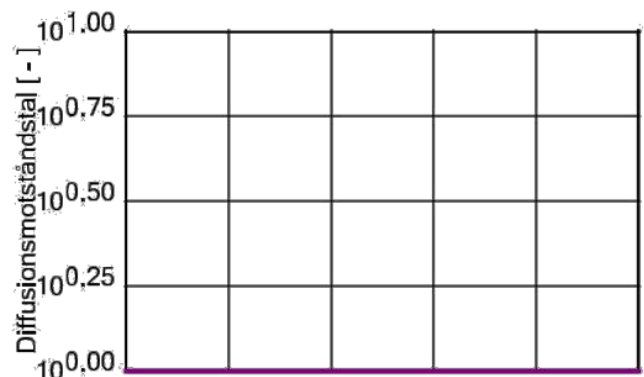
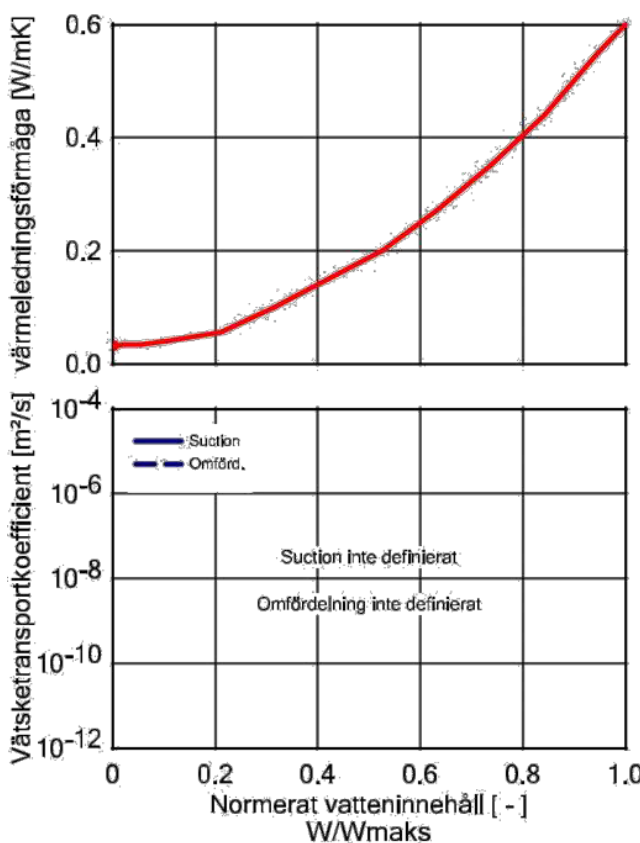
Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m ³]	430,0
Porositet	[m ³ /m ³]	0,73
Specifik värmekapacitet, torr	[J/kgK]	1600,0
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/mK]	0,14
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[-]	83,3
Temp-ber. Värmeledning. Supplement	[W/mK ²]	0,0002



Material: ISOVER GW Integra ZKF - 032

Sammanställning indata

Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m ³]	32,5
Porositet	[m ³ /m ³]	0,95
Specifik värmekapacitet, torr	[J/kgK]	840,0
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/mK]	0,032
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[-]	1,0
Temp-ber. Värmeledning. Supplement	[W/mK ²]	0,0002

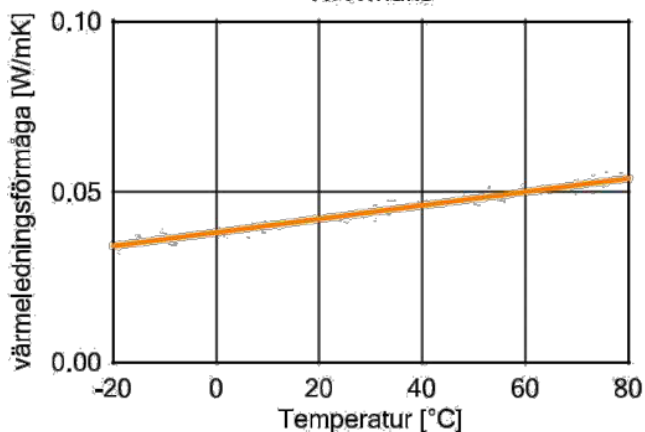
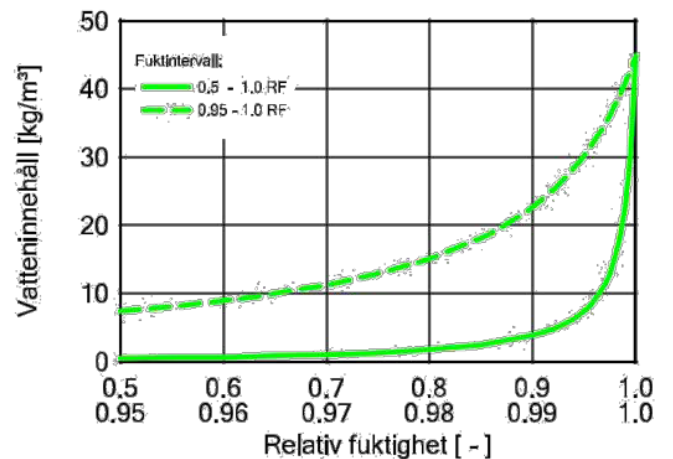
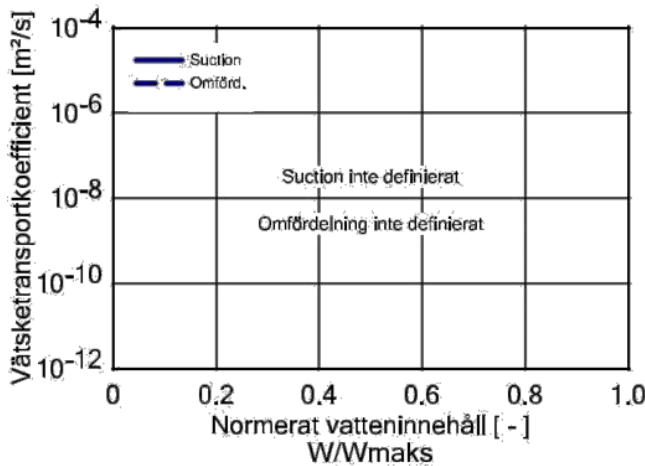
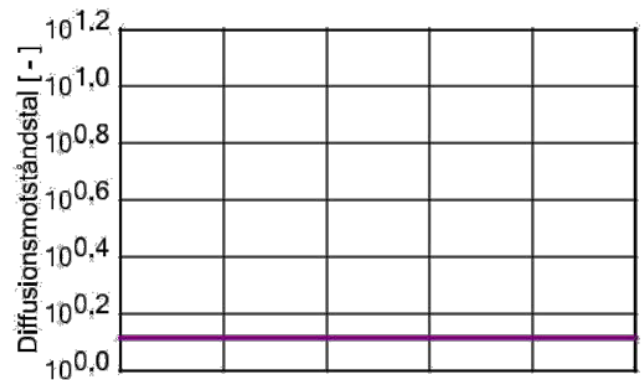
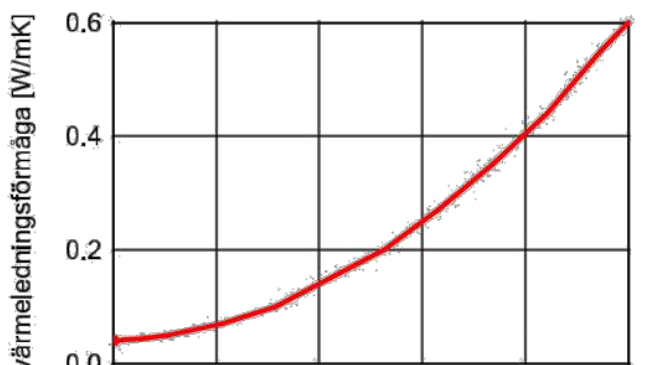


WUFI® Pro 5.3

Material: Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)

Sammanställning indata

Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m ³]	60,0
Porositet	[m ³ /m ³]	0,95
Specifik värmekapacitet, torr	[J/kgK]	850,0
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/mK]	0,04
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[-]	1,3
Temp-ber. Värmeledning. Supplement	[W/mK ²]	0,0002

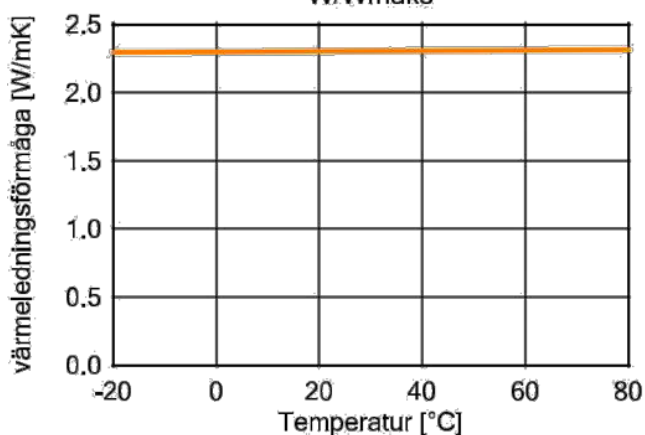
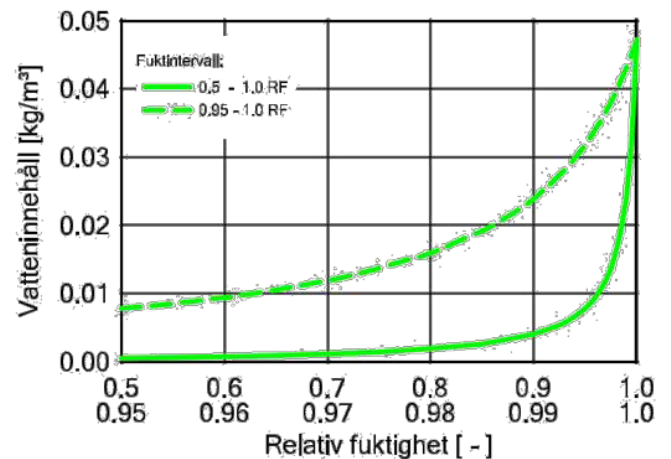
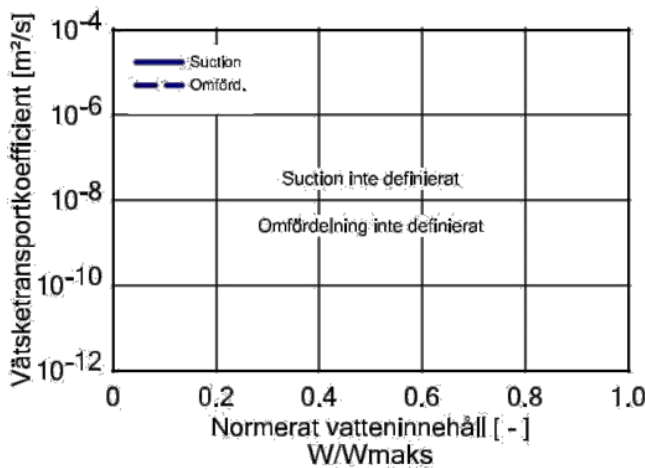
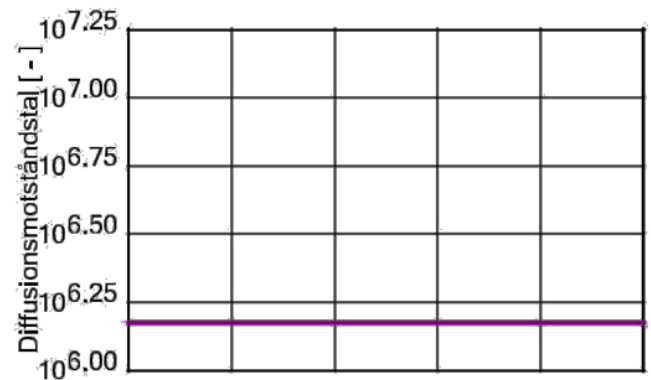
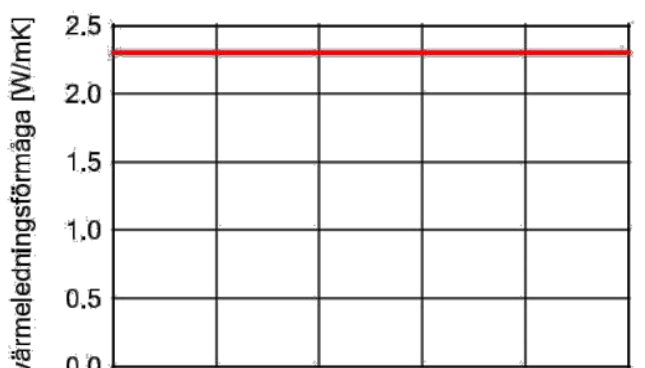


WUFI® Pro 5.3

Material: vapour barrier (sd=1500m)

Sammanställning indata

Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m ³]	130,0
Porositet	[m ³ /m ³]	0,001
Specifik värmekapacitet, torr	[J/kgK]	2300,0
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/mK]	2,3
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[-]	1500000,0
Temp-ber. Värmeledning. Supplement	[W/mK ²]	0,0002

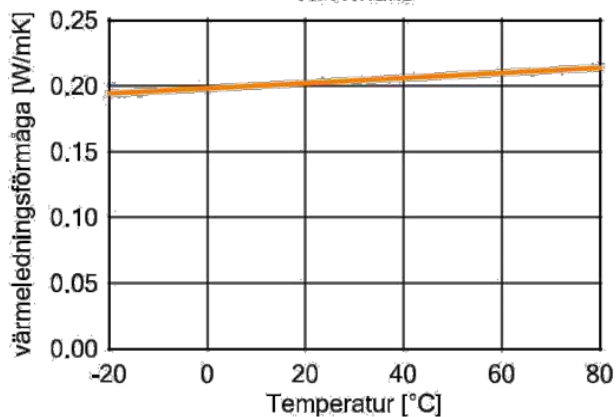
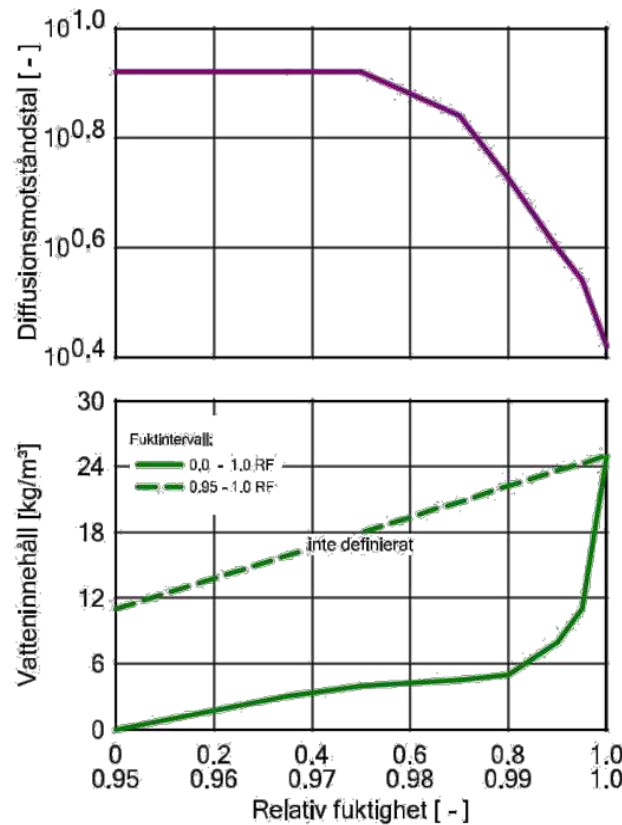
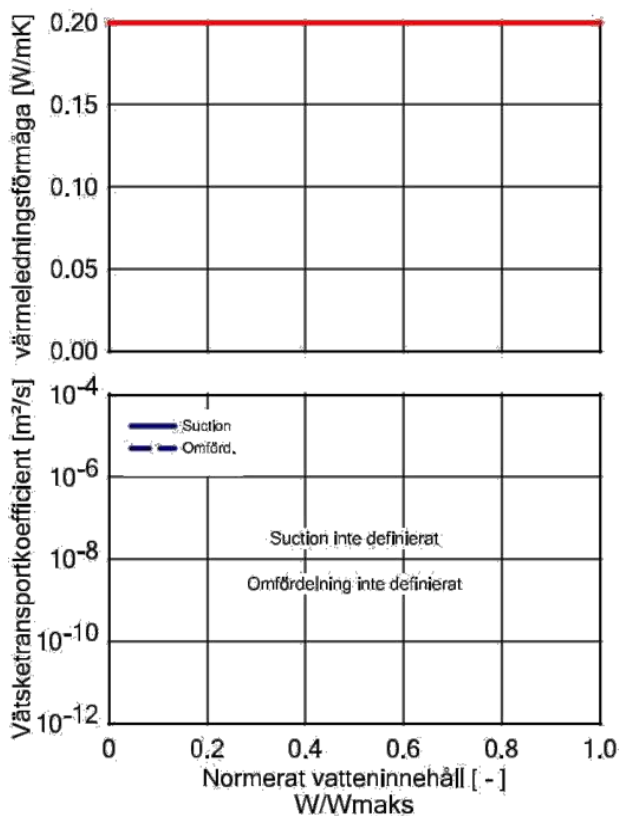


WUFI® Pro 5.3

Material: Gipsskiva invändig

Sammanställning indata

Egenskaper	Enhet	Värde
Skrymdensitet	[kg/m ³]	625,0
Porositet	[m ³ /m ³]	0,73
Specifik värmekapacitet, torr	[J/kgK]	850,0
Värmeledningsförmåga torr, 10°C	[W/mK]	0,2
Diffusionsmotstånd för vattenånga	[-]	8,33
Temp-ber. Värmeledning. Supplement	[W/mK ²]	0,0002



SBUF stödjer
forskning & utveckling

som leder till
praktisk handling