

Klimatförändringarnas inverkan på mögel- och rötangrepp

**Hans Jeppsson
Karl Lindahl**

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet, 2011

Avdelningen för Konstruktionsteknik

Lunds Tekniska Högskola

Box 118

221 00 LUND

Department of Structural Engineering

Lund Institute of Technology

Box 118

S-221 00 LUND

Sweden

Klimatförändringarnas inverkan på mögel- och rötangrepp

The impact of climate changes on onset of mould and decay

Hans Jeppsson

Karl Lindahl

2011

Rapport TVBK-5193
ISSN 0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK-11/5193+111p

Examensarbete
Handledare: Martin Häglund
Januari 2011

Abstract

The purpose of this Master's Thesis is to investigate how the risk of onset of mould and decay will change due to a changing climate. The research encompasses the time period 1960-2099 in open fields near the cities Göteborg, Lund, Stockholm and Östersund for the emission scenarios A1B, A2 and B1. The risk of onset of mould and decay is studied on wood in outdoor climate as well as the risk of onset of mould for an exterior wall.

In order to calculate the risk of onset of mould a dose-response model was used. For the risk of decay another dose-response model was used. Both models depend on the daily mean values of the temperature and relative humidity. The decay model also depends on the daily precipitation. The outdoor climate was modelled by the global climate model ECHAM5 and the results were downscaled using the regional climate model RCA3 to take the Nordic topology into account. This was done for all three scenarios by Rossby Centre at the Swedish Meteorological and Hydrological Institute. The specific humidity, radiation and wind from the climate models had to be transformed so they could be used in the mould and decay models and the computer program WUFI.

The computer program WUFI was used together with the modelled outdoor climate to model the climate in the exterior wall. The exterior wall was assumed to be a wood stud wall with a wooden facade. The climate in the exterior wall was modelled for three ten-year time periods and this was done for all the cities and scenarios. The observation point was located on the boundary between the air gap and the outer insulation.

The values for both the relative mould and decay doses for wood in outdoor climate were higher for the modelled climate than compared to the observed one during the years of 1961-1990. Since there was a major difference in the relative humidity between the modelled climate and the observed one (but no difference for the temperature or precipitation) it was concluded that the humidity was the main reason for high values of relative mould and decay doses. For Östersund the relative mould dose was much higher for the modelled climate than the observed one. Since Östersund had considerably more days with high relative humidity, above 97 %, whilst the temperature was above 0.1°C it was concluded that this was the reason behind the high relative mould values for Östersund. The results for both the mould and the decay onset indicate that the values for both mould and decay start to rise after the year 2040. This was concluded to happen because it was around this year the temperature started to increase continuously whilst the relative humidity didn't have any significant changes.

The relative mould dose for the modelled climate in the exterior wall is much lower than for the modelled outdoor climate. The difference was concluded to depend on the increased temperature due to the heat flow from the indoor climate. The temperature change lead to a lower relative humidity, but the moisture transport in the wall meant that this change was not as large as the temperature increase first suggests. Between the two last ten-year periods the relative mould dose increases significantly. As mentioned before the temperature rises during these years are the main reason for the increase in relative mould dose.

Keywords: Mould, decay, climate change, exterior wall

Sammanfattning

Syftet med examensarbetet är att undersöka hur mögel- och rötrisk förändras till följd av ett förändrat klimat. Undersökningen gäller för åren 1960-2099 i öppet landskap vid städerna Göteborg, Lund, Stockholm och Östersund för utsläppsscenarierna A1B, A2 och B1. Både mögel- och rötrisk studeras för en träbit i utomhusklimat. Därutöver studeras även mögelrisk för en yttervägg.

Två olika modeller för att beräkna mögel- respektive rötrisk har använts. Båda modellerna är funktioner av dygnsmedelvärden för temperatur och relativa fuktighet i klimatet. Rötmodellen beror även på dygnsnederbörden. Klimatet modelleras med hjälp av den globala klimatmodellen ECHAM5 för gällande scenarier och skalas ner med den regionala klimatmodellen RCA3 för att ta mer hänsyn till den nordiska topologin. Detta utfördes av Rosby Centre vid Svenska Meteorologiska och Hydrologiska Institutet. Den specifika fuktigheten, strålningen och vinden som erhöles från klimatmodellerna behövde anpassas för att kunna användas i mögel- och rötmodellen samt i programmet WUFI.

Klimatet i ytterväggen modelleras med hjälp av programmet WUFI utifrån det modellerade utomhusklimatet. Modelleringen utfördes för tre tioårsperioder för respektive stad och scenario. Ytterväggen antogs vara en träregelvägg med träfasad. Punkten som studeras i ytterväggen är belägen på randen mellan luftspalten och den utvändiga isoleringen.

Värdena hos både den relativa mögeldosen och röttdosen är högre för det modellerade utomhusklimatet än för det observerade under åren 1961-1990. Skillnaden beror på att den relativa fuktigheten i det modellerade utomhusklimatet är mycket högre än för det observerade medan temperatur och nederbörd inte uppvisar större avvikelser. Östersund har en mycket högre relativ mögeldos för det modellerade utomhusklimatet än för det observerade. Den stora skillnaden anses bero på att Östersund har betydligt fler dagar då den relativa fuktigheten är väldigt hög, över 97 %, samtidigt som temperaturen är över 0,1°C. Resultaten tyder på att efter år 2040 börjar värdena öka för den relativa mögel- respektive röttdosen. Temperaturen börjar öka vid år 2040 samtidigt som den relativa fuktigheten är konstant vilket är anledningen till att det sker en ökning i relativ mögel- och röttdos.

Den relativa mögeldosen i det modellerade klimatet i ytterväggen är betydligt lägre än för den relativa mögeldosen i utomhusklimatet. Skillnaden beror på att temperaturen är högre till följd av värmeflödet innefrån vilket leder till en sänkning av den relativa fuktigheten. Sänkningen av relativa fuktigheten blir dock inte så stor som temperaturökningen indikerar eftersom det sker en fuktransport i väggen. Mellan de två sista tioårsperioderna sker en signifikant ökning av den relativa mögeldosen. Som tidigare nämnts sker en ökning i temperaturen efter år 2040 samtidigt som den relativa fuktigheten är konstant vilket anses vara orsaken till den ökade relativa mögeldosen i ytterväggen.

Sökord: Mögel, röta, klimatförändring, yttervägg

Förord

Idén till examensarbete är utformad tillsammans med Sven Thelandersson. Vi vill tacka vår handledare Martin Häglund och examinator Sven Thelandersson, vid Konstruktionsteknik på Lunds Tekniska Högskola, för deras vägledning och värdefulla synpunkter.

Vi vill även tacka Lars Barring på Rossby Centre som tagit fram klimatdata. Därutöver är vi även tacksamma för den hjälp vi fick av Petter Wallentén, vid Byggnadsfysik på Lunds Tekniska Högskola, gällande de byggnadsfysiska frågorna.

Till sist vill vi tacka familj och vänner för deras stöd och synpunkter.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte.....	2
1.3	Hypotes.....	2
1.4	Avgränsning	2
2	Klimat.....	3
2.1	Globala Klimatmodeller.....	3
2.2	Utsläppsscenarier	3
2.2.1	A1B	3
2.2.2	A2.....	3
2.2.3	B1.....	4
2.3	Regional Klimatmodell.....	4
2.4	Modellerat klimat.....	5
2.4.1	Osäkerhet i klimatdata	6
2.4.2	Förhållandet mellan specifik och relativ fuktighet	7
2.4.3	Bearbetning av den kortvågiga strålningen.....	8
2.4.4	Bearbetning av långvågig strålning	12
2.5	Observerat klimat.....	13
3	Modeller	15
3.1	Modell för initiering av mögelpåväxt	15
3.2	Modell för initiering av röta	17
4	WUFI	19
4.1	Konstruktion	19
4.2	Inställningar	19
4.3	Klimat.....	20
5	Tillvägagångssätt	21
5.1	Beräkningar	21
5.2	Modellering av klimatet i ytterväggen	22
6	Resultat.....	27
6.1	Relativ mögeldos	27
6.2	Relativ rötdos	28
6.3	Relativ mögeldos i yttervägg	29
7	Diskussion.....	31

7.1	Relativ mögeldos	31
7.2	Relativ rötdos	34
7.3	Relativ mögeldos i yttervägg	38
8	Slutsatser	41
	Referenser	43
	Appendix 1.....	45
	Appendix 2.....	49
	Appendix 3.....	53
	Appendix 4.....	57
	Appendix 5.....	69
	Appendix 6.....	87

1 Inledning

Examensarbetet studerar förändringen av mögel- och rötrisk under 140 år. För mögelrisken studeras både hur mögelangreppet för trä utomhus under tak och i en vägg förändras i tiden. För rötrisken studeras hur rötangreppet för trä exponerat i utomhusklimat förändras i tiden.

1.1 Bakgrund

Dagens klimat är i förändring. För Sverige är det troligt att både temperaturen och nederbördsintensiteten kommer öka (IPCC 2001, Kjellström et al. 2005). Hur dessa klimatförändringar kommer påverka byggnader är inte klarlagt. I till exempel Sasic Kalagasidis et al. (2009) konstatera att mögeltillväxten för en vind kan förväntas öka i slutet av 2000-talet. För att mikrobiell påväxt, såsom mögel och röta, ska kunna sprida sig krävs det en lämplig temperatur, näring, fuktighet i materialet och i de flesta fall även syre (Burström 2007).

Hälsoproblem är vanligare för boende i byggnader med mögel än byggnader utan mögel (Boverket 2009). Just mögel är enligt Kellner & Stålblom (2001) bland de vanligaste allergiframkallande ämnena i byggnader. WHO lanserade termen *sick building syndrome* vilket är en term som används för byggnader som ger brukarna något av följande symptom: hudrodnad, mental trötthet, huvudvärk, illamående och yrsel etc. Det är inte enligt Kellner & Stålblom (2001) helt känt varför symptomen uppstår men enligt Sandin (1998) anses fukt vara en övervägande anledning men det är inte helt bevisat. Fuktskador är överrepresenterade bland byggnadsskador, över 80 % av alla skador enligt Sandin (1997). Att åtgärda skador efter att byggnaden är uppförd brukar vara kostsamt. För bostäder kostar det enligt Boverket (2009) ungefär 220 miljarder kronor per år att identifiera och åtgärda skador. Detta kan jämföras med nybyggnadskostnaden för bostäder som år 2006 låg på 40 miljarder kronor (Boverket 2008). Med denna jämförelse i åtanke bör dimensioneringarna vara utförliga och noggranna redan från början.

Enligt BFS (2006) skall ett kritiskt fukttillstånd på 75 % i relativ fuktighet användas som dimensioneringskrav om inte väl undersökta och dokumenterade kritiska fukttillstånd finns tillgängliga. Principiellt finns det tre metoder för fuktdimensionering i dagsläget vilka beskrivs nedan (Nevander & Elmarsson 2006):

- Kvantitativ bestämning, vilket innebär att konstruktionen studeras och beräkningar utförs noggrant
- Kvalitativ bedömning, vilket innebär att nomogram, praktiska erfarenheter och andra tillgängliga hjälpmedel används
- Fuktritningar, vilket innebär att kunniga personer uppför ritningar som typritningar som mestadels bygger på erfarenhet

Nackdelen med de två första alternativen är att det kan vara svårt att bestämma fuktkriteriet för olika material. Säkerhetsmarginalerna är lägre för fuktdimensionering än för statisk dimensionering då inga människoliv utan bara människors hälsa riskeras vid feldimensionering (Nevander & Elmarsson 2006).

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att studera hur framtida klimatförändringar fram till år 2100 kan förväntas påverka risken för mögel- och rötangrepp. Mögeltillväxt studeras för trä i utomhusklimat samt för en yttervägg. Röttillväxten studeras enbart för trä exponerat i utomhusklimat.

1.3 Hypotes

Till följd av att klimatet förändras kommer risken för både mögel- och rötangrepp att öka i framtiden.

1.4 Avgränsning

Examensarbetet utförs för 140 år, under tidsperioden 1960-2099, för utsläppscenarierna A1B, A2 och B1 beräknade i den globala klimatmodellen ECHAM5 och nerskalade med hjälp av den regionala klimatmodellen RCA3. Ingen statistisk eller deterministisk korrigering utförs på den modellerad klimatdata. Mögelangrepp för trä och i ytterväggen beräknas med en modell utvecklad på Lunds Tekniska Högskola. I modellen beaktas bara relativ fuktighet och temperatur. Även för att beräkna rötangreppet används en modell framtagen på Lunds Tekniska Högskola där de drivande parametrarna är temperatur, nederbörds mängd och relativ fuktighet. För ytterväggen kontrolleras bara den vägg som nämns i kapitel 5.2 och bara i ett väderstäck för respektive stad. De städer som undersöks är Göteborg, Lund, Stockholm och Östersund.

2 Klimat

I det här kapitlet beskrivs hur globala och regionala klimatmodeller fungerar. Dessutom beskrivs de tre utsläppsscenarioer som har valts att studeras. Sist beskrivs de klimatdata som erhållits från Rossby Centre och hur de förbereds för vidare beräkningar samt något om osäkerheten i dem.

2.1 Globala Klimatmodeller

En global atmosfär-havs klimatmodell, AOGCM, bygger på ett tredimensionellt rutnät från havsbotten till toppen av atmosfären där klimatet simuleras. Då det är avancerade beräkningar går det inte att ha en hög precision för hur landskapet förändras. För att uppnå högre precision används en regional klimatmodell där randvillkoren för ytan och sidorna hämtas ifrån några kopplade AOGCMs (Jones & Nikulin 2009). I det här examensarbetet används klimatdata från modellen ECHAM5 som är framtagen vid Max Planck Institute for Meteorology.

Klimatsimuleringarna börjar vid den nominella starten, år 1860, vilket anses vara då som nivån växthusgaser börjar överskrida de förindustriella nivåerna. Innan den nominella starten måste AOGCM bli fullt utvecklad vilket tar ungefär tusen år och då sker modelleringen bara med konstanta värden på bland annat växthusgaser och aerosoler. Modellen anses som fullt utvecklad då dels utväxlingen mellan atmosfären och haven är internt balanserad samt då dels djuphavscirkulationen är fullt utvecklad. Därefter tas startvärden fram, vilka används till den nominella starten. Inledningsvis följer simuleringen det observerade klimatet för att därefter övergå till att simulera ett utsläppsscenario. I det verkliga klimatet sker det variationer i tiden vilket modellen tar hänsyn till genom att använda flera olika startvärden från den senare delen då modellen strävade efter att bli fullt utvecklad. Det är dock inte rimligt att anta att det simulerade klimatet helt kommer överensstämma med det verkliga (Jones & Nikulin 2009).

2.2 Utsläppsscenarioer

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, har utvecklat fyra olika beskrivningar (A1, A2, B1, B2) för hur världen kommer att fortlöpa fram till år 2100. Varje beskrivning framställer olika utvecklingsscenarioer för befolkning, ekonomi och teknik etc., vilket är olika parametrar som styr hur utvecklingen för utsläppen av växthusgaser kommer att fortskrida. För varje beskrivning finns det flera utsläppsscenarioer då det är mycket osannolikt att utvecklingen sker efter endast ett scenario (IPCC 2000). De utsläppsscenarioer som används i examensarbetet är A1B, A2 och B1 vilka beskrivs mer i detalj nedan.

2.2.1 A1B

A1B är en av tre grupper i A1 beskrivningen vilken skildrar en snabb ekonomisk tillväxt och där jordens befolkning kommer ha en topp i mitten av århundradet för att därefter minska. Den tekniska utvecklingen sker snabbt och det kommer nya och mer effektiva teknologier. De olika regionerna närmar sig varandra med ökade sociala och kulturella samarbeten. Skillnaderna mellan regionerna i inkomst per person minskar. A1B fokusera inte på en specifik energikälla utan en blandning av energikällor och att utvecklingen sker i samma takt för de olika energikällorna samt slutanvändartekniken. Temperaturförändringen i A1B hamnar mellan övriga två utvalda scenarier, se Figur 2.1 (IPCC 2000).

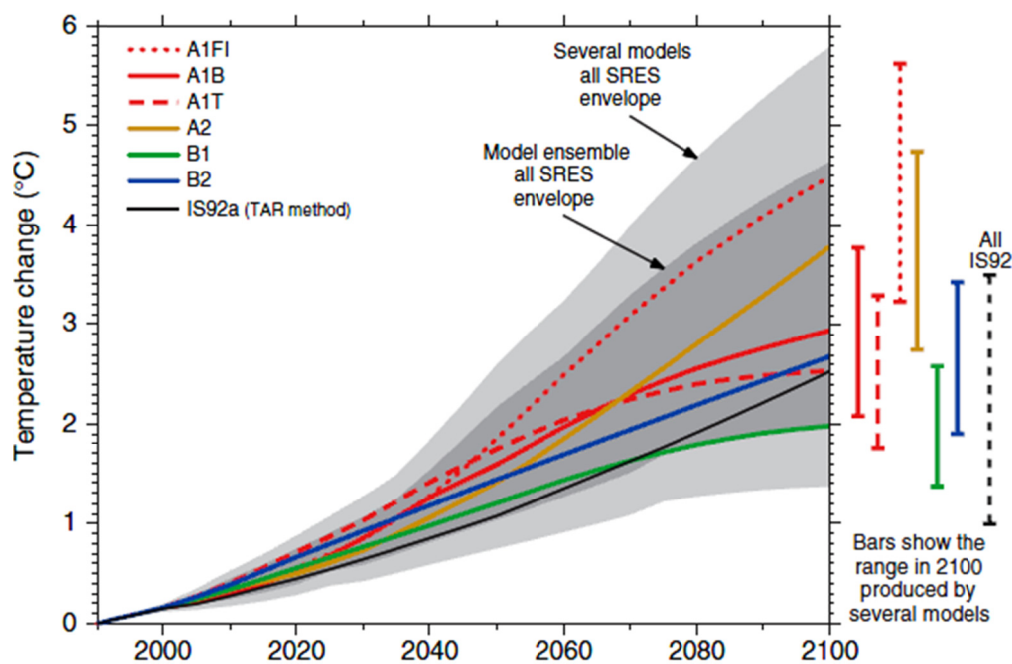
2.2.2 A2

A2 skildrar en ojämn värld där olika regioner arbetar för självförsörjning och bevarandet av sina lokala identiteter. Befolkningstillväxten kommer att långsamt utjämnas mellan de olika regionerna vilket leder till en konstant ökande befolkning. Den ekonomiska tillväxten sker

regionalt och den tekniska utvecklingen är mer splittrad och långsammare jämfört med andra scenarier. A2 är det scenario som ger den största temperaturförändringen av de utvalda scenarierna, se Figur 2.1 (IPCC 2000).

2.2.3 B1

B1 skildrar en värld där länderna närmar sig varandra och med en befolkning som i likhet med A1 har en topp i mitten av århundradet och som därefter minskar. Den ekonomiska strukturen förändras snabbt mot en service och informationsbaserad ekonomi med en minskad materialintensitet och att ny teknik som införs är ren och resurseffektiv. Globala lösningar för ekonomisk, social och miljömässig hållbarhet eftersträvas men utan några särskilda klimatinitiativ. B1 är det scenario som ger den minsta temperaturförändringen av de utvalda scenarierna, se Figur 2.1 (IPCC 2000).



Figur 2.1 Global temperaturförändring (IPCC 2001)

2.3 Regional Klimatmodell

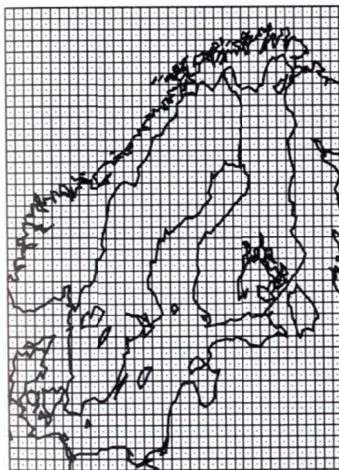
De globala modellerna som används för klimatsimulering har som tidigare nämnts ett alldeles för grovt rutnät för att kunna få tillräckligt relevant data för Sverige. Det leder till att vissa modeller simulerar ett vinterklimat för åren 1961-1990 som både är kallare och att nederbörden blir fel jämfört med observerade värden (Kjellström & Lind 2008). För att få ett finare nät och mindre storlek på felen används regionala klimatmodeller (Kjellström & Lind 2008). Klimatdata som används i det här examensarbetet producerades i version 3 av RCA.

RCA är en regional klimatmodell som skapades av Rossby Center (Rummukainen et al. 1998). Figur 2.2 visar hur rutnätet ser ut runt Östersjön i grundversionen av RCA med en rutstorlek på 44 km (Rummukainen et al. 1998). Som tidigare nämnts används utdata från globala klimatmodeller som randvillkor för regionala klimatmodeller. Randvillkoret för RCA består av parametrarna vind, temperatur, fuktighet och lufttryck vid havsytan (Rummukainen et al. 1998). RCA skapar medelvärdena över de olika cellerna för bland annat temperatur, specifik fuktighet och strålning (Kjellström et al. 2005). Modellen bygger på samma programkod som HIRLAM, High Resolution Limited Area Model, som är programmerad så

att den är effektiv vid datorberäkningar. Den stora skillnaden mellan RCA och HIRLAM är att RCA är tillverkad för att generera klimatdata för längre perioder medan HIRLAM är till för att generera mer högupplösta korttidssimuleringar, det vill säga väderprognostisering (Rummukainen et al. 1998).

Skillnaden mellan version 3 av RCA och grundversionen är att RCA3 simulerar med en horisontell upplösning på $0,44^\circ$ istället för $0,4^\circ$ som grundversionen. Det leder till att RCA3 har en cellstorlek på $49 \times 49 \text{ km}^2$ istället för $44 \times 44 \text{ km}^2$ (Kjellström et al. 2005), vilket kan jämföras med den globala klimatmodellen ECHAM5 som har en upplösning på $1,8^\circ$ (Stier et al. 2005) vilket motsvarar en cellstorlek på cirka $200 \times 200 \text{ km}^2$.

Temperaturfelet hos RCA3 är $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ för säsongsmedelvärdena. Felet blir dock större under vintern på grund av två större influenser, dels en positiv influens och dels en negativ influens. Den positiva influensen överskattar andelen långvågig strålning som når ytan i norra delen av Europa. Den negativa influensen underskattar molnfri kortvågig strålning som når ytan i södra delen av modellen. RCA3 överskattar även mängden vatten i molnen i norra Europa under större delen av året. Ovannämnda tre fel leder tillsammans till en underskattning av det dagliga temperaturspannet samt det årliga temperaturspannet i vissa delar av modellen. Modellen överskattar dessutom nederbörden i norra delen av Europa under sommaren och underskattar den i sydöstra delen (Kjellström et al. 2005).



Figur 2.2 RCA rutnät över Östersjön (Rummukainen et al. 1998)

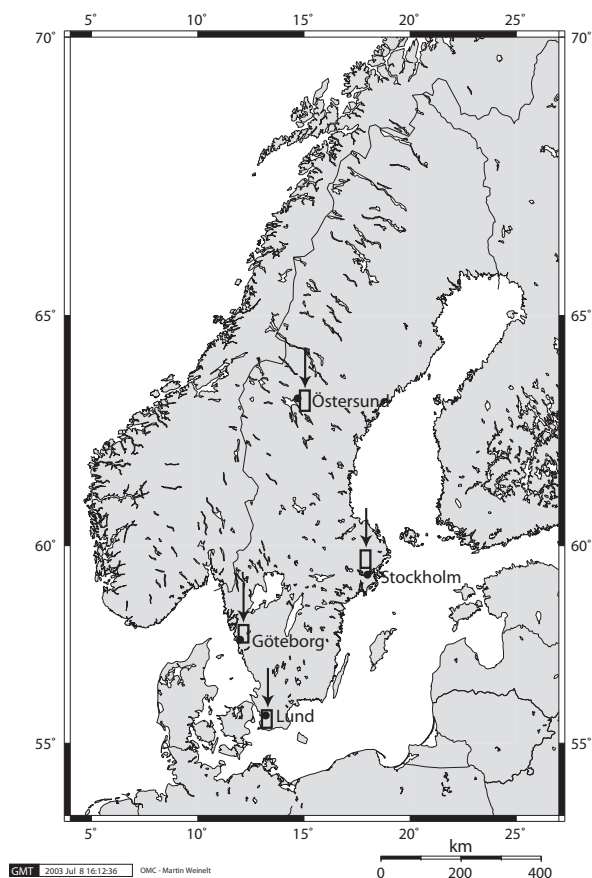
2.4 Modellerat klimat

Det modellerade klimatet redovisas i tretimmarsintervaller och finns för följande fyra områden där koordinaterna för mittpunkten är angiven och en närliggande större ort namnger rutorna, se även Figur 2.3.

- Göteborg (55,62 ; 13,25)
- Lund (57,78 ; 12,17)
- Stockholm (59,66 ; 17,90)
- Östersund (63,15 ; 15,04)

Serierna avser öppet landskap med en upplösning på $49 \times 49 \text{ km}^2$. Klimatdata är för tre scenarier för perioden 1960-2099 och parametrar som ingår är följande:

- Lufttryck vid havsytan [hPa]
- Lufttemperatur på 2 meters höjd över öppet landskap [°C]
- Specifik fuktighet på 2 meters höjd över öppet landskap [kg/kg]
- Zonalvind (västkomponenten) på 10 meters höjd över öppet landskap [m/s]
- Meridionalvind (sydkomponenten) på 10 meters höjd över öppet landskap [m/s]
- Byvind på 10 meters höjd [m/s]
- Nederbörd [mm/3h]
- Totalt molntäcke [andel: 0-1]
- Global inkommande kortvågig strålning [W/m^2]
- Global inkommande långvågig strålning [W/m^2]



Figur 2.3 Karta över Sverige där rutorna som studeras är markerade

2.4.1 Osäkerhet i klimatdata

Modellerade framtida klimatdata innehåller alltid osäkerheter. Dels genom hur externa laster, till exempel växthusgaser, påverkar klimatet och dels vilka följder de får. Enligt IPCC (2001) är det stor osäkerhet i de globala modellerna med avseende på fuktighet och molnighet. Det finns inte en klimatmodell som är bäst utan för att få ett tillförlitligt resultat ska olika modellers resultat jämföras med varandra. Osäkerhet finns även i hur naturliga variationer döljs av eller döljer klimatförändringarna. Det finns osäkerhet även i hur nedskalningen från globala till regionala modeller sker dels genom vilken regional modell som väljs och dels via parametrering (Kjellström et al. 2010). Klimatdata kan korrigeras med hjälp av statistiska eller deterministiska metoder men detta görs inte i examensarbetet.

2.4.2 Förhållandet mellan specifik och relativ fuktighet

Klimatdata som erhållits från Rossby Centre innehåller specifik fuktighet, vilken behöver omvandlas till en relativ fuktighet. Metodiken beskrivs nedan och Nik (2010) används som källa om inget annat anges.

Den specifika fuktigheten, SH , definieras som kvoten mellan massan vatten i luften, m_w , och den totala massan luft, $m_w + m_{da}$, se ekvation (2.1).

$$SH = \gamma = \frac{m_w}{m_w + m_{da}} \quad (2.1)$$

Då fukthalten, ω , uttrycks som kvoten mellan massan vatten i luften och massan torr luft, m_{da} , se ekvation (2.2), kan ekvation (2.1) skrivas om till ekvation (2.3).

$$\omega = \frac{m_w}{m_{da}} \quad (2.2)$$

$$\gamma = \frac{\omega \cdot m_{da}}{\omega \cdot m_{da} + m_{da}} = \frac{\omega}{1 + \omega} \quad (2.3)$$

Ekvation (2.2) går att uttrycka som (2.6) genom att använda allmänna gaslagen, ekvation (2.4), där p är gasens tryck, V är dess volym, \bar{R} är gaskonstanten, T är temperaturen för gasen i Kelvin och n är substansmängden för gasen. Substansmängden kan uttryckas som förhållandet mellan massan, m , och molvikten, M , se ekvation (2.5). I ekvation (2.6) sätts molvikterna för vatten och torrluft in, M_w och M_{da} , och lufttrycket för torrluft skrivs om som skillnaden mellan totalt lufttryck och partialtrycket för vattenångan (Ekbom et al. 2002).

$$p \cdot V = \bar{R} \cdot n \cdot T \quad (2.4)$$

$$n = \frac{m}{M} \quad (2.5)$$

$$\omega = \frac{m_w}{m_{da}} = \frac{M_w \cdot p_w \cdot V / (\bar{R} \cdot T)}{M_{da} \cdot p_{da} \cdot V / (\bar{R} \cdot T)} = 0,622 \cdot \frac{p_w}{p - p_w} \quad (2.6)$$

Den relativa fuktigheten, ϕ , kan definieras som kvoten mellan partialtrycket hos vattenångan, p_w från ekvation (2.6), och partialtrycket för vattenångan vid vattenmättad luft, p_{ws} , se ekvation (2.7)

$$\phi = \frac{p_w}{p_{ws}} \quad (2.7)$$

För att beräkna partialtrycket för vattenångan vid vattenmättad luft, p_{ws} , används ekvation (2.8) eller (2.9) beroende på om temperaturen är över eller under fryspunkten vilket sedan används i ekvation (2.7)

Då $T \leq 273,15^\circ\text{K}$

$$\ln p_{ws} = \frac{C_1}{T} + C_2 + C_3 T + C_4 T^2 + C_5 T^3 + C_6 T^4 + C_7 \cdot \ln T \quad (2.8)$$

Då $T > 273,15^\circ\text{K}$

$$\ln p_{\text{ws}} = \frac{C_8}{T} + C_9 + C_{10}T + C_{11}T^2 + C_{12}T^3 + C_{13} \cdot \ln T \quad (2.9)$$

$C_1 - C_{13}$ är konstanter enligt Tabell 2.1

Tabell 2.1 Konstanterna $C_1 - C_{13}$

Konstant	Värde
C1	-5,674 535 9 E+03
C2	6,392 524 7 E+00
C3	-9,677 843 0 E-03
C4	6,221 570 1 E-07
C5	2,074 782 5 E-09
C6	-9,484 024 0 E-13
C7	4,163 501 9 E+00
C8	-5,800 220 6 E+03
C9	1,391 499 3 E+00
C10	-4,864 023 9 E-02
C11	4,176 476 8 E-05
C12	-1,445 209 3 E-08
C13	6,545 967 3 E+00

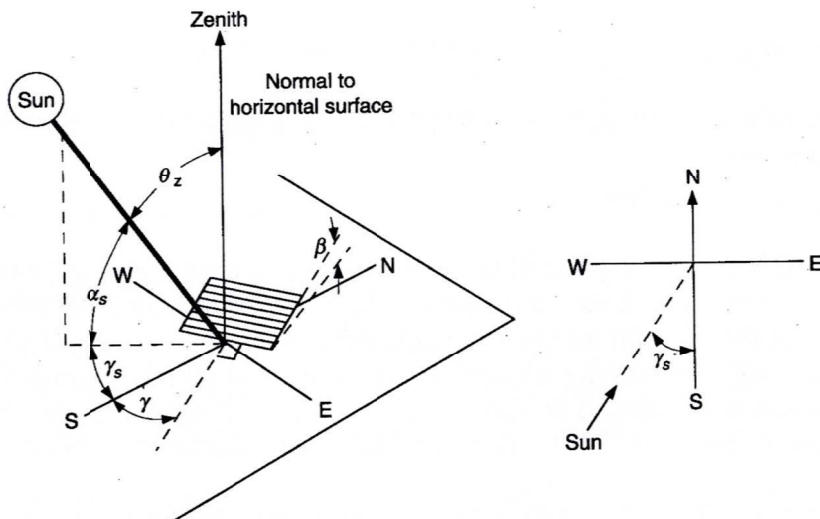
2.4.3 Bearbetning av den kortvågiga strålningen

Klimatdatabaserien från Rossby Centre innehåller den globala kortvågiga strålningen, vilken behöver omvandlas till en global horisontell kortvågig strålning och en diffus horisontell strålning. Metodiken är hämtad från Nik (2010) om inget annat anges.

Zenitvinkeln, θ_z , vinkeln mellan solen och zenit (se Figur 2.4), beräknas enligt ekvation (2.10) där ingående parametrar beskrivs nedan och parametrarna zenitvinkel (θ_z), lutningsvinkeln (β) och ytans vridning (γ) är även utritade i Figur 2.4. Det bör observeras att zenitvinkeln i teorin kan vara över 90° men då träffas inte ytan av de solstrålarna därför sätts alla vinklar över 90° till 90° (Duffie & Beckman 2006).

$$\begin{aligned} \cos(\theta_z) &= \sin(\delta) \sin(\phi) \cos(\beta) - \sin(\delta) \cos(\phi) \sin(\beta) \cos(\gamma) \\ &+ \cos(\delta) \cos(\phi) \cos(\beta) \cos(\omega) \\ &+ \cos(\delta) \sin(\phi) \sin(\beta) \cos(\gamma) \cos(\omega) + \cos(\delta) \sin(\beta) \sin(\gamma) \sin(\omega) \end{aligned} \quad (2.10)$$

δ är deklinationen, vinkel för solen med avseende på ekvatorn och beror på vilken dag på året det är (1-365 alternativt 1-366). ϕ är latituden, positiv för norra halvklotet och negativ för södra. β är lutningen mellan horisontlinjen och ytplanet som studeras, i det här fallet är $\beta = 0$ då en horisontell yta studeras. γ är ytans vridning, vilket i det här fallet inte påverkar ekvationen då $\beta = 0$. ω är timvinkeln, solens vinkelförskjutning på grund av jordens rotation (Duffie & Beckman 2006).



Figur 2.4 Zenitvinkel, θ_z , lutningsvinkel β , ytans vridning, γ , samt solens azimutvinkel, γ_s för en lutad yta. Den högra bilden är en vy från ovan (Duffie & Beckman 2006)

När solstrålningen passerar atmosfären sker en strålningsförlust till följd av absorption hos vattenånga. Detta strålningsbortfallet, F [W/m^2], beräknas enligt ekvation (2.11) där e är vattentrycket vid ytan och m är den optiska längden för en himmelsk ljuskälla i jordens atmosfär och beräknas enligt ekvation (2.13). e beräknas enligt ekvation (2.12) där p_w är partialtrycket hos vattenångan enligt ekvation (2.6).

$$F = 70 + 2,8 \cdot e \cdot m \quad (2.11)$$

$$e = \frac{p_w}{100} \quad (2.12)$$

$$m = \frac{1,002432 \cos(\theta_z)^2 + 0,148386 \cos(\theta_z) + 0,0096467}{\cos(\theta_z)^3 + 0,149864 \cos(\theta_z)^2 + 0,0102963 \cos(\theta_z) + 0,000303978} \quad (2.13)$$

Strålningsintensiteten för en godtycklig våglängd, $i(\lambda)$ [$W/m^2 \mu m$], beräknas enligt ekvation (2.14) där $i_o(\lambda)$ ges av Tabell 2.3. α_r är en koefficient som beskriver absorptionen för molekylsplittring, se ekvation (2.15). α_d är en koefficient som beskriver absorptionen för partikulärsplittringen, se ekvation (2.16) där β är grumligheten och redovisas i Tabell 2.2.

$$i(\lambda) = i_o(\lambda) \cdot e^{-(\alpha_r + \alpha_d)m} \quad (2.14)$$

$$\alpha_r = 0,00816\lambda^{-4} \quad (2.15)$$

$$\alpha_d = \beta \cdot \lambda^{-1.3} \quad (2.16)$$

Tabell 2.2 Grumlighetskoefficient

Månad	β
Januari	0,040
Februri	0,040
Mars	0,050
April	0,060
Maj	0,070
Juni	0,070
Juli	0,065
Augusti	0,060
September	0,055
Oktober	0,050
November	0,040
December	0,040

Medelvärdet för spektralstrålningen i ett intervall centrerad kring en våglängd, $i_o(\lambda)$, ges av Tabell 2.3 där våglängden sätts till λ .

Tabell 2.3 Medelvärdet för spektralstrålningen centrerad kring en våglängd, $i_o(\lambda)$

λ [μm]	$i_o(\lambda)$ [$W/(m^2nm)$]	λ	$i_o(\lambda)$	λ	$i_o(\lambda)$
0,115	0,000007	0,43	1,660	0,9	0,902
0,14	0,00003	0,44	1,833	1,0	0,757
0,16	0,00023	0,45	2,031	1,2	0,491
0,18	0,00127	0,46	2,092	1,4	0,341
0,20	0,0108	0,47	2,050	1,6	0,248
0,22	0,0582	0,48	2,100	1,8	0,161
0,23	0,0675	0,49	1,975	2,0	0,104
0,24	0,0638	0,50	1,966	2,2	0,08
0,25	0,0718	0,51	1,906	2,4	0,063
0,26	0,132	0,52	1,856	2,6	0,049
0,27	0,235	0,53	1,865	2,8	0,039
0,28	0,225	0,54	1,805	3,0	0,031
0,29	0,488	0,55	1,747	3,2	0,0229
0,30	0,520	0,56	1,716	3,4	0,0168
0,31	0,698	0,57	1,734	3,6	0,0137
0,32	0,840	0,58	1,737	3,8	0,0112
0,33	1,072	0,59	1,721	4,0	0,0096
0,34	1,087	0,60	1,687	4,5	0,006
0,35	1,107	0,62	1,622	5,0	0,0038
0,36	1,081	0,64	1,563	6,0	0,0018
0,37	1,190	0,66	1,505	7,0	0,001
0,38	1,134	0,68	1,445	8,0	0,006
0,39	1,112	0,70	1,386	10	0,00025
0,40	1,447	0,72	1,331	15	0,000049
0,41	1,773	0,75	1,251	20	0,000015
0,42	1,770	0,80	1,123	50	4,00E-07

För att beräkna intensiteten av den direkta strålningen i normalriktningen, I'_{DN} [W/m^2], integreras ekvation (2.14) över våglängderna $0,115 - 50 \mu m$, se ekvation (2.17). Ekvation (2.18) visar hur integrationen kan utföras där j anger vilken våglängd som studeras utifrån Tabell 2.3. Då alla våglängder uppträder samtidigt måste integrationen utföras för varje tidpunkt som studeras.

$$I'_{DN} = \int_{\lambda=0.115}^{\lambda=50} i(\lambda) d\lambda \quad (2.17)$$

$$I'_{DN} = \sum_{j=2}^{78} \left(\left| \frac{i(\lambda_j)}{2} \right| + \left| \frac{i(\lambda_{j-1})}{2} \right| \right) \cdot (\lambda_j - \lambda_{j-1}) \quad (2.18)$$

Den direkta kortvågiga strålningen i normalriktningen beräknas i ekvation (2.19) som skillnaden mellan dess intensitet, I'_{DN} , och den absorberade strålningen av vattenånga, F . Skillnaden korrigeras med en faktor, k_e , som beräknas i ekvation (2.20) och tar hänsyn till excentriciteten hos jordens omloppsbana kring solen.

$$I_{DN} = k_e(I'_{DN} - F) \quad (2.19)$$

Korrektionsfaktorn består av dygnsnumret, N_d (1, 2...365,(366)), och ω_N som beräknas enligt ekvation (2.21) där N är hur många dagar det är på det aktuella året.

$$k_e = \frac{1}{1353} (1353 + 45.326 \cos(\omega_N \cdot N_d) + 0,88018 \cos(2\omega_N \cdot N_d) - 0,00461 \cos(3\omega_N \cdot N_d) + 1,8037 \sin(\omega_N \cdot N_d) + 0,09746 \sin(2\omega_N \cdot N_d) + 0,18412 \sin(3\omega_N \cdot N_d)) \quad (2.20)$$

$$\omega_N = \frac{2\pi}{N} \quad (2.21)$$

Om den direkta horisontella strålningen blir negativ, på grund av att $I'_{DN} < F$, sätts den direkta horisontella strålningen till noll.

Solhöjdsvinkeln, θ_h , beräknas enligt ekvation (2.22) där z_t är zenitvinkeln från ekvation (2.10).

$$\theta_h = 90 - \theta_z \quad (2.22)$$

Den direkta horisontella kortvågiga solstrålningen, I_{DH} , beräknas enligt ekvation (2.23).

$$I_{DH} = I_{DN} \sin(\theta_h) \quad (2.23)$$

Den diffusa horisontella kortvågiga strålningen, I_{dH} , påverkas om det är molnigt. Då det är molnfritt beräknas den diffusa horisontella kortvågiga strålningen enligt ekvation (2.24) och då det är molnigt enligt ekvation (2.25). I ekvationerna är I_H den globala kortvågiga strålningen, vilken erhållits av Rossby Centre. Koefficienten, η , beräknas enligt ekvation (2.26).

$$I_{dH} = \eta \cdot I_H \quad (\text{Molnfritt}) \quad (2.24)$$

$$I_{dH} = I_H - I_{DH} \quad (\text{Molnigt}) \quad (2.25)$$

$$\eta = \frac{1}{1 + 8(\sin \theta_h)^{0.7}} \quad (2.26)$$

Kontroll utförs så att den diffusa horisontella strålningen inte blir negativ, vilket kan uppstå då den horisontella direkta strålningen är större än den globala strålningen. I sådant fall sätts den diffusa strålningen till noll. Om den totala strålningen är noll sätts den diffusa horisontella strålningen också till noll.

2.4.4 Bearbetning av långvågig strålning

Klimatdatabaserierna innehåller den globala långvågiga strålningen, vilken behöver omvandlas till en atmosfärisk långvågig strålning. Tillvägagångssättet för det presenteras nedan och är hämtat från (Wallentén 2010).

Först beräknas den utomjordiska strålningen, H_0 , enligt ekvation (2.27).

$$H_0 = \frac{I_{SC}}{\pi} \cdot (1 + 0,033 \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{d_{nr}}{365}\right) \cdot (\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s) + \omega_s \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta))) \quad (2.27)$$

I_{CS} är solarkonstanten (1397 Wh/m²h), d_{nr} är dagnumret på året (1-365 alternativt 1-366), φ är latituden, δ är soldeklinationen vilken beräknas nedan i ekvation (2.28), och ω är vinkeln vid solnedgång vilken beräknas nedan i ekvation (2.29). φ , δ och ω ska vara i radianer.

$$\delta = 0,4093 \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{284 + d_{nr}}{365}\right) \quad (2.28)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)) \quad (2.29)$$

Genom den inkommande globala långvågiga strålningen, I_G , och den utomjordiska strålningen, H_0 , kan ett klarhetsindex beräknas enligt ekvation (2.30).

$$K_0 = \frac{I_G}{H_0} \quad (2.30)$$

Den atmosfäriska långvågiga strålningen, $L_{w,cl}$, beräknas enligt ekvation (2.31) för en molnig himmel.

$$L_{w,cl} = \varepsilon_{cl} \cdot \sigma \cdot T_0^4 \quad (2.31)$$

Där emittansen, ε_{cl} , beräknas från klarhetsindexen med ekvation (2.32).

$$\varepsilon_{cl}(K_0) = 0,93 - 0,139 \cdot \ln(1 - K_0) \quad (2.32)$$

2.5 Observerat klimat

För att undersöka rimligheten i de modellerade klimatdataserierna används data för observerat klimat med tretimmarsintervall för åren 1961-1990. Följande fyra orters observerande klimat används som referens till det modellerade klimatet:

- Lund
- Säve, utanför Göteborg
- Bromma, utanför Stockholm
- Frösön, utanför Östersund

3 Modeller

Både mögel och röta är svampar vilka finns naturligt i miljön omkring oss. De lever av att bryta ner dött organiskt material och enkla oorganiska ämnen. För att svamparna ska överleva krävs hög fuktighet och tillgång på socker- och kvävekällor. Risken för uppkomst av mögelsvampar är måttlig i en relativ fuktighet på 70-85 % och stor då relativa fuktigheten är högre än 85 %. För rötsvampar är risken till uppkomst måttlig i en relativ fuktighet på 75-95 % och stor vid högre relativ fuktighet. Om den relativa fuktigheten är lägre än 70 % för mögelsvampar respektive 90 % för rötsvampar bedöms risken obefintlig. Konsekvenserna av ett mögelangrepp är svårt att se i början men så småningom uppkommer missfärgningar och en karakteristisk mögellukt kan uppstå. Rötsvampar orsakar i sin tur en försämring av materialets hållfasthet (Erwall 1984).

För att beräkna mögel- och rötrisk används modeller, båda modellerna är framtagna på Lunds Tekniska Högskola (Isaksson et al. 2010, Frühwald-Hansson et al. 2010).

3.1 Modell för initiering av mögelpåväxt

Mögelmodellen beror på dygnsmedelvärdena för den relativa fuktigheten och temperaturen. Den presenteras nedan och Isaksson et al. (2010) används som referens om inget annat anges.

Mögeltillväxt kan delas upp i en bedömningsskala från 0 till 6, se Tabell 3.1. Modellen är framtagen för att bedöma om mögelangrepp initieras och tillämpbarheten är därmed generellt begränsad vid nivåer över 1.

Tabell 3.1 Mögeltillväxtskala

Nivå	Definition
0	Ingen tillväxt
1	Liten tillväxt upptäckt med mikroskop (spår)
2	Moderat tillväxt upptäckt med mikroskop (täckning med 10-25 %)
3	Lite tillväxt upptäckt synligt för ögat (täckning under 10 %)
4	Moderat tillväxt upptäckt synligt för ögat (täckning 10-50 %)
5	Riklig tillväxt upptäckt synligt för ögat (täckning över 50 %)
6	Väldigt kraftig tillväxt (täckning 100 %, väldigt tjock tillväxt)

Ekvation (3.1) ger en kritisk tid i dagar, t_{ms} , för hur lång tid det tar för mögelangreppet för granvirke att nå nivå 1 vid konstanta värden på relativ fuktighet, ϕ i %, och temperatur, T i °C.

$$t_{ms}(\phi, T) = e^{-0,74 \cdot \ln(T) - 15,53 \cdot \ln(\phi) + 75,736} \begin{cases} 75 \leq \phi \leq 100 \% \\ 0,1 \leq T \leq 40 \text{ }^\circ\text{C} \end{cases} \quad (3.1)$$

Ekvation (3.1) kan härledas till en partiell dos som beror på temperaturen, D_T , och partiell dos som beror på relativa fuktigheten, D_ϕ , då ett referensklimat på 20°C/90% gäller. D_T är en dimensionslös faktor och D_ϕ är i dagar.

$$D_\phi = e^{15,53 \cdot \ln\left(\frac{\phi}{90}\right)} \quad \text{då } 75 \leq \phi \leq 100\% \quad (3.2)$$

$$D_T = e^{0,74 \cdot \ln\left(\frac{T}{20}\right)} \quad \text{då } 0,1 < T \leq 30^\circ\text{C} \quad (3.3)$$

Då de undre gränsvärdena i ekvationerna (3.2) och (3.3) underskrids innebär det att mögelangreppet hämmas och det uppstår negativa doser. Dock kan den totala dosen inte vara negativ då materialet som bäst kan återhämta sig helt. Ekvationerna (3.4) till (3.6) gäller för att beräkna hur stor hämningen är för olika fall. När den relativa fuktigheten är under 75 % används ekvation (3.4) eller ekvation (3.5) för att beräkna den partiella dosen för relativa fuktigheten. Då temperaturen är under 0,1 °C gäller dock att dygnsdosen, D, sätt direkt till -0,5 istället för att beräkna två partiella doser som multipliceras, se ekvation (3.6).

$$D_{\phi} = -2,7 + 1,1 \cdot \frac{\phi}{30} \quad \text{då } 60 < \phi < 75\% \quad (3.4)$$

$$D_{\phi} = -0,5 \quad \text{då } \phi < 60\% \quad (3.5)$$

$$D(\phi, T) = -0,5 \quad \text{då } T < 0,1 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.6)$$

Den dagliga dosen D beräknas genom att de partiella doserna multipliceras, se ekvation (3.7).

$$D = D_{\phi}(\phi) \cdot D_T(T) \quad (3.7)$$

För att beräkna dosen D(n) efter n dagar med varierande klimat summeras den dagliga dosen över antalet dagar, se ekvation (3.8).

$$D(n) = \sum_1^n D_i = \sum_1^n D_{\phi}(\phi_i) \cdot D_T(T_i) \quad (3.8)$$

Den relativa mögeldosen beräknas enligt ekvation (3.9). D kommer från ekvation (3.8) och N_{ref} är 38 dagar vilket är den tid det tar att initiera påväxt i klimatet 20°C/90 % enligt ekvation(3.1).

$$D_{\text{rel}} = D/N_{\text{ref}} \quad (3.9)$$

Mögelmodellen har använts tidigare i Häglund et al. (2010). Där användes klimatdata från ett av datorprogrammet Meteororm generat år för 39 orter samt SMHIs observerade data för 8 orter under åren 1961-2007. Medianen för den relativa mögeldosen som gavs av SMHIs klimatdata användes som referensdata. Resultatet för ett godtyckligt år visade på en tydlig skillnad mellan norra och södra Sverige oavsett om klimatdata från Meteororm eller SMHI användes. Den maximala relativa mögeldosen blev större i södra kustnära delarna medan lägre i de nordliga inlandsdelarna. För Säve utanför Göteborg blev värdet över 5 för data från Meteororm, troligtvis ett fel i genererad data för det året, medan medianen för värdena från SMHI blev lite över 1. För Stockholm blev värdet omkring 0,5 för data från Meteororm och SMHI. Relativ mögeldos värden för Östersund blev omkring 0,25 både Meteororm och SMHI (Häglund et al. 2010).

3.2 Modell för initiering av röta

Rötmodellen beror på fuktkvot och temperatur där fuktkvot ges av relativ fuktighet och nederbörd. Den presenteras nedan och som källa används Frühwald-Hansson et al. (2010).

Fuktkvoten för trä i utomhusklimat utsatt för regn antas vara summan av grundfuktkvoten och tilläggsfukt på grund av nederbörd. Grundfuktkvoten, u_0 , baseras på jämvikt med relativ fuktighet, ϕ , i omgivningen och beräknas enligt ekvation (3.10).

$$u_0(\phi) = 0,7 \cdot \phi^3 - 0,8 \cdot \phi^2 + 0,42 \cdot \phi + 0,0077 \quad (3.10)$$

För att ta hänsyn till att det finns en fördröjning mellan förändringen i den relativa fuktigheten och förändringen i fuktkvoten beräknas ett medelvärde över två dagar för den relativa fuktigheten, enligt ekvationen (3.11) där ϕ_1 är dygnsmedelvärdet för relativa fuktigheten. Det är det medelvärdet som sedan används i ekvation (3.10) då fuktkvoten beräknas.

$$u_{01}(t_i) = u[\bar{\phi}(t_i)] = u\left[\frac{\phi_1(t_{i-1}) + \phi_1(t_i)}{2}\right] \quad (3.11)$$

Det måste komma minst 4 mm nederbörd under en dag för att det skall klassas som regn i modellen. En regnperiod, t_r , är antalet obrutna dagar i följd med regn. Därefter kommer en torkperiod, t_d . Under torkperioden torkar materialet och återgår som bäst till jämvikt med grundfuktkvoten. Hur lång torktid som behövs beror på längden av senaste regnperioden enligt förhållandet i ekvation (3.12), där a är en empirisk parameter med värde på 2-3. Här är den vald till 2,5.

$$t_d \cong a \cdot t_r \quad (3.12)$$

När det regnar kan en medelfuktkvot beräknas enligt ekvation (3.13). k_r är en konstant som beskriver den relativa ökningen av fukt på grund av regn och har ett värde mellan 0,6 till 1,0 och har valts till 0,8.

$$u_1(t_i) = u_{01}(t_i)[1 + k_r] \quad (3.13)$$

När regnperioden slutat beräknas skillnaden mellan medelfuktkvot som beror av regn och fuktkvoten som beror på relativ fuktighet. Det uttrycks enligt ekvation (3.14) nedan där t_e är sista dagen i regnperioden.

$$\Delta u_{1r}(t_e) = u_1(t_e) - u_{01}(t_e) = k_r \cdot u_{01}(t_e) \quad (3.14)$$

Fuktkvoten dag k efter en regnperiod beräknas enligt ekvation (3.15). Träbiten kan aldrig bli torrare än om den är i jämvikt med omgivningen, $u_{01}(t_k)$. Om materialet är fuktigare än vid jämvikt väljs den första termen. $u_1(t_{k-1})$ är fuktkvoten dagen innan dag k , t_d och Δu_{1r} enligt tidigare.

$$u_1(t_k) = \max\left[\left(u_1(t_{k-1}) - \frac{k}{t_d} * \Delta u_{1r}\right), u_{01}(t_k)\right] \quad (3.15)$$

Ett numeriskt problem kan uppstå om den sista regnperioden blir så lång att behövd torktid blir längre än antalet dagar som är kvar av året. Problemet löses genom att den sista regnperioden, om den teoretiskt inte hinner torka ut, bortses från vid beräkning av fuktkvoten.

För att beräkna rötdosen behövs fuktkvoten i träbiten samt dygnsmedeltemperaturen. Den totala dosen för en dag kan skrivas som produkten av partiella dosen beroende av fuktkvoten, D_u , och partiella dosen beroende av temperaturen, D_T , se ekvation (3.16). De olika doserna beräknas enligt ekvation (3.17) och ekvation (3.18).

$$D = D_u \cdot D_T \quad (3.16)$$

$$D_T(T_1) = \begin{cases} 0 \\ T_1/30 \\ 1 \end{cases} \quad \text{då } \begin{cases} T_1 < 0^\circ\text{C} \\ 0 \leq T_1 \leq 30^\circ\text{C} \\ T_1 > 30^\circ\text{C} \end{cases} \quad (3.17)$$

$$D_u(u_1) = \begin{cases} \left(\frac{u_1}{0.3}\right)^2 \\ 1 \end{cases} \quad \text{då } \begin{cases} u_1 \leq 0.30 \\ u_1 > 0.30 \end{cases} \quad (3.18)$$

En årlig dos fås genom att summera alla dagliga doser. För att kunna jämföra olika platser och år beräknas en relativ dos med Helsingfors årsvärde på 41,8 som referens. Beräkningen av den relativa dosen sker enligt ekvation (3.19). Värden över ett innebär således att risken är högre än i Helsingfors och värden under ett innebär en lägre risk.

$$D_{\text{rel}} = \frac{D}{41,8} \quad (3.19)$$

Rötmodellen har tidigare använts i Frühwald-Hansson et al. (2010) där den relativa rötdosen undersöktes för 34 orter för året 2005 baserat på klimatdata från Meteonorm. En tydlig skillnad mellan norra delen av Sverige och södra delen konstateras. Relativa rötdosen blev högre i kustnära delar framförallt västkusten och i södra Sverige medan norra inlandsdelarna har en lägre relativ rötdos. För Göteborg blev värdet 1,59 och för Lund blev värdet 1,29. För Stockholm blev värdet 0,94 och för Östersund blev värdet 0,81. (Frühwald-Hansson et al. 2010)

4 WUFI

WUFI (Wärme Und Feuchte Instationär) är ett datorprogram som kan utföra beräkningar för både stationära och icke-stationära värme- och fuktförhållanden i byggnadsdelar och konstruktioner. WUFI är indelat i följande flikar där varje flik har underflikar. Informationen är hämtad från 'WUFI Pro 5.0 online help'.

- Konstruktion
- Inställningar
- Klimat

4.1 Konstruktion

Under fliken Uppbyggnad/Monitorpositioner anges vilken uppbyggnad byggnadsdelen har i form av lagerföljd, material samt lagertjocklek. Det går att ange om det finns en fukt- och värmekälla inuti något lager samt vilken luftomsättning ett lager har. Det är under den här fliken som lagren delas in i ett rutnät och vilka positioner i byggnadsdelen som ska ge utdata.

Under fliken Orientering/Lutning/Höjd anges åt vilket väderstreck byggnadsdelen är riktad åt, hur stor lutning det är mellan marken och byggnadsdelen, 90° för väggar, samt om byggnaden är över 10 m. De två första nämnda parametrarna har betydelse för både strålnings- och regnlaster medan den sista bara berör slagregnsbelastningen.

Under fliken Ytövergångskoefficient anges de yttre och inre ytornas egenskaper. För den yttre ytan anges värmemotståndet som beror på vad det är för byggnadsdel, till exempel yttervägg, som studeras. Det går även att ange om värmemotståndet är vindberoende. Därefter anges vilket ånggenomgångsmotstånd, sd-värde, som yttersidan har. Genom att veta byggnadsdelens yttre material går det att få absorptionstalet för kortvågig strålning och emissionstalet för långvågig strålning. Byggnadsdelen avgör absorptionstalet för regn och avgör hur mycket regn som stänker bort från byggnaden och därmed inte blir tillgängligt för kapillärsugning. För den inre ytan avgörs värmemotståndet för vilken byggnadsdel, till exempel yttervägg, som beaktas och sd-värdet avgörs av det innersta materialet.

Under fliken Begynnelsevillkor anges vilket startvärde varje lager har för temperatur och relativ fuktighet. De kan vara ett generellt medelvärde för alla lager eller kan läsas in i en fil som visar vilket fördelning som gäller i det aktuella fallet.

4.2 Inställningar

Under fliken Tid/Profil bestäms vilken period som beräkningarna ska utföras under. Om det önskas att kontrollera en viss tidpunkt under beräkningsperioden går det att ställa in. Det är också här som det bestäms hur stora tidssteg som WUFI ska räkna med. Den restriktion som finns är att tidsstegen inte får vara större än tidssteget i klimatfilen.

I fliken Numerik anges först vilken typ av beräkning som ska utföras. De beräkningarna som går att välja är värme- och/eller fukttransportberäkningar. För värmeberäkningar går det att göra ett tillval om värmeledningen ska vara temperatur- och fuktberoende eller om ett konstant dimensionerande värde ska användas. Sedan går det att bestämma om det ska tas hänsyn till några hygrotermiska specialinställningar. Det som kan regleras är om beräkningarna ska ske utan kapillärtransport, utan latent värme ånga-vätska och/eller utan latent värme vätska-ånga (med latent värme menas energin som krävs/ges av fasövergångar). Därpå kan det anges om beräkningarna ska ske med ökad noggrannhet och/eller en konvergensförbättring vilket är bra om beräkningarna lider av numeriska problem.

För att överkomma dessa problem går det att välja adaptiv tidsstegskontroll vilket innebär att beräkningarna sker i mindre tidssteg där WUFI upptäcker numeriska problem. Det kan väljas hur många steg ett originalsteg ska bli indelat i och hur ofta WUFI får göra ytterligare minskade tidssteg innan ett konvergensfel registreras och beräkningarna går vidare. Slutligen går det att ange om assembleringen ska ske för kartesiskt eller cylidersymmetriskt geometri (jämför med en vägg och ett rör).

4.3 Klimat

Både utomhusklimatet och inomhusklimatet kan anges antingen genom att importera en fil med klimatdata, välja klimatdata för en av de förutbestämda orterna, ansätta en sinuskurva eller genom olika standarder. De standarder som finns är EN 13788, EN 15026 och ASHRAE 160. I EN 13788 erhålls den relativa fuktigheten i inomhusklimatet utifrån relativa fuktigheten i utomhusklimatet genom en algoritm som är given av standarden som beror på vilken fuktlast som gäller. EN 15026 beräknar temperaturen och relativa fuktigheten för inomhusklimatet utifrån temperaturen i utomhusklimatet och om fuktbelastningen är normal eller hög genom en algoritm given av standarden. ASHRAE 160 beräknar inomhusklimatet utifrån utomhusklimatet genom att använda typ av klimatanläggning, fuktproduktion, luftomsättning och byggnadsvolymen.

5 Tillvägagångssätt

MATLAB har använts till att utföra alla beräkningar förutom klimatsimuleringen i ytterväggen som använde WUFI. Detaljer redovisas nedan.

5.1 Beräkningar

Först kontrollerades klimatdataserierna för att säkerställa korrekthet och upptäcka eventuella felaktigheter eller saknade värden. Saknade värden interpolerades linjärt fram då det oftast var enskilda ställen alternativt 2-3 värden i följd (serierna för respektive parameter omfattade cirka 400 000 värden per stad och scenario och med hänsyn till att dygnmedelvärden användes för att beräkna mögel- och rötrisen ansågs interpoleringen skatta tillräckligt säkra värden).

Då det var den specifika fuktigheten som erhöles istället för den relativa (vilken behövdes för mögel- och rötberäkningarna) utfördes en omvandling enligt teorin i kapitel 2.4.2. Det visade sig att den relativa fuktigheten ibland var över 100 %. Därför sattes ett kriterium att den var tvungen att vara mellan 0-100 %. De värden som hamnade utanför sattes till det närmsta gränskriteriet (det vill säga 100 %).

Strålningsdatan som erhöles var även i fel format för WUFI. Klimatdataserierna innehöll den globala lång- respektive kortvågiga strålningen. Den globala kortvågiga strålningen beräknades till en diffus och en global horisontell kortvågig strålning enligt kapitel 2.4.3. Den långvågiga strålningen omvandlades till en atmosfärisk långvågig strålning enligt kapitel 2.4.4. Vindhastigheten beräknades genom att använda Pythagoras sats och vindriktningen beräknades med hjälp av trigonometri. För vindriktningen gällde att den är 0° om det blåste från norr respektive 90° då det blåste från öst.

Både den relativa mögeldosen och röttdosen för trä beräknades för 140 år och nollställdes för varje nytt år då det är tydligare att åskådliggöra förändringar i relativa dosen för de enskilda åren och jämföra dessa. Det maximala värdet under året togs fram och användes för vidare jämförelse. För den relativa mögeldosen beaktades bara dygnsmedelvärden på temperaturen och den relativa fuktigheten. För den relativa röttdosen beaktades dessutom dygnsnederbörden. Resultaten för de relativa mögel- och röttdoserna presenterades som punkter i diagram. Till punkterna anpassades ett tredjegradspolynom för att visa på en eventuell trend. R^2 -värdet, regressionsvärdet, till kurvan togs fram för att avgöra hur bra kurvan var anpassad till resultaten.

Klimatdata från det observerade klimatet under åren 1961-1990 för temperaturen, relativa fuktigheten och nederbörden kontrollerades. Där det saknades enskilda värden interpolerades de fram och då det var flera värden i följd som saknades ersattes dessa med motsvarande tidigare värden. Därefter beräknades en relativ mögel- respektive röttdos för det observerade klimatet som jämfördes med de motsvarande doser hos det modellerade under samma tid.

Den relativa mögeldosen i en yttervägg beräknades för följande tre tioårsperioder: 1960-1969, 2030-2039 och 2090-2099. Uppdelningen utfördes då det är osäkert hur långa tidsperioder WUFI kan modellera. Dessa tre tioårsperioder valdes för att se om mögeldosen i ytterväggen följde en liknande trend som i utomhusklimatet. Indata till WUFI var i timvärden och presenteras tillsammans med inställningarna i kapitel 5.2. För varje år beräknades en maximal mögeldos för det året och därefter nollställdes den relativa mögeldosen inför nästkommande år. Den relativa fuktigheten och temperaturen erhöles från WUFI i timvärden och de omvandlades till dygnsmedelvärden. Alla tre tioårsperioders resultat presenterades i samma

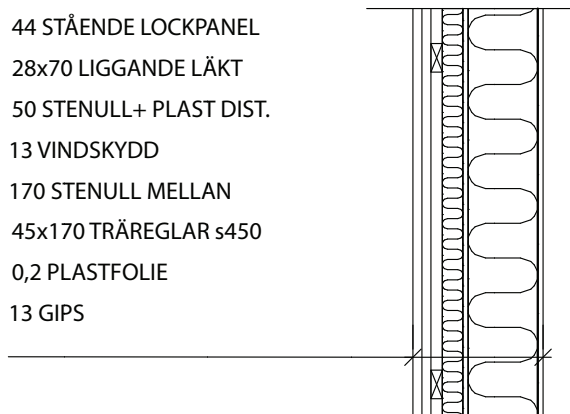
diagram för enkelt kunna jämföras. Dessutom beräknades medianen för varje tioårsperiod och scenario för respektive stad.

5.2 Modellering av klimatet i ytterväggen

Beräkningen gjordes under följande förutsättningar för varje scenario och stad.

- Konstruktionen
 - Uppbyggnad

Väggen är uppbyggd enligt Figur 5.1 och modelleras i WUFI enligt Tabell 5.1. Träfasaden består av lockpanel som är stående omlott vilket ger en tjocklek på 44 mm. I WUFI modelleras fasaden med bara en lockpanel, tjocklek 22 mm, eftersom det är det värsta fallet. Luftspalten antas ha en luftomsättning på 5 [1/h] samt det antas att 1 % av slagregnet filtrerar in genom fasaden fram till den utvändiga mineralullen.

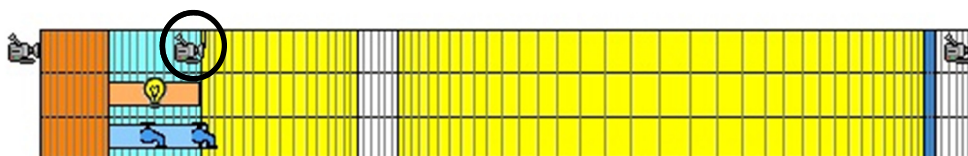


Figur 5.1 Tvärsnitt för utvald yttervägg. Utomhus på vänstersidan och inomhus på högersidan.

Tabell 5.1 Ytterväggens uppbyggnad.

Tjocklek [mm]	Material	Material i WUFI
22	Furu	Furu, densitet 510
30	Luftspalt	Air layer 30 mm; without additional moisture capacity
50	Mineralull	Mineral Wool heat cond.: 0,04W/mK
13	Gipsskiva	Gipsskiva utvändig
170	Mineralull	Mineral Wool heat cond.: 0,04W/mK
0,2	PE-folie	PE-Folie 0,2 mm, sd=87 m
13	Gipsskiva	Gipsskiva invändig

I Figur 5.2 visualiseras den indelning som ansattes för beräkningarna, där en finare indelning ger mer noggrannhet i resultatet. Monitorpositionen valdes till den högra sidan av luftspalten där den möter isoleringen, se cirkel i figuren.



Figur 5.2 Indelning av väggen i WUFI med monitorpositioner, representeras av kamera symbol, samt värme- och fuktkällor. Utomhusklimat på vänstra sidan och inomhusklimat på höger sidan.

- Orientering/Lutning/Höjd
 - Orienteringen berodde på vilken stad som studerades, den riktning som är värst med avseende på slagregn valdes, se Tabell 5.2.

Tabell 5.2 Orientering för respektive stad.

Stad	Orientering
Göteborg	Sydväst
Lund	Väst
Stockholm	Sydväst
Östersund	Nordväst

- Lutningen från markplanet sattes till 90°
 - Höjden på byggnaden ansågs vara under 10 m

- Ytövergångskoefficient
 - Yttre ytan
 - Värmemotstånd
Då beräkningarna utfördes på en yttervägg medförde det ett värmemotstånd på 0,0588 [m²K/W] som ansågs vindberoende.
 - Sd-värdet
Ingen ytbehandling.
 - Absorptionstal för kortvågig strålning
Då fasadträet ansågs obehandlat och väderutsatt, fås ett absorptionstal på 0,7 [-].
 - Emissionstal för långvågig strålning
Som tidigare nämnts ansågs fasadträet obehandlat och blev därför väderutsatt. Vilket medförde att emissionstalet blev 0,9 [-]. Explicit strålningsbalans togs ej hänsyn till.
 - Adsorptionstal för regnvatten
Detta är enligt konstruktionstypen/lutningen vilket blev 0,7 [-].
 - Inre ytan
 - Värmemotstånd
Sattes till motsvarande för ytterväggen vilket blev 0,125 [m²K/W].
 - Sd-värde
Ingen ytbehandling.

- Begynnelsevillkor
 - Relativa fuktigheten sattes till 80 % för alla skikt i väggen.
 - Temperaturen sätts till 20°C för alla skikten.

- Inställningar
 - Tid/profil

Beräkningarna utfördes för tre olika tioårsperioder med ett entimmesintervall. Följande tioårsperioder användes:

 - 1960-01-01–1969-12-31
 - 2030-01-01–2039-12-31
 - 2090-01-01–2099-12-31
 - Numerik
 - Beräkningstyp

Både beräkningar för värme- och fukttransport togs hänsyn till.
 - Hygrotermiska specialinställningar

Kapillärtransport, latent värme ånga-vätska och latent värme vätska-ånga valdes inte bort.
 - Numeriska parametrar

Ökad noggrannhet och konvergensförbättring valdes att användas.
 - Adaptiv tidstegskontroll

Inställdes till 3 steg och maxantalet steg valdes till 10.
 - Geometri

Geometrin sattes till kartesiskt.
- Klimatet
 - Utomhusklimatet har erhållits av Rossby Centre. Klimatdataserierna har gjorts om till timvärden samt omvandlats som tidigare nämnts för att kunna användas i WUFI. Följande parametrar har använts vid simuleringen av yttervägen i WUFI:
 - WD

Vindriktning där 0 betyder att vinden kommer från norr och 90 att vinden kommer från öster [°].
 - WS

Vindhastighet [m/s].
 - RN

Nederbörds mängd som träffar en horisontell yta per timme [mm/h].
 - PMSL

Lufttryck vid havsytan [hPa].
 - TA

Temperatur i luften [°C].
 - HREL

Relativ fuktighet [0 – 1].
 - ISGH

Global kortvågig strålning [W/m^2].
 - ISD

Diffus kortvågig strålning [W/m^2].
 - ILAH

Atmosfärisk långvågig strålning [W/m^2].
 - CI

Molnighetsindex [0 – 1].
 - Inomhusklimatet

Innetemperaturen styrs av standarden EN 13788 med en konstant temperatur på 20°C och fuktproduktionen sattes till 4 g/m³ enligt Nevander & Elmarsson

(2006). Justering gjordes för höga temperaturer, 10-20°C, då det antas att ventilationen är högre, se Tabell 5.3 för temperaturberoendet hos fuktlasten.

Tabell 5.3 Fuktlastens temperaturberoende.

Temperatur	Fuktlast
- 10°C	4 g/m ³
10°C	4 g/m ³
20°C	2 g/m ³

6 Resultat

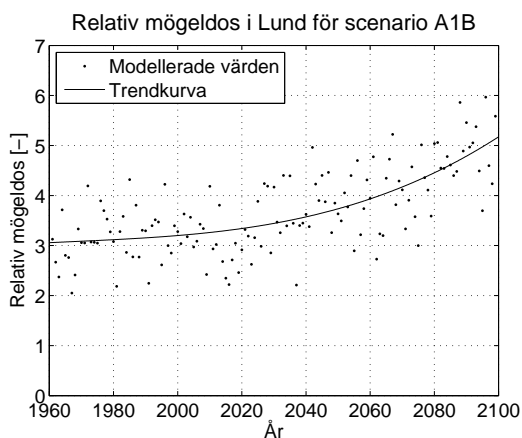
Nedan presenteras den största dosen som uppnåddes för respektive år under tidsperioden 1960-2099 för mögel- och rötangrepp hos trä. Slutligen presenteras största relativa mögeldos som uppnåddes för respektive år för tre tioårsperioder i en yttervägg.

6.1 Relativ mögeldos

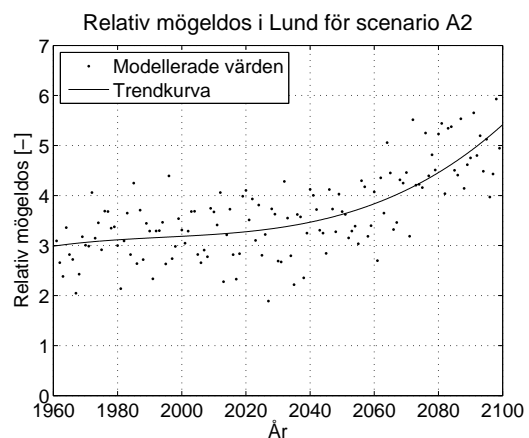
Tabell 6.1 visar start- och slutvärdena samt den procentuella ökningen för trendkurvan hos de olika städerna och scenarierna. Då alla städer visade liknande tendenser fast andra värden redovisas enbart figurerna för Lund, för samtliga städer se Appendix 1. Alla scenarierna för Lund har en majoritet av värdena mellan 2-4 till cirka år 2040. Efter år 2040 ökar värdena och den ökningen är olika stor beroende på scenario, se Figur 6.1 till Figur 6.3. Ökningen är störst för scenarierna A1B och A2 vars värden når upp till 4-6 och minst för scenario B1 vars värden uppnår 3,5-5,0.

Tabell 6.1 Start- och slutvärde samt procentuell ökning för trendkurvan gällande relativ mögeldos hos samtliga städer och scenarier.

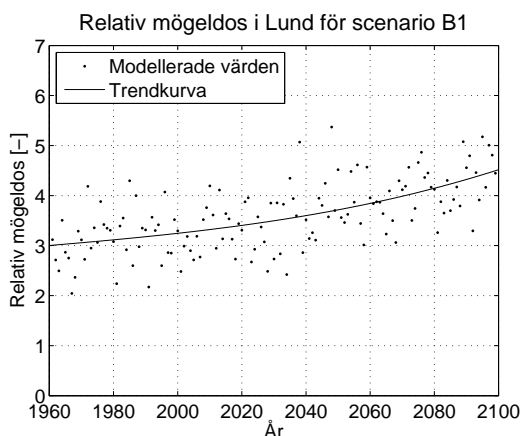
	Scenario A1B			Scenario A2			Scenario B1		
	Start	Slut	Ökning	Start	Slut	Ökning	Start	Slut	Ökning
Göteborg	2,9	5,4	86	2,8	5,6	100	2,8	4,5	61
Lund	3,1	5,1	65	3,0	5,4	80	3,0	4,5	50
Stockholm	2,7	4,8	78	2,6	5,1	96	2,7	3,9	44
Östersund	4,8	9,0	88	4,6	9,0	96	4,8	7,0	46



Figur 6.1 Relativ mögeldos i Lund för scenario A1B under åren 1960-2099, där R^2 -värdet för trendkurvan är 0,50.



Figur 6.2 Relativ mögeldos i Lund för scenario A2 under åren 1960-2099, där R^2 -värdet för trendkurvan är 0,55.



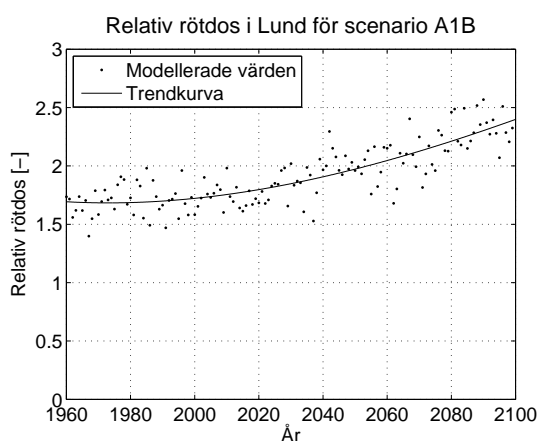
Figur 6.3 Relativ mögeldos i Lund för scenario B1 under åren 1960-2099, där R^2 -värdet för trendkurvan är 0,39.

6.2 Relativ rötdos

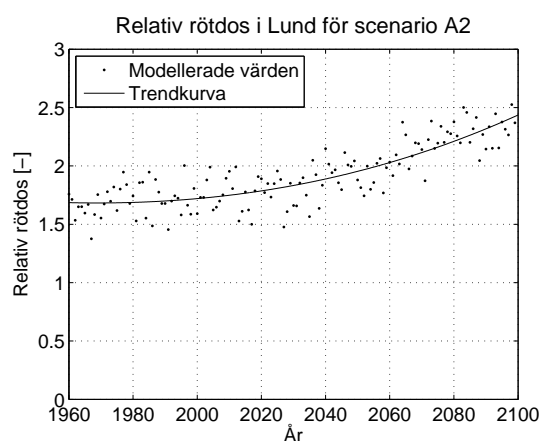
Tabell 6.2 visar start- och slutvärden samt den procentuella ökningen för trendkurvan hos de olika städerna och scenarierna. Nedan redovisas enbart figurerna för Lund, för samtliga städer se Appendix 2. Lund har en majoritet av värdena för relativa rötdosen mellan 1,5-2,0 till cirka år 2040. Därefter ökar värdena olika mycket beroende på scenario, se Figur 6.4 till Figur 6.6. Ökningen är störst för scenarierna A1B och A2 vars värden når upp till 2,25-2,5 och minst för scenario B1 vars värden uppnår 2,0-2,5.

Tabell 6.2 Start- och slutvärde samt procentuell ökning för trendkurvan gällande relativ rötdos hos samtliga städer och scenarier.

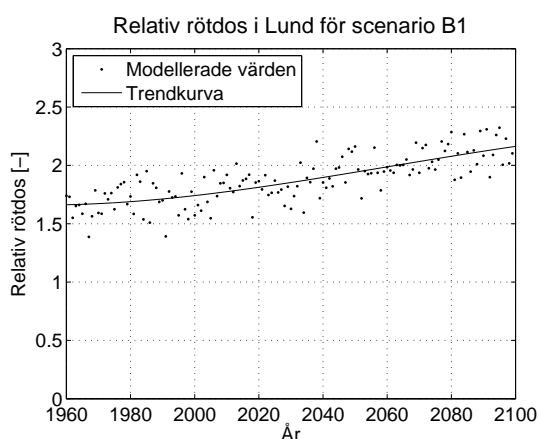
	Scenario A1B			Scenario A2			Scenario B1		
	Start	Slut	Ökning	Start	Slut	Ökning	Start	Slut	Ökning
Göteborg	1,6	2,4	50	1,6	2,4	50	1,6	2,1	31
Lund	1,7	2,4	41	1,7	2,4	41	1,7	2,2	29
Stockholm	1,5	2,2	47	1,5	2,3	53	1,5	2,0	33
Östersund	1,1	1,8	64	1,1	1,8	64	1,1	1,5	36



Figur 6.4 Relativ rötdos i Lund för scenario A1B under åren 1960-2099. R^2 -värdet för kurvanpassningen är 0,70.



Figur 6.5 Relativ rötdos i Lund för scenario A2 under åren 1960-2099. R^2 -värdet för kurvanpassningen är 0,72.



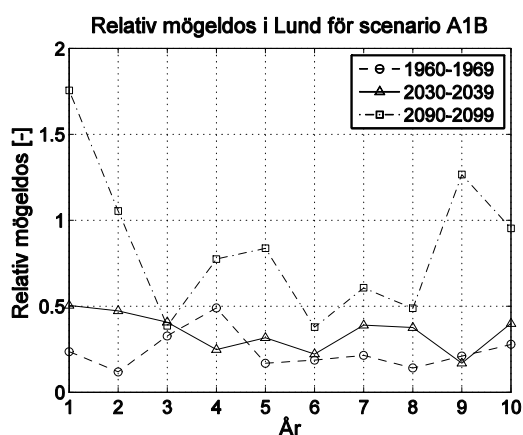
Figur 6.6 Relativ rötdos i Lund för scenario B1 under åren 1960-2099. R^2 -värdet för kurvanpassningen är 0,59.

6.3 Relativ mögeldos i yttervägg

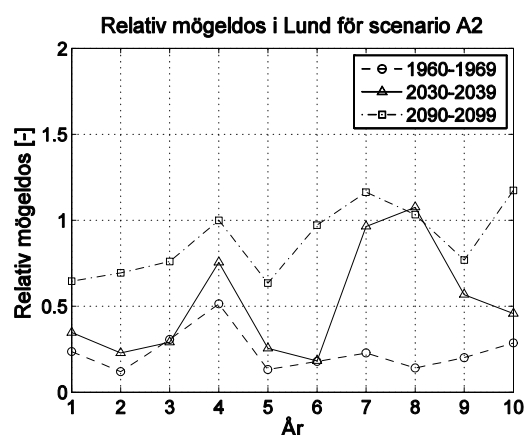
Tabell 6.3 visar medianen för den relativa mögeldosen hos de olika städerna för respektive scenario och tioårsperiod. I Figur 6.7 till Figur 6.9 ses hur den maximala relativa mögeldosen för ett år varierar under de tre tioårsperioder i Lund, se Appendix 3 för samtliga städer. Generellt har tioårsperioden 1960-1969 de lägsta värdena medan 2090-2099 har de högsta värdena.

Tabell 6.3 Medianen av årsmaximum för relativ mögeldos i en yttervägg under tre tioårsperioder.

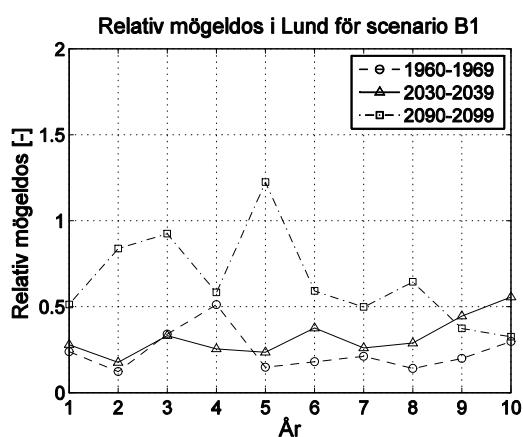
	Scenario A1B			Scenario A2			Scenario B1		
	1960-1969	2030-2039	2090-2099	1960-1969	2030-2039	2090-2099	1960-1969	2030-2039	2090-2099
Göteborg	0,33	0,66	1,98	0,32	0,79	1,87	0,33	0,54	0,90
Lund	0,21	0,38	0,81	0,21	0,40	0,87	0,21	0,28	0,59
Stockholm	0,06	0,14	0,45	0,06	0,16	0,40	0,06	0,14	0,25
Östersund	0,05	0,11	0,46	0,05	0,08	0,53	0,05	0,07	0,22



Figur 6.7 Relativ mögeldos för en yttervägg i Lund för scenario A1B under tre tioårsperioder.



Figur 6.8 Relativ mögeldos för en yttervägg i Lund för scenario A2 under tre tioårsperioder.



Figur 6.9 Relativ mögeldos för en yttervägg i Lund för scenario B1 under tre tioårsperioder.

7 Diskussion

Nedan analyseras rimligheten från resultaten av mögel- och rötdosen i utomhusklimat och mögeldosen i ytterväggen. Eventuella trender och avvikelser diskuteras.

7.1 Relativ mögeldos

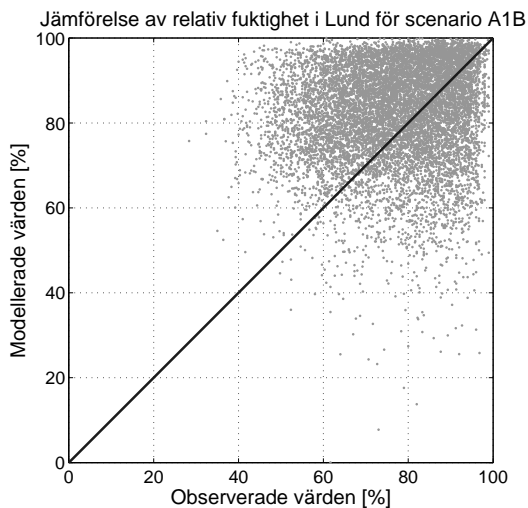
Värdena ligger väldigt högt upp på skalan i Tabell 3.1, oavsett scenario och stad. I Tabell 7.1 visas medianen för de olika scenarierna och det observerade klimatet för respektive stad under åren 1961-1990. Medianen av årsmaximum för relativ mögeldos för det modellerade klimatet blir ungefär lika stora för de olika scenarierna. Jämfört med medianen av årsmaximum för mögeldos för det observerade klimatet blir de modellerade värdena minst 3 gånger så stora. Skillnaden är som störst för Östersund där medianen för de modellerade värdena är kring 34 gånger så stora jämfört med medianen för de observerade, vilket tyder på att Östersund har betydligt högre värden i det modellerade klimatet än det observerade.

Tabell 7.1 Medianen av årsmaximum för den relativa mögeldosen för modellerat och observerat klimat för åren 1961-1990.

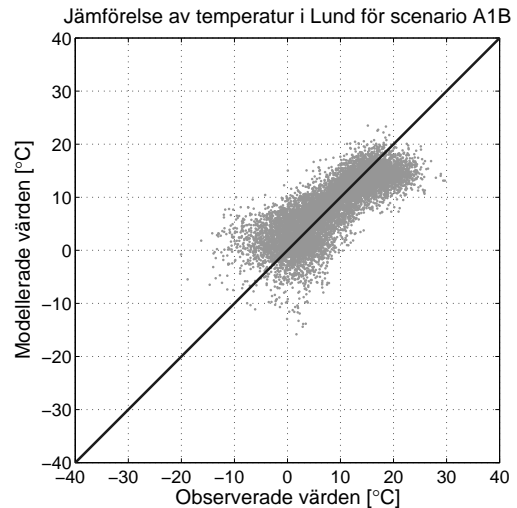
	Scenario A1B	Scenario A2	Scenario B1	Observerade
Göteborg	3,00	3,03	3,10	1,08
Lund	3,08	3,09	3,12	0,65
Stockholm	2,80	2,85	2,80	0,60
Östersund	4,82	4,87	4,71	0,14

Mögelmodellen bygger enbart på temperatur och relativ fuktighet och därför måste åtminstone en av dessa uppvisa en skillnad mellan det modellerade och observerade klimatet. För att ta reda på det utfördes en jämförelse mellan observerade värden och modellerade värden för temperatur och relativ fuktighet för åren 1961-1990 genom att plotta dem mot varandra. Resultatet kan ses nedan för dygnsmedelvärdet av den relativa fuktigheten, se Figur 7.1, och dygnsmedeltemperaturen, se Figur 7.2. I båda figurerna motsvarar de observerade värdena x-värden och de modellerade värdena motsvarar y-värden. Om det modellerade klimatet stämmer exakt med det observerade ska en rät linje bildas. Då det förekommer en naturlig variation i klimatet är det emellertid inte troligt att det modellerade klimatet är i samma fas som det observerade. En viss spridning bland värdena kring linjen ($y=x$) är att vänta. Då det är samma trend oavsett stad och scenario redovisas endast figurer för Lund och scenario A1B i det här kapitlet, se Appendix 4 för samtliga städer och scenarier.

Som ses i Figur 7.1 är värdena för relativ fuktighet inte samlade kring linjen. Det är fler punkter som är över linjen än under, vilket tyder på att de modellerade värdena är högre än de observerade. I Figur 7.2 är punkterna närmre linjen, vilket antyder att värdena för temperaturen stämmer relativt överens mellan modellerade och observerade då viss spridning får anses tillåtet enligt resonemanget ovan. Sammantaget torde det vara förhöjningen i relativ fuktighet som gör att värdena för relativ mögeldos blir höga för det modellerade klimatet.



Figur 7.1 Relativ fuktighetsjämförelse i Lund för scenario A1B under åren 1961-1990. X-axeln visar relativ fuktighet för observerade värden och y-axeln visar relativa fuktigheten för modellerade värden.



Figur 7.2 Temperaturjämförelse i Lund för scenario A1B under åren 1961-1990. X-axeln visar för observerade värden och y-axeln temperatur för modellerade värden.

Då mätnadsånghalten i luften är lägre under vintern är det tänkbart att de höga värdena på den relativa fuktigheten inträffar då. Om temperaturen samtidigt är under $0,1^{\circ}\text{C}$ sätts den dagliga mögeldosen direkt till $-0,5$ och då beaktas inte den relativa fuktigheten fast den då kan vara mycket hög. Den dagliga dosen blir även negativ om luftfuktigheten är för låg, övergången sker då ekvation (3.4) gäller och den relativa fuktigheten är mellan 73-74 %. De höga relativa mögeldoserna undersöks genom att beräkna procentuella antalet dagar då positiva doser inträffar, det vill säga då relativa fuktigheten är $\geq 74\%$ och temperaturen är $\geq 0,1^{\circ}\text{C}$, se Tabell 7.2. Enligt tabellen sker det fler dagar då det är positiva doser i det modellerade klimatet än i det observerade. Fler dagar, då det är positiva doser, borde leda till en högre relativ mögeldos vilket syns i Tabell 7.1.

Tabell 7.2 Procentuella antalet dagar då mögeldosen är positiv under åren 1961-1990 för de olika städerna.

	Scenario A1B	Scenario A2	Scenario B1	Observerat
Göteborg	77,2%	77,0%	77,0%	61,1%
Lund	72,8%	72,7%	73,0%	49,9%
Stockholm	70,1%	70,2%	70,3%	44,1%
Östersund	55,7%	55,6%	55,6%	27,0%

Tabell 7.2 visar inte varför Östersund har högre värden än de andra städerna utan indikerar istället att det sker mindre antal tillväxtdagar. En stor sannolikhet till att det trots allt blir högre värden på den relativa mögeldosen är att klimatet är mer extremt då tillväxten sker. Det extrema klimatet borde bero på att det är en hög relativ fuktighet eftersom temperaturen inte hade stora avvikelser mellan det modellerade och observerade klimatet. Genom att beräkna antalet dagar då det inträffar positiva doser där den relativa fuktigheten är mycket hög, $\geq 97\%$, undersöks om Östersund har fler andel dagar med hög relativ fuktighet, se Tabell 7.3. I Tabellen visas att alla städerna har procentuellt fler antal dagar med mycket hög relativ fuktighet i det modellerade klimatet oavsett scenario. Östersund har dessutom betydligt fler dagar med en mycket hög relativ fuktighet jämfört med de andra städerna. Då den partiella mögeldosen som funktion av relativa fuktigheten beräknas utifrån en exponentialfunktion, se ekvation (3.2), medför höga värden för den relativa fuktigheten att det blir höga värden i den relativa mögeldosen, vilket syns framförallt för Östersund.

Tabell 7.3 Procentuellt antalet dagar då relativa fuktigheten ≥ 97 % samtidigt som temperaturen är över $0,1^{\circ}\text{C}$.

	Scenario A1B	Scenario A2	Scenario B1	Observerade
Göteborg	4,6 %	4,5 %	4,5 %	1,5 %
Lund	5,0 %	4,9 %	5,0 %	0,9 %
Stockholm	3,6 %	4,5 %	4,5 %	2,1 %
Östersund	18,3 %	18,0 %	18,0 %	0,9 %

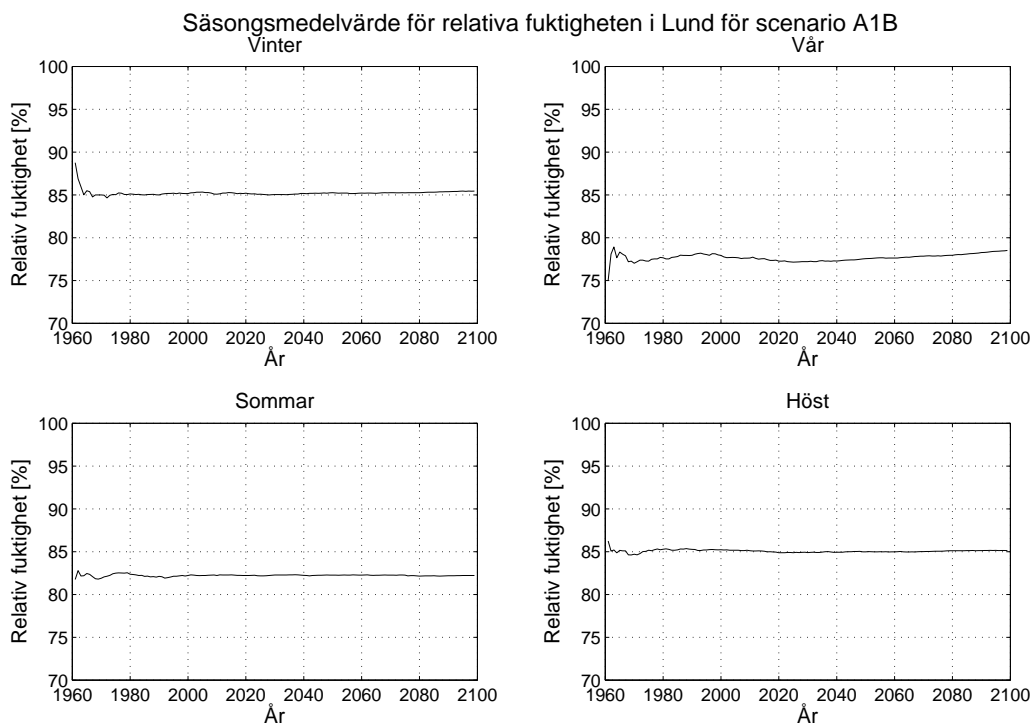
Värdena på den relativa mögeldosen är som tidigare nämnts höga och därför inte tillförlitliga eftersom mögelmodellen har en begränsad tillämpbarhet vid värden över 1. Trenden däremot antas mer trovärdig och kommer studeras vidare.

Regressionsvärdet för trendkurvorna visar hur bra anpassade trendkurvorna är till de modellerade värdena. I Figur 6.1 till Figur 6.3 syns det att regressionsvärdet är minst för scenario B1 och störst för scenario A2, vilket gäller även för de andra städerna. Det indikerar att det är en större spridning hos värdena i scenario B1 än för övriga scenarier.

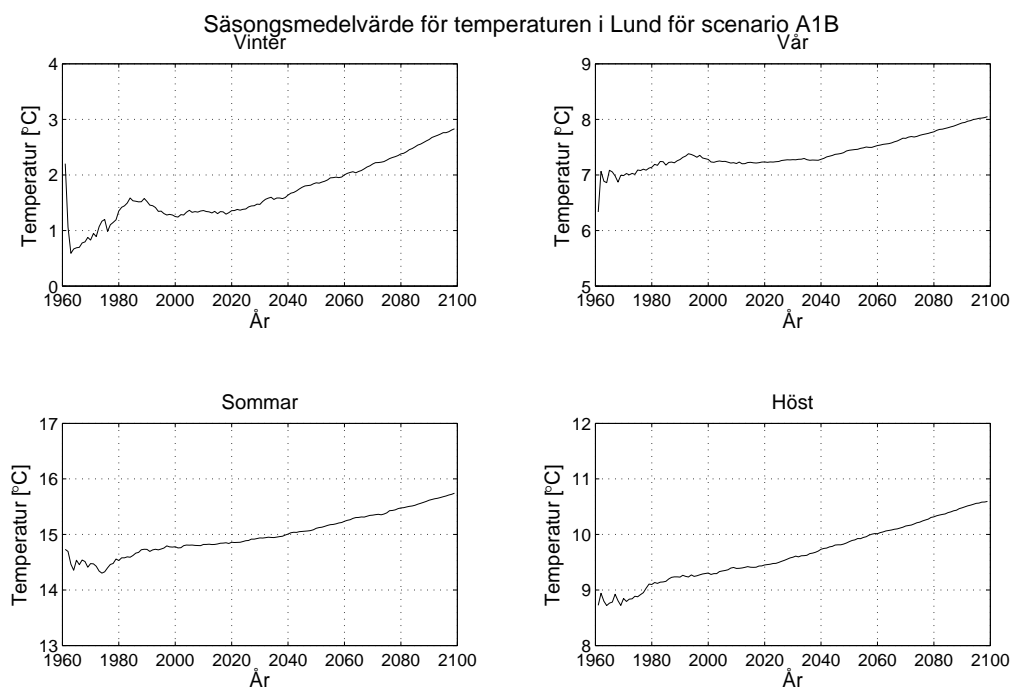
Oavsett vilket scenario och stad som studeras fås en ökning av relativ mögeldos under simuleringen. Enligt Figur 2.1 skall det vara scenario A2 som ökar mest i växthusgaser och till följd av det får den största temperaturökningen medan scenario B1 ger den lägsta temperaturökningen av de tre scenarierna. Detsamma går att se i Tabell 6.1. Där är ökningen för den relativa mögeldosen som störst för scenario A2, nästan en fördubbling, och som minst för scenario B1, nästan en ökning med hälften, oavsett vilken stad som studeras.

De modellerade värdena ligger oavsett stad någorlunda konstant fram till år 2040 för att sedan öka. Ökningen därefter är som störst för scenarierna A1B och A2. Att det sker en ökning vid år 2040 indikerar att det är något i klimatet som ändrats och får genomslag här. Det som får genomslag här måste vara antingen relativ fuktighet, temperatur eller båda parametrar. För att se om det skett någon förändring för temperatur respektive relativ fuktighet beräknas säsongsmedelvärdena och ritas upp, se Figur 7.3 och Figur 7.4. Uppdelningen har gjorts i säsonger för eventuella skillnader skall synas tydligare då variationerna i temperaturen och relativa fuktigheten är stora under året. Vinter motsvarar månaderna december, januari och februari, vår motsvarar månaderna mars till maj, sommar motsvarar månaderna juni till augusti och höst består av september till november. Då det inte är någon större skillnad i trenderna för de olika städerna och scenarierna visas bara figurerna för Lund och scenario A1B, för samtliga städer och scenarier se Appendix 5.

Figur 7.3 visualiserar hur medelvärdet hos den relativa fuktigheten ändras med tiden under den modellerade perioden. Som ses sker ingen signifikant förändring utan den relativa fuktigheten ligger kvar på samma värde för alla säsonger. I Figur 7.4 ses att medeltemperaturen ökar för alla säsonger, det syns även att den sista ökningen förblir konstant. För vinter och vår börjar ökningen efter år 2040 medan för sommar och höst börjar ökningen efter år 2050. Ökningen är störst för vintermånaderna och minst för sommarmånaderna. Som följd av att medeltemperaturen ökar kommer antalet dagar där temperaturen är under $0,1^{\circ}\text{C}$ minska. I sin tur leder det till att antalet dagar som mögelpåväxten hämmas kommer att minska. Det bör således vara ökningen i temperaturen som får genomslag på mögelpåväxten och gör så att trenden för de modellerade värdena ökar efter år 2040.



Figur 7.3 Säsongsmedelvärdet för den relativa fuktigheten i Lund för scenario A1B under åren 1960-2100.



Figur 7.4 Säsongsmedeltemperaturen i Lund för scenario A1B under åren 1960-2100.

7.2 Relativ rötdos

De modellerade värdena för relativ rötdos ligger över värdena för det observerade klimatet. I Tabell 7.4 redovisas medianen av årsmaximum för relativ rötdos under åren 1961-1990 för alla tre scenarier och det observerade klimatet. Variationen mellan de olika scenarierna är liten. Däremot är det en skillnad i rötdosen mellan det observerade och modellerade klimatet, som lägst för Göteborg, 28 %, och störst för Östersund, 75 %.

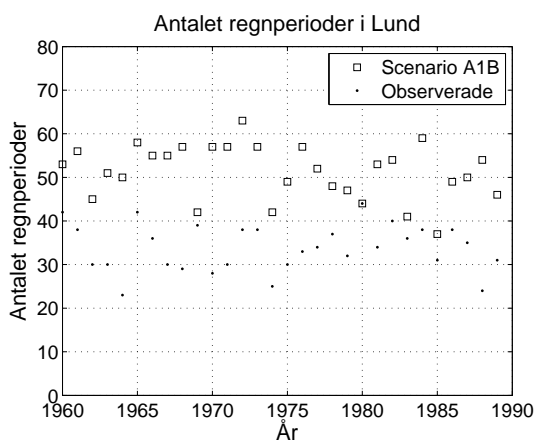
Tabell 7.4 Medianen av årsmaximum för den relativa rötdosen för modellerat och observerat klimat.

	Scenario A1B	Scenario A2	Scenario B1	Observerade
Göteborg	1,65	1,63	1,64	1,29
Lund	1,71	1,69	1,70	1,19
Stockholm	1,51	1,52	1,51	0,97
Östersund	1,10	1,09	1,09	0,63

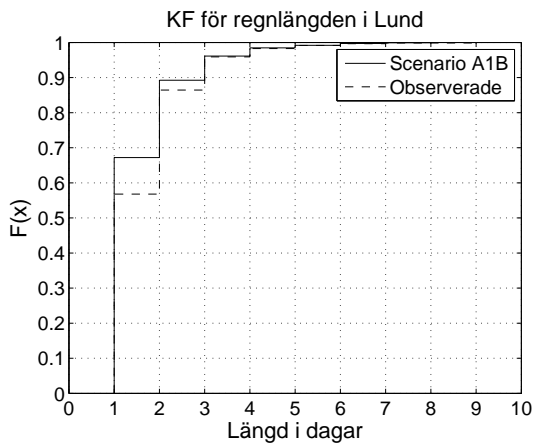
För att beräkna den relativa rötdosen används temperatur och fuktkvot. Fuktkvoten beror i sin tur på relativ fuktighet och nederbörd. Det visade sig i kapitel 7.1 att den modellerade temperaturen överensstämde ganska väl med den observerade medan den relativa fuktigheten var högre för det modellerade klimatet. För att se om det är någon skillnad i nederbörd, mellan det modellerade och observerade klimatet, undersöks hur många regn- och torkperioder som inträffar per år samt vilken fördelning längden har för både regn- och torkperioder. Figur 7.5 till Figur 7.7 visar utvecklingen under åren 1961-1990 för Lund och scenario A1B, för samtliga städer och scenarier se Appendix 4. Figur 7.5 visar antalet regnperioder per år. Det ses att det inträffar fler regnperioder för det modellerade klimatet än det observerade. Längden för regnperioderna ges av Figur 7.6 och där visar att det modellerade klimatet har en större andel korta regnperioder.

En torkperiod inträffar mellan varje regnperiod och därför kommer det också vara fler för det modellerade klimatet än det observerade. Enligt Figur 7.7 består även torkperioderna av en större andel korta perioder för det modellerade klimatet. Då torkperioderna är fler och i större andel kortare är det större risk att träbitarna inte hinner torka ut efter varje regnperiod vilket kan bidra till den förhöjda rötdosen. Samtidigt blir regnperioderna också fler och i större andel kortare vilket medför att den torktid som behövs inte behöver vara fullt lika lång. Av dessa anledningar är det svårt att säga om nederbördsskillnaderna mellan det observerade och modellerade klimatet bidrar till att rötdosen blir förhöjd.

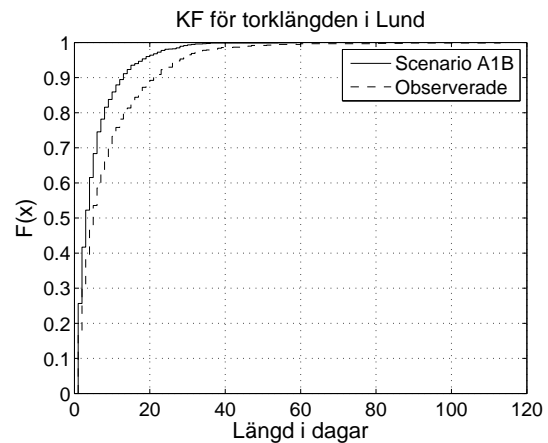
Då fuktkvotens grundvärde är direkt kopplat till den relativa fuktigheten (vilken konstaterats vara förhöjd i det modellerade klimatet) antas det vara den som i huvudsak skapar förhöjningen. Sen kan bidraget av nederbörden för fuktkvoten vara större för det modellerade klimatet men det är som tidigare nämnts svårt att säkerställa.



Figur 7.5 Antalet regnperioder per år under åren 1961-1990 i Lund för scenario A1B.



Figur 7.6 Kumulativa fördelningen, KF, för regnperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Lund för scenario A1B.



Figur 7.7 Kumulativa fördelningen, KF, för torkperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Lund för scenario A1B.

Likt mögeldosen sker en signifikant ökning i trenden för den relativa rötdosen efter åren 2020-2040. För scenarierna A1B och A2 fås en ökning med ca 50 % medan en ökning med cirka 30 % fås för B1. Det sågs även att Östersund hade en något större ökning än de andra städerna oavsett scenario, se Appendix 5.

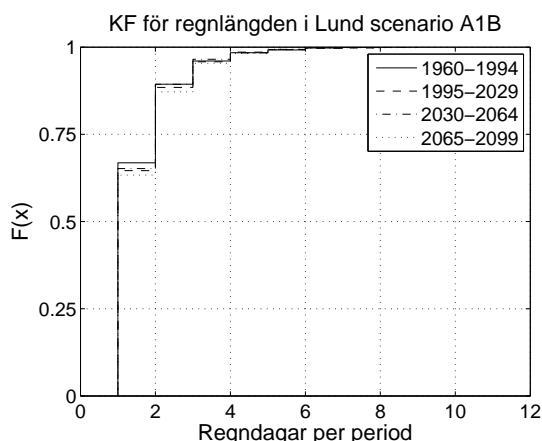
Regressionsvärdet för trendkurvorna visar hur bra anpassade trendkurvorna är till de modellerade värdena. I Figur 6.4 till Figur 6.6 syns det att regressionsvärdet är minst för scenario B1 och störst för scenario A2 (gäller även för övriga städer). Detta indikerar att det är större spridning hos värdena i scenario B1 än de andra scenarierna. Det ses även att trendkurvorna är bättre anpassade till relativ rötdos än relativ mögeldos eftersom R^2 -värdena är högre för relativ rötdos.

Rötdosen, liksom mögeldosen, ökar efter år 2040. Ökningen i mögeldosen ansågs bero på att temperaturen började öka medan den relativa fuktigheten var konstant. Det är också en trolig anledning till att rötdosen ökar, dock beror rötdosen även på nederbörden vilken undersöks både för antalet regn- och torkperioder samt deras längd. De 140 åren delas in i fyra perioder på 35 år var och medianen för hur många regnperioder per år det är under varje 35-årsperiod beräknas och redovisas i Tabell 7.5. Då det efter varje regnperiod sker en torkperiod bör det inträffa ungefär lika många torkperioder som regnperioder per år (det kan högst skilja en period). Torkperiodernas median bör således vara väldigt nära den för regnperioderna. Utifrån Tabell 7.5 går det att se att antalet regnperioder inte förändras i tiden för Lund och Göteborg. För Stockholm och Östersund sker en ökning av antalet regnperioder. Huruvida det kan anses påverka relativ rötdos behandlas senare.

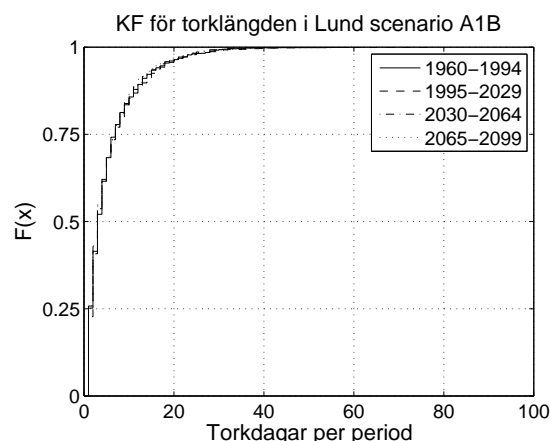
Tabell 7.5 Medianvärdet för antalet regnperioder per år för respektive 35-årsperiod.

Scenario	Göteborg			Lund			Stockholm			Östersund		
	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1
1960-1994	51	52	52	51	52	51	41	42	43	42	42	41
1995-2029	52	50	50	49	50	52	46	42	45	45	42	43
2030-2064	52	51	50	51	49	51	50	46	45	48	46	44
2065-2099	54	52	51	51	51	52	50	47	47	50	49	47

För att se om det sker någon förändring av längden för tork- respektive regnperioderna skapades kumulativa fördelningar för samma fyra årsperioder som tidigare nämnts, se Figur 7.8 och Figur 7.9. Som ses i figurerna är det inte någon större skillnad mellan de olika tidsperioderna, samma gäller övriga scenarier och städer, se **Fel! Hittar inte referenskölla.** för samtliga städer och scenarier.



Figur 7.8 Kumulativ fördelning över antal regndagar för olika 35-årsperioder i Lund för scenario A1B.



Figur 7.9 Kumulativ fördelning över antal torkdagar för olika 35-årsperioder i Lund för scenario A1B.

För att studera inverkan av att det blir fler regn- och torkperioder i Stockholm och Östersund i tiden undersöks hur stor ökningen av relativ rötdos är för respektive 35-årsperiod se Tabell 7.6. Där syns det att Stockholm har ungefär lika stor ökning som Göteborg och Lund medan Östersund endast har något högre för den sista 35-årsperioden. Östersund har en stor andel med hög relativ fuktighet, som nämnts i kapitel 7.1, vilket kan vara en anledning till att Östersund har högre ökning för sista 35-årsperioden. Detta indikerar att ökningen av regnperioder inte ger en stor inverkan på relativa rötdosen.

Tabell 7.6 Procentuella ökning för medianen av relativa rötdosen utifrån 35-årsperioden 1960-1994 för scenario A1B.

	Lund	Göteborg	Stockholm	Östersund
1960-1994	0 %	0 %	0 %	0 %
1995-2029	1 %	5 %	3 %	1 %
2030-2064	16 %	17 %	19 %	19 %
2065-2099	32 %	36 %	36 %	46 %

Då det endast är temperaturen som har en signifikant förändring i tiden bör det vara den som huvudsakligen orsakar ökningen av relativ rötdos.

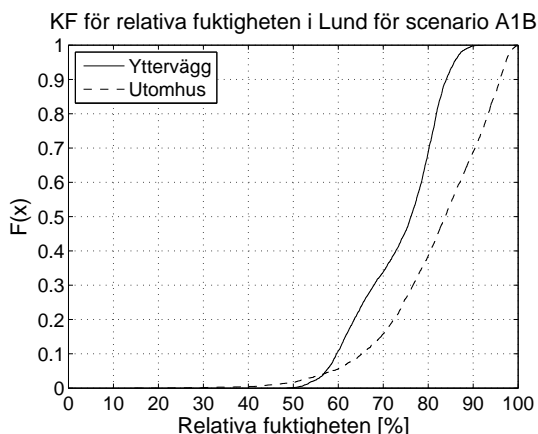
7.3 Relativ mögeldos i yttervägg

Medianen av årsmaximum för relativ mögeldos i yttervägg ligger under de första tio åren kring 0,33 för Göteborg, 0,21 för Lund och kring 0,05 för Östersund och Stockholm, se Tabell 7.7. Detta är betydligt lägre värden än mögeldosen för trä i utomhusklimat. Att mögeldosen är lägre i väggen gäller för alla tioårsperioder, se Tabell 7.7. Då värdena är lägre måste det skett en förändring i antingen temperatur, relativa fuktighet eller båda. Detta undersöks genom att beräkna hur den kumulativa fördelningen ser ut för temperatur respektive relativ fuktighet i ytterväggen och i det modellerade utomhusklimatet, se Figur 7.10 och Figur 7.11. Anledningen till att det modellerade utomhusklimatet valdes som jämförelse var att det inte finns något observerat klimat för ytterväggen tillgängligt och för att kontrollera varför ytterväggen medför en signifikant dämpning av relativa mögeldosen. Figurerna är för åren 1960-1969 i Lund och scenario A1B, för samtliga figurer se Appendix 6.

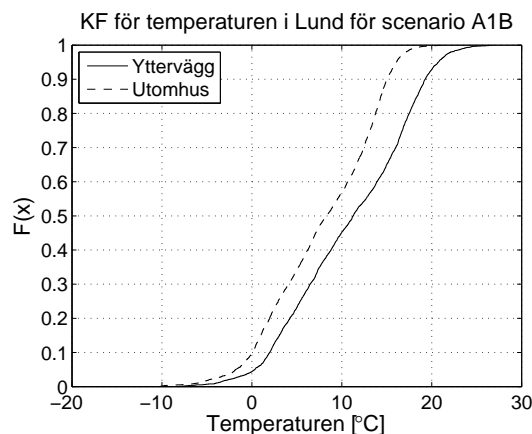
Tabell 7.7 Medianen av årsmaximum för relativa mögeldosen i ytterväggen respektive i utomhusklimat för varje stad och scenarier under de tre tioårsperioderna.

		Scenario A1B			Scenario A2			Scenario B1		
		1960-1969	2030-2039	2090-2099	1960-1969	2030-2039	2090-2099	1960-1969	2030-2039	2090-2099
Göteborg	Yttervägg	0,33	0,66	1,98	0,32	0,79	1,87	0,33	0,54	0,90
	Utomhus	2,70	3,31	5,15	2,64	2,70	4,99	2,64	3,32	4,30
Lund	Yttervägg	0,21	0,38	0,81	0,21	0,40	0,87	0,21	0,28	0,59
	Utomhus	2,75	3,42	4,97	2,75	3,00	4,82	2,78	3,68	4,52
Stockholm	Yttervägg	0,06	0,14	0,45	0,06	0,16	0,39	0,06	0,14	0,25
	Utomhus	2,43	2,96	4,60	2,35	2,66	4,47	2,37	3,00	3,79
Östersund	Yttervägg	0,05	0,11	0,46	0,05	0,08	0,53	0,05	0,07	0,22
	Utomhus	4,29	5,35	8,31	4,27	4,86	8,60	4,30	5,02	6,71

Figur 7.10 visar att den relativa fuktigheten är lägre i ytterväggen än för utomhusklimatet. Det syns också att det är försumbar andel dagar då fuktigheten överstiger 90 % jämfört med utomhusklimatet där omkring 30 % av dagarna har en luftfuktighet högre än 90 %. En liten andel värden med hög relativ fuktighet minskar den relativa mögeldosen mycket då ekvationen är exponentiell och blir över ett då den relativa fuktigheten är 90 % eller högre. Det omvända sågs i kapitel 7.1 där Östersund hade många värden med en relativ fuktighet på över 97 % och därav hade en högre relativ mögeldos än de andra städerna. I Figur 7.11 syns det att temperaturen i ytterväggen är högre än i utomhusklimatet. Temperaturhöjningen beror på att värme flödar ut genom väggen.



Figur 7.10 Kumulativ fördelning över dygnsmedelvärden hos den relativa fuktigheten i Lund under åren 1960-1969 för scenario A1B.



Figur 7.11 Kumulativ fördelning över dygnsmedeltemperaturerna i Lund under åren 1960-1969 för scenario A1B.

Om enbart temperaturen hade ändrats hade mögeldosen blivit högre, dock är en följd av en ökad temperatur att mättnadsåmhalten ökar vilket leder till att den relativa fuktigheten sänks förutsatt att inget fuktillskott tillkommer. Procentuella förändringen i relativa fuktigheten hos en slutenvolym till följd av att temperaturen ökar samtidigt som åmhalten är konstant beräknas genom ekvation (7.1). Några olika starttemperaturer och temperaturförändringar har beräknats, se Tabell 7.8. Detta är ett förenklat fall men ger trots allt en uppsaktning av hur stor inverkan temperaturförändringen har på den relativa fuktigheten.

$$RH = \frac{v}{v_s(T)} \rightarrow RH_2 = RH_1 \cdot \frac{v_s(T_1)}{v_s(T_1 + \Delta T)} \quad (7.1)$$

Tabell 7.8 Sänkning i relativ fuktighet som följd av en temperaturhöjning för tre givna starttemperaturer där åmhalten är konstant.

T _{start}	5°C	10°C	15°C
ΔT=+1°C	6 %	6 %	6 %
ΔT=+2°C	12 %	12 %	11 %
ΔT=+3°C	18 %	17 %	16 %

I Figur 7.11 ses att temperaturmedianen ökar med ungefär 3°C samtidigt som Figur 7.10 visar att relativa fuktigheten sänks med 10 %. Det antyder på att en temperaturökning på 3°C motsvarar en sänkning i relativ fuktighet med 10 %. Som visades i Tabell 7.8 är så inte fallet utan där motsvarar en temperatur på 3°C en sänkning på ungefär 17 %. Att sänkning inte blir som stor som beräkningsexemplet antyder beror på att åmhalten i luftspalten ökar. Tillskottet i åmhalt kommer från bland annat det regn som trängt igenom fasaden, vilket antagits till 1 % av nederbörden som träffar väggen. I Figur 7.10 syns även att relativa fuktigheten nästan inte har något värde över 90 %. Det medför att värdena för relativa mögeldosen blir mycket lägre i ytterväggen jämfört med utomhusklimatet.

Som kan ses av Tabell 7.7 sker det en större ökning av relativ mögeldos mellan tioårsperioderna 2030-2039 och 2090-2099 för alla städer främst för scenarierna A1B och A2. För scenario B1 är inte ökningen mellan dessa tioårsperioder lika markant utan den är nästan lika stor som ökningen mellan tioårsperioderna 1960-1969 och 2030-2039. Det visades i kapitel 7.1 att ökningen hos mögeldosen för trä i utomhusklimat berodde på att temperaturen

började öka främst efter år 2040 medan den relativa fuktigheten låg konstant. Att det går att se en ökning tidigare för mögeldosen i en yttervägg kan bero på att fler parametrar togs hänsyn till då temperaturen och den relativa fuktigheten skulle beräknas för kontrollpunkten i WUFI. Dock anses ökningen efter år 2039 främst bero på att temperaturen ökar.

I Tabell 7.7 ses att oavsett scenario och tioårsperiod har Göteborg störst relativ mögeldos följt av Lund medan Stockholm och Östersund har lägre relativ mögeldos. Då det visade sig i kapitel 7.1 att Östersund hade en hög relativ mögeldos (på grund att en stor del av värdena för den relativa fuktigheten var höga) antas ett liknande förhållande gälla i detta fall när Göteborg har störst värden. Detta kontrolleras genom att ta fram hur många procent av dagarna som har en relativ fuktighet över 90 % och samtidigt en temperatur över 0,1°C, se Tabell 7.9. I tabellen ses, precis som antogs, att Göteborg har procentuellt flest dagar med hög relativ fuktighet när det sker mögeltillväxt.

Tabell 7.9 Procentuellt hur många dagar där relativa fuktigheten är över 90 % samtidigt som temperaturen överstiger 0.1°C för scenario A1B i ytterväggen.

	Göteborg	Lund	Stockholm	Östersund
1960-1969	2,14 %	0,11 %	0,08 %	0,00 %
2030-2039	9,45 %	0,47 %	0,08 %	0,16 %
2090-2099	16,41 %	5,48 %	0,27 %	1,89 %

Genom att jämföra hur många år som mögelangrepp sker, relativa mögeldosen når nivå 1 eller högre, går det att se om ökningen för respektive stad medför att mögelangreppen ökar och blir mer frekventa. Antalet år då mögelangrepp sker under tioårsperioderna visas i Tabell 7.10. Tabellen visar att det sker en ökning i tiden för antalet år där mögelpåväxt inträffar för Göteborg och Lund medan för Stockholm och Östersund sker det inte någon mögelpåväxt för någon av tioårsperioderna. Scenario A1B och A2 har hög sannolikhet för mögelpåväxt, för Göteborg och Lund, medan för scenario B1 är sannolikheten betydligt lägre. Denna jämförelse var ej möjlig för trä i utomhusklimat då doserna var så pass höga att mögelangrepp i stort skett skedde varje år och mögelmodellen är bara anpassad upp till nivå 1.

Tabell 7.10 Antalet år då det sker mögelpåväxt

	Scenario A1B			Scenario A2			Scenario B1		
	1960-1969	2030-2039	2090-2099	1960-1969	2030-2039	2090-2099	1960-1969	2030-2039	2090-2099
Göteborg	0	3	8	0	4	8	0	0	4
Lund	0	0	3	0	1	4	0	0	1
Stockholm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Östersund	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Värdena för den relativa mögeldosen i ytterväggen är på osäkra sidan då många parametrar i WUFI är svåra att ge ett rimligt värde till följd av att de är svåra att mäta. Det som är mest osäkert är hur stor luftomsättningen i luftspalten skall vara. Ett högre värde medför en lägre relativ mögeldos och vice versa. Den klimatdata som använts för beräkningar i WUFI kommer från det modellerade klimatet, vilket innehöll avvikelser i bland annat den relativa fuktigheten jämfört med det observerade. Det medför även osäkerhet i resultatet från beräkningarna i WUFI.

8 Slutsatser

Hypoteserna att risken för mögel- och rötangrepp för trä blir värre med tiden stämmer väl in med resultaten. Värdena för relativa mögeldosen är orimligt höga till följd av att fuktigheten i det modellerade klimatet är överskattat jämfört med det observerade klimatet. Tillsammans med att mögelmodellen har en begränsad tillämpbarhet för värden över 1 medför att det inte lämpligt att sätta fokus på absoluta värden. Trenderna för relativa mögeldosen anses däremot mer trovärdiga. Det sker omkring 80 % ökning av relativa mögeldosen för scenario A1B, ungefär 90 % ökning för scenario A2 och omkring 50 % ökning för scenario B1, Tabell 8.1. Ökningarna sker framförallt efter år 2040 och anses bero främst på temperaturen börjar öka här för alla säsonger medan ingen större förändring sker för relativa fuktigheten.

Tabell 8.1 Start- och slutvärde samt procentuell ökning för trendkurvan gällande relativ mögeldos hos samtliga städer och scenarier under åren 1960-2099, se Appendix 1 för figurerna som tabellen bygger på.

	Scenario A1B			Scenario A2			Scenario B1		
	Start	Slut	Ökning	Start	Slut	Ökning	Start	Slut	Ökning
Göteborg	2,9	5,4	86	2,8	5,6	100	2,8	4,5	61
Lund	3,1	5,1	65	3,0	5,4	80	3,0	4,5	50
Stockholm	2,7	4,8	78	2,6	5,1	96	2,7	3,9	44
Östersund	4,8	9,0	88	4,6	9,0	96	4,8	7,0	46

Värdena för den relativa rötdosen är högre för det modellerade klimatet än det observerade, vilket beror på att den relativa fuktigheten är överskattad. Ökningen är 50 % för scenarierna A1B och A2 och ungefär 30 % för scenario B1, se Tabell 8.2. Ökningarna sker framförallt efter år 2040 och anses bero på att temperaturen ökar samtidigt som relativa fuktigheten inte förändras nämnvärt samt att ändringen i nederbörden inte har stor inverkan på relativa rötdosen.

Tabell 8.2 Start- och slutvärde samt procentuell ökning för trendkurvan gällande relativ rötdos hos samtliga städer och scenarier under åren 1960-2099, se Appendix 2 för figurerna som tabellen bygger på.

	Scenario A1B			Scenario A2			Scenario B1		
	Start	Slut	Ökning	Start	Slut	Ökning	Start	Slut	Ökning
Göteborg	1,6	2,4	50	1,6	2,4	50	1,6	2,1	31
Lund	1,7	2,4	41	1,7	2,4	41	1,7	2,2	29
Stockholm	1,5	2,2	47	1,5	2,3	53	1,5	2,0	33
Östersund	1,1	1,8	64	1,1	1,8	64	1,1	1,5	36

Värdena för den relativa mögeldosen i ytterväggen är mestadels under 1 vilket medför att de absoluta värdena kan studeras. Den första tioårsperioden sker ingen mögelpåväxt för samtliga städer och scenarier. En ökning av antalet år då det inträffar mögelpåväxt sker för Göteborg och Lund medan för Stockholm och Östersund sker ingen förändring. I den sista tioårsperioden inträffar mögelpåväxt i Göteborg åtta av tio år för scenario A1B samt A2 och för fyra av tio år för scenario B1. För Lund inträffar mögelpåväxt tre av tio år för scenario A1B, fyra av tio år för scenario A2 och ett av tio år för scenario B1. Analogt med trä i utomhusklimat är ökningen som störst efter år 2039 och anses också bero på att temperaturen ökar. Den relativa mögeldosen är signifikant lägre i ytterväggen än för trä i utomhusklimat vilket tyder på att ytterväggen ger en dämpning.

De höga värdena hos mögel- och rötdoserna beror på att den specifika fuktighet som genereras av klimatmodellen medför att den relativa fuktigheten blir betydligt högre än observerade värden under åren 1961-1990. Temperaturen följer det observerade klimatet bättre. Resultatet angående fuktigheten från klimatmodellen bör därför tolkas med försiktighet. Följderna av att klimatmodellerna genererar en högre fuktighet medför, som

tidigare nämnts, att doserna blir högre än vad de borde varit. Den överskattade relativa fuktigheten medför dock inte att klimatet blir värre i tiden då den är relativt konstant. Däremot sker det en ökning i temperaturen som medför att mögel- och rötdoserna ökar i slutet av 2000-talet och det blir därmed värre klimat för träbyggnader.

Referenser

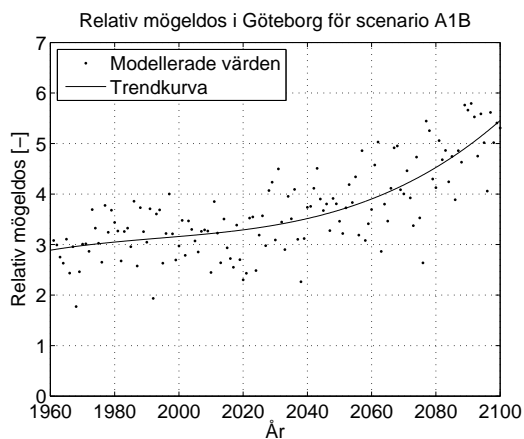
- BFS 2006:12, 2006, *Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (1993:57) – föreskrifter och allmänna råd*, Boverket, Karlskrona.
- Boverket 2008, 'BBR 8 - Fördjupning ekonomiska konsekvenser', in *Bilaga 2 till Konsekvensutredning revidering av avsnitt 3 och 8 i Boverkets Byggregler (BFS 1993:57 med ändringar t.o.m. BFS 2008:6)*, Boverket, Karlskrona.
- Boverket 2009, 'Så mår våra hus - redovisning av regeringsuppdraget beträffande byggnaders tekniska utformning m.m.', Boverket, Karlskrona.
- Burström, PG 2007, *Byggnadsmaterial: uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*, 2nd edn, Studentlitteratur, Lund.
- Duffie, JA & Beckman, WA 2006, *Solar engineering of thermal processes, third edition*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Ekbohm, L, Larsson, S, Bergström, L, Ölme, A, Jönsson, U, Lillieborg, S & Krigsman, T 2002, *Tabeller och formler för NV- och TE-programmen: Matematik, fysik, astronomi, kemi, energi och miljö*, Fjärde upplagan edn, Liber AB, Stockholm.
- Erwall, E, 1984, *Mögel i byggnader - En kunskapsöversikt*, Socialstyrelsen, Stockholm.
- Frühwald-Hansson, E, Isaksson, T, Thelandersson, S & Toratti, T 2010, *Draft - Analysis of risk of decay based on climate data from different sites in Europe*, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Häglund, M, Isaksson, T & Thelandersson, S 2010, *Onset of mould growth - the effect of climate variability and different geographic locations*, The international research group on wood protection, IRG secretariat, Biarritz, Frankrike.
- IPCC 2000, *Emissions Scenarios*, ISBN: 92-9169-113-5, IPCC.
- IPCC 2001, *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, Cambridge.
- Isaksson, T, Thelandersson, S, Ekstrand-Tobin, A & Johansson, P 2010, *Critical conditions for onset of mould growth under varying climate conditions*, Building and Environment, 2010, pp. 1712-1721.
- Jones, C & Nikulin, G 2009, *Understanding the time-axis in coupled climate models: Uncertainty, natural variability and the need for an ensemble approach*, Rossby Centre Newsletter, Maj 2009, pp. 4-8.
- Kellner, J & Stålblom, G 2001, *Byggnade och miljö, Om hälsa, välbefinnande och hållbar utveckling*, Byggförlaget, Stockholm.
- Kjellström, E, Bärring, L, Hansson, U, Jones, C, Samuelsson, P, Rummukainen, M, Ullerstig, A & Wyser, K 2005, *A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3)*, SMHI Reports Meteorology and Climatology No. 108, p. 54.

- Kjellström, E, Hansson, U, Jones, C, Nikulin, G, Strangberg, G & Ullerstig, A 2009, *Changes in wintertime temperature climate as deduced from an ensemble*, Rossby Centre Newsletter, Maj 2009, pp. 9-14.
- Kjellström, E & Lind, P 2008, *Temperature and precipitation changes in Sweden, a wide range of model-based projections for the 21st century*, SMHI, Norrköping.
- Kjellström, E, Nikulin, G, Strandberg, G & Ullerstig, A 2010, *21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations*, Singapore.
- Nevander, LE & Elmarsson, B 2006, *Fukthandbok praktik och teori*, Svensk Byggtjänst, Stockholm, Sverige.
- Nik, VM 2010, *Climate Simulation of an Attic Using Future Weather Data Sets - Statistical Methods for Data Processing and Analysis*, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, Sverige.
- Rummukainen, M, Räisänen, J, Ullerstig, A, Bringfelt, B, Hansson, U, Graham, P & Willén, U 1998, *RCA - Rossby Centre regional Atmospheric climate model: model description and results from the first multi-year simulation*, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping.
- Sandin, K 1997, *Introduktion till fuktmekaniken*, Byggforskningsrådet, Stockholm.
- Sandin, K 1998, *Fuktdimensionering ger fuktsäkrare byggnader*, Byggforskningsrådet, Stockholm.
- Sasic Kalagasidis, A, Nik, V, Kjellström, E & Nielsen, A 2009, *Hygro-thermal response of a ventilated attic to the future climate load in Sweden*, Proceedings of the fourth International Build Physics Conference, Istanbul Turkey.
- Stier, P, Feichter, J, Kinne, S, Kloster, S, Vignati, E, Wilson, J, Ganzeveld, L, Tegen, I, Werner, M, Balkanski, Y, Schulz, M, Boucher, O, Minikin, A & Petzold, A 2005, *The aerosol-climate model ECHAM5-HAM*, Atmospheric chemistry and physics, 31 March 2005, pp. 1125-1156.
- Wallentén, P 2010, *The treatment of Long-Wave Radiation and precipitation in climate files for building physics simulations*, Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XI, Clearwater Beach, Florida.

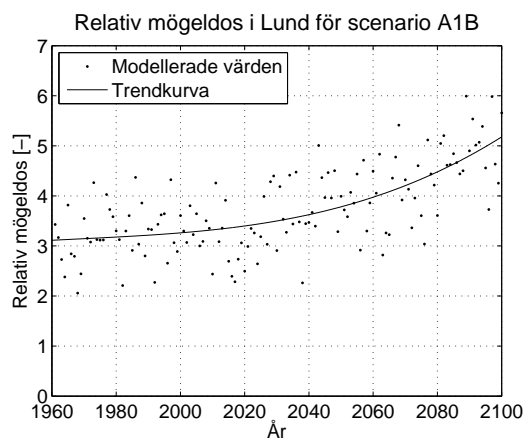
Appendix 1

Nedan presenteras maximala relativa mögeldosen för ett år i utomhusklimat för alla städer och scenario för åren 1960-2099.

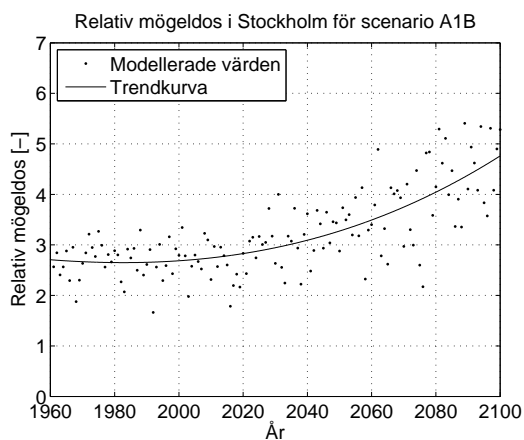
Scenario A1B



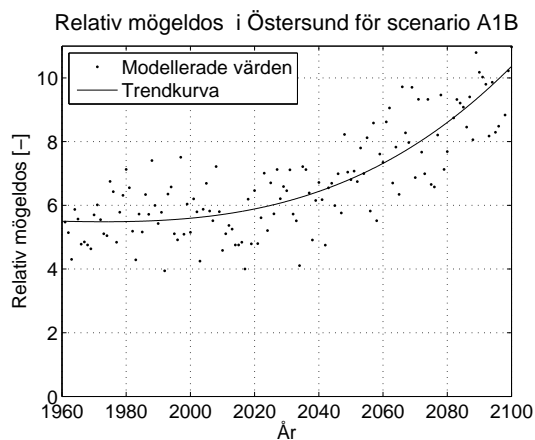
Figur 1 Relativ mögeldos i Göteborg för scenario A1B under åren 1960-2099, där R^2 -värdet för trendkurvan är 0,61



Figur 2 Relativ mögeldos i Lund för scenario A1B under åren 1960-2099, där R^2 -värdet för trendkurvan är 0,50

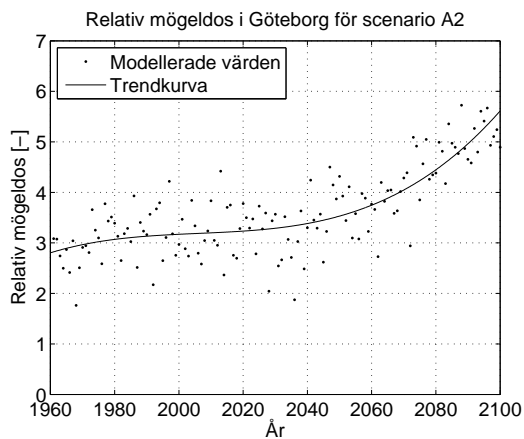


Figur 3 Relativ mögeldos i Stockholm för scenario A1B under åren 1960-2099, där R^2 -värdet för trendkurvan är 0,58

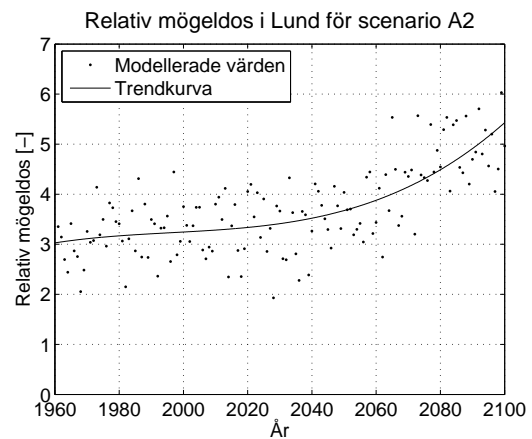


Figur 4 Relativ mögeldos i Östersund för scenario A1B under åren 1960-2099, där R^2 -värdet för trendkurvan är 0,70

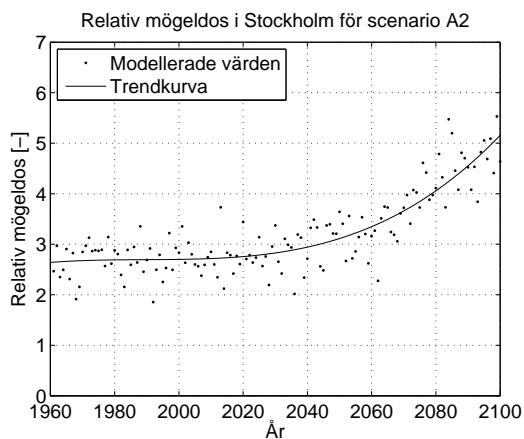
Scenario A2



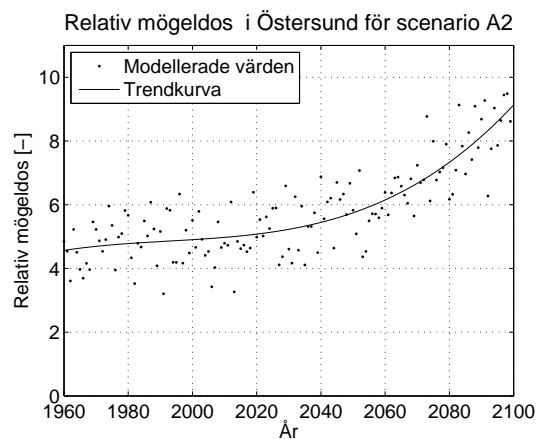
Figur 5 Relativ mögeldos i Göteborg för scenario A2 under åren 1960-2099, där R^2 -värdet för trendkurvan är 0,65



Figur 6 Relativ mögeldos i Lund för scenario A2 under åren 1960-2099, där R^2 -värdet för trendkurvan är 0,55

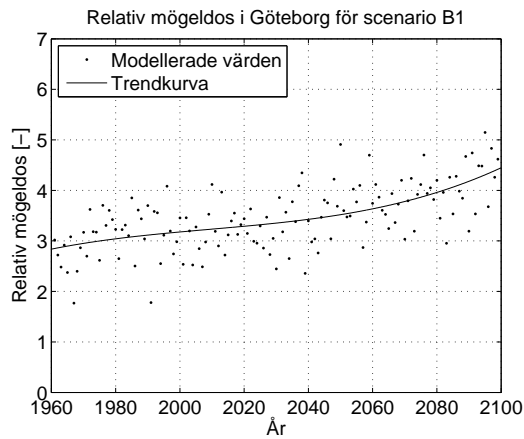


Figur 7 Relativ mögeldos i Stockholm för scenario A2 under åren 1960-2099, där R^2 -värdet för trendkurvan är 0,75

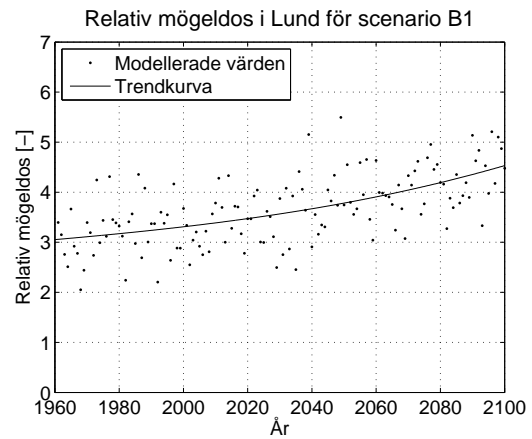


Figur 8 Relativ mögeldos i Östersund för scenario A2 under åren 1960-2099, där R^2 -värdet för trendkurvan är 0,70

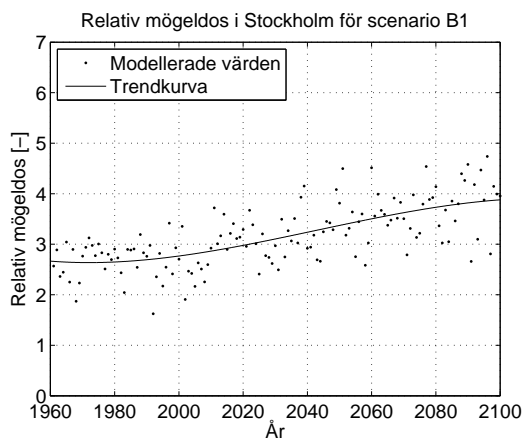
Scenario B1



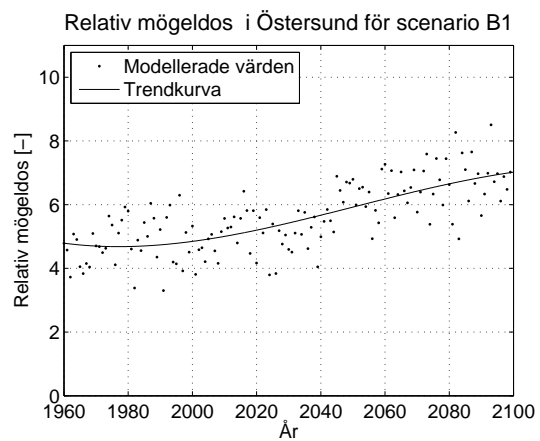
Figur 9 Relativ mögeldos i Göteborg för scenario B1 under åren 1960-2099, där R^2 -värdet för trendkurvan är 0,40



Figur 10 Relativ mögeldos i Lund för scenario B1 under åren 1960-2099, där R^2 -värdet för trendkurvan är 0,39



Figur 11 Relativ mögeldos i Stockholm för scenario B1 under åren 1960-2099, där R^2 -värdet för trendkurvan är 0,48

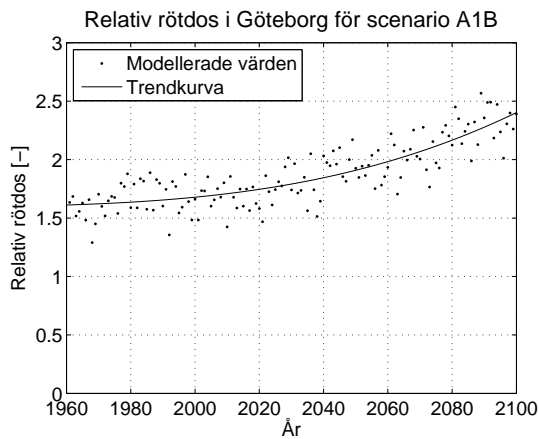


Figur 12 Relativ mögeldos i Östersund för scenario B1 under åren 1960-2099, där R^2 -värdet för trendkurvan är 0,54

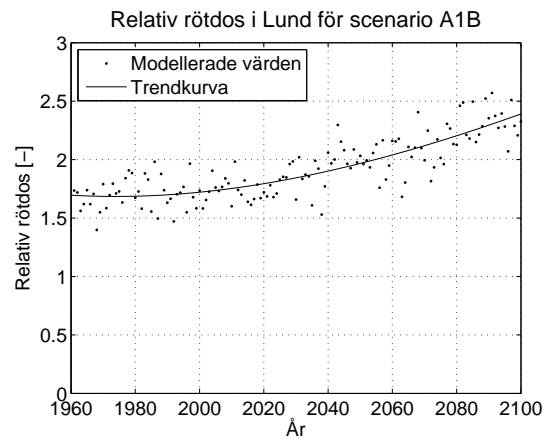
Appendix 2

Nedan presenteras maximala relativa rötdosen för ett år i utomhusklimat för alla städer och scenario för åren 1960-2099.

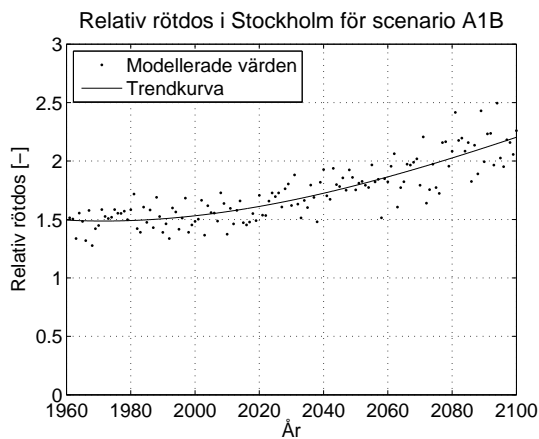
Scenario A1B



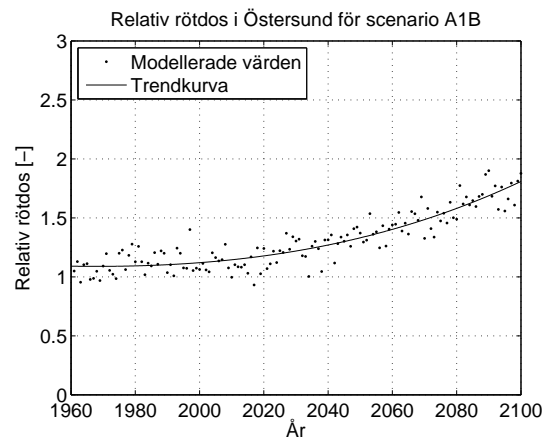
Figur 13 Relativ rötdos i Göteborg för scenario A1B under åren 1960-2099. R^2 -värdet för kurvanpassningen är 0,71



Figur 14 Relativ rötdos i Lund för scenario A1B under åren 1960-2099. R^2 -värdet för kurvanpassningen är 0,70

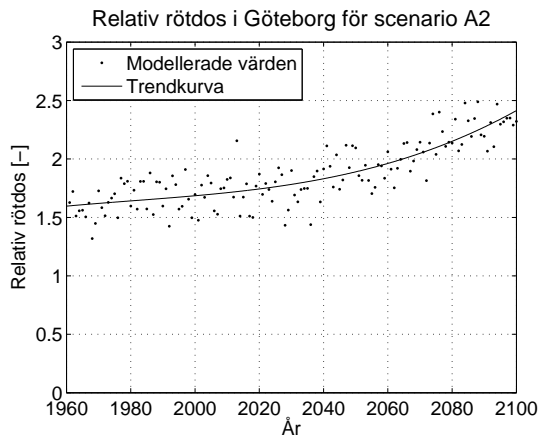


Figur 15 Relativ rötdos i Stockholm för scenario A1B under åren 1960-2099. R^2 -värdet för kurvanpassningen är 0,75

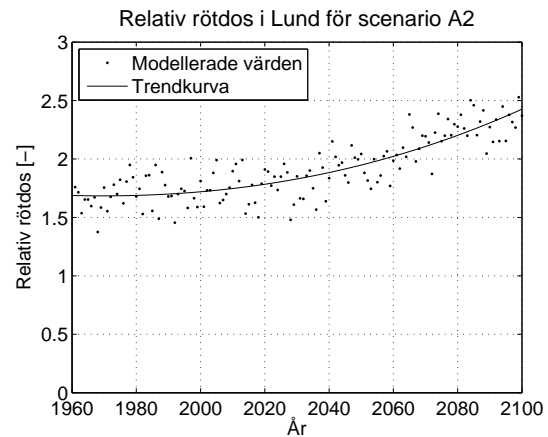


Figur 16 Relativ rötdos i Östersund för scenario A1B under åren 1960-2099. R^2 -värdet för kurvanpassningen är 0,83

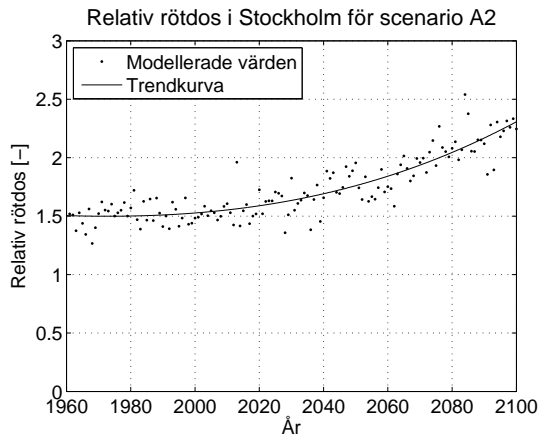
Scenario A2



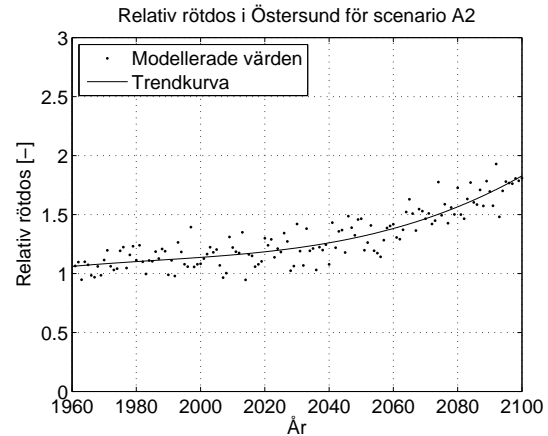
Figur 17 Relativ rötdos i Göteborg för scenario A2 under åren 1960-2099. R^2 -värdet för kurvanpassningen är 0,71



Figur 18 Relativ rötdos i Lund för scenario A2 under åren 1960-2099. R^2 -värdet för kurvanpassningen är 0,72

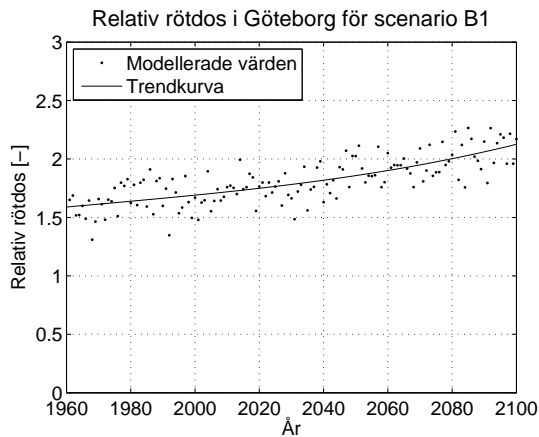


Figur 19 Relativ rötdos i Stockholm för scenario A2 under åren 1960-2099. R^2 -värdet för kurvanpassningen är 0,80

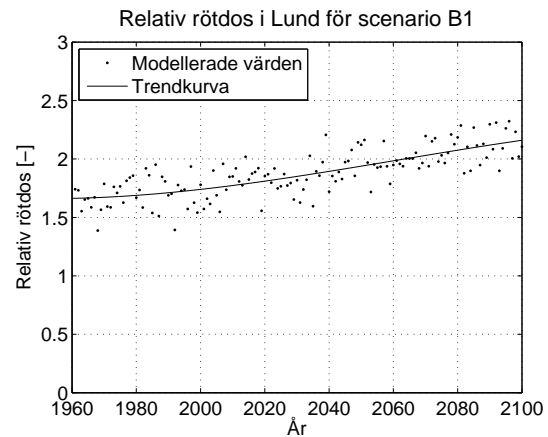


Figur 20 Relativ rötdos i Östersund för scenario A2 under åren 1960-2099. R^2 -värdet för kurvanpassningen är 0,80

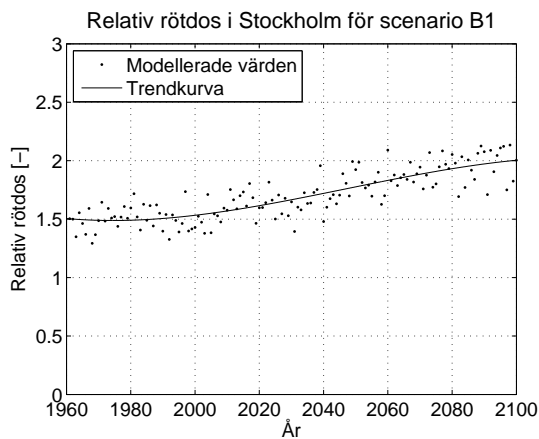
Scenario B1



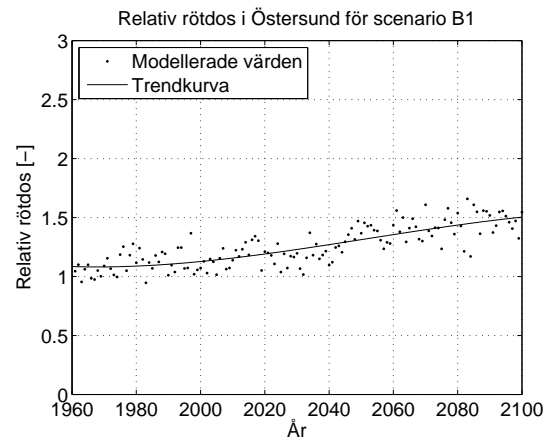
Figur 21 Relativ rottdos i Göteborg för scenario B1 under åren 1960-2099. R^2 -värdet för kurvanpassningen är 0,58



Figur 22 Relativ rottdos i Lund för scenario B1 under åren 1960-2099. R^2 -värdet för kurvanpassningen är 0,59



Figur 23 Relativ rottdos i Stockholm för scenario B1 under åren 1960-2099. R^2 -värdet för kurvanpassningen är 0,70

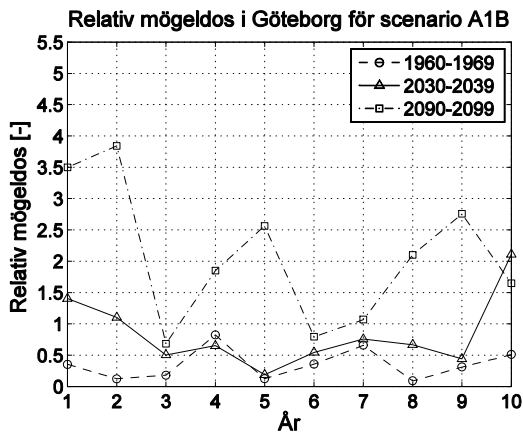


Figur 24 Relativ rottdos i Östersund för scenario B1 under åren 1960-2099. R^2 -värdet för kurvanpassningen är 0,66

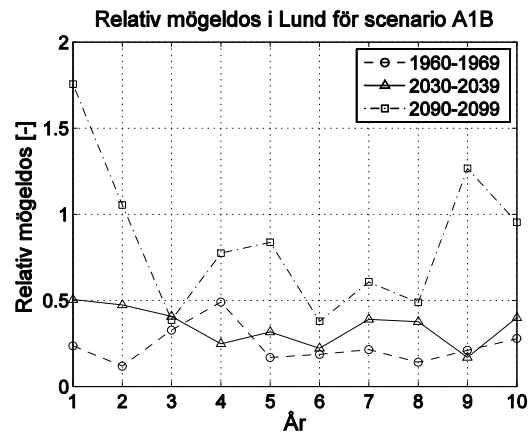
Appendix 3

Nedan presenteras maximala relativa mögeldosen för ett år i ytterväggen för alla städer och scenario under tre tioårsperioder.

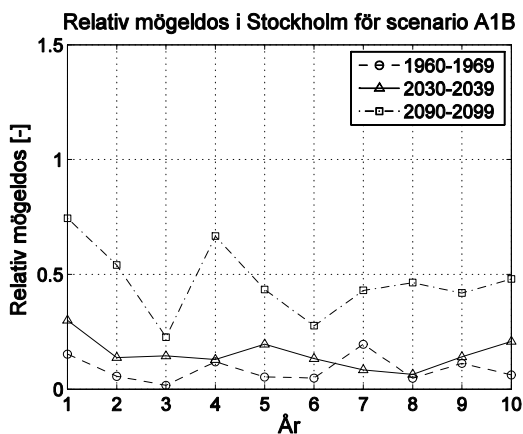
Scenario A1B



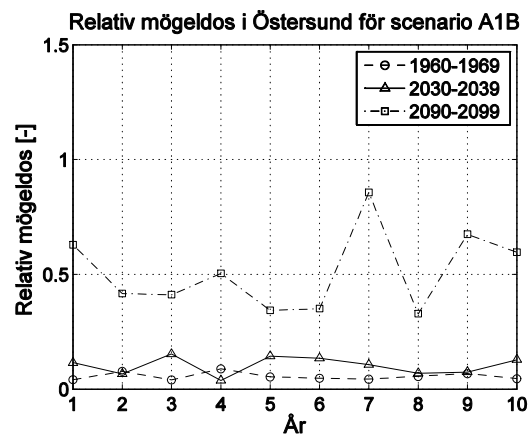
Figur 25 Relativ mögeldos i Göteborg för scenario A1B för tre tioårsperioder



Figur 26 Relativ mögeldos i Lund för scenario A1B för tre tioårsperioder

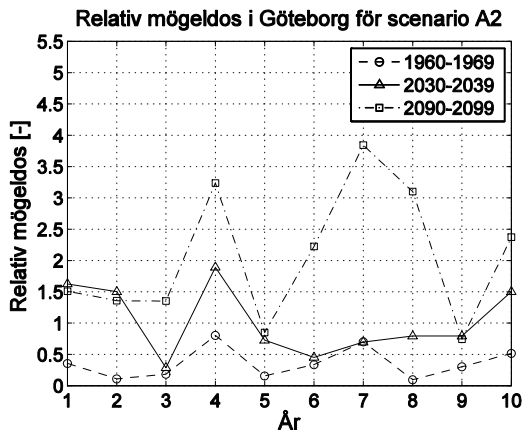


Figur 27 Relativ mögeldos i Stockholm för scenario A1B för tre tioårsperioder

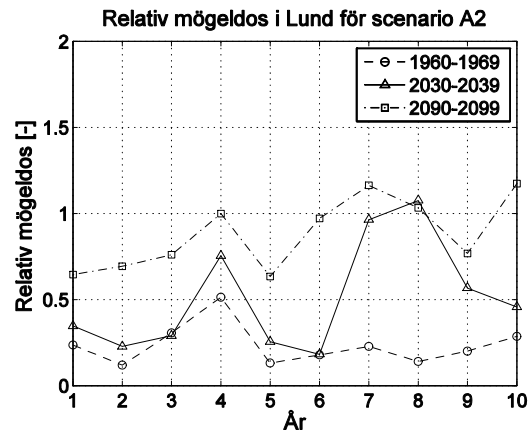


Figur 28 Relativ mögeldos i Östersund för scenario A1B för tre tioårsperioder

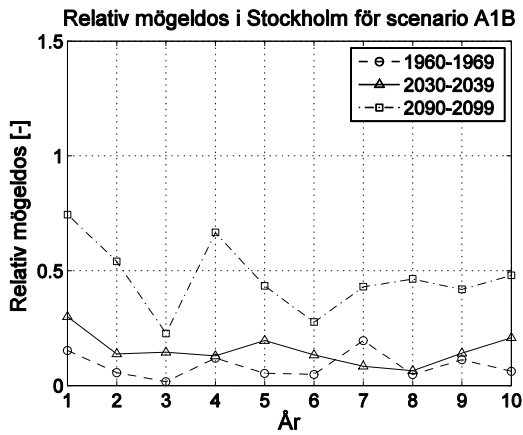
Scenario A2



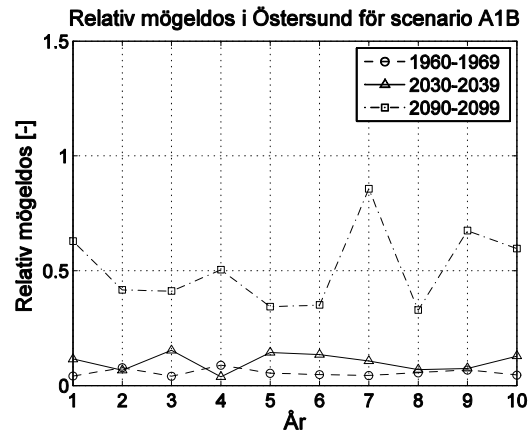
Figur 29 Relativ mögeldos i Göteborg för scenario A2 för tre tioårsperioder



Figur 30 Relativ mögeldos i Lund för scenario A2 för tre tioårsperioder

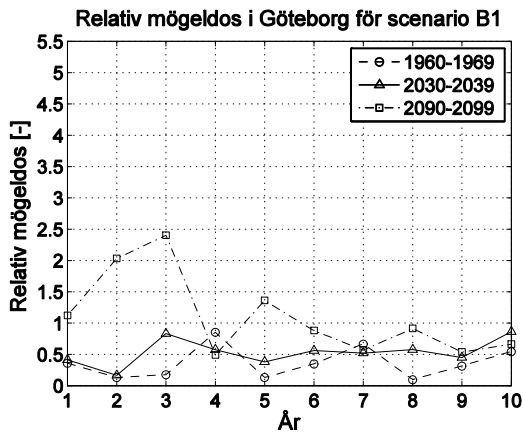


Figur 31 Relativ mögeldos i Stockholm för scenario A2 för tre tioårsperioder

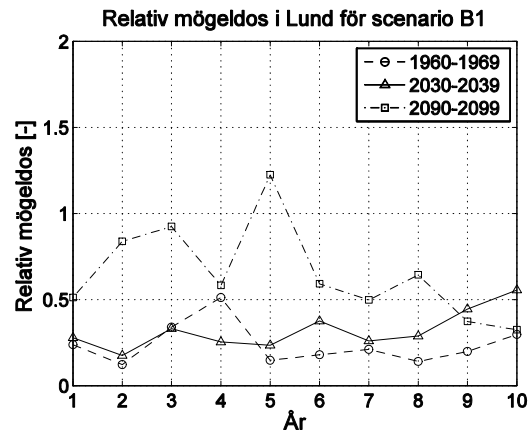


Figur 32 Relativ mögeldos i Östersund för scenario A2 för tre tioårsperioder

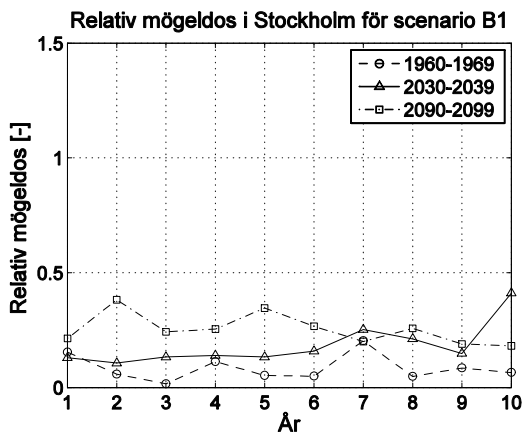
Scenario B1



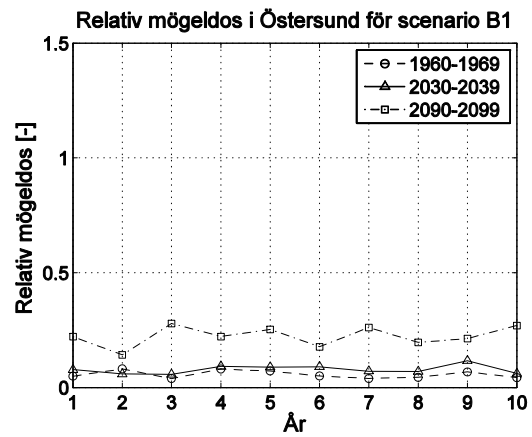
Figur 33 Relativ mögeldos i Göteborg för scenario B1 för tre tioårsperioder



Figur 34 Relativ mögeldos i Lund för scenario B1 för tre tioårsperioder



Figur 35 Relativ mögeldos i Stockholm för scenario B1 för tre tioårsperioder



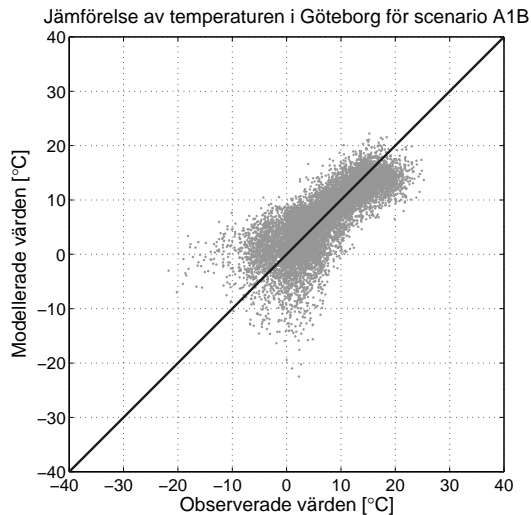
Figur 36 Relativ mögeldos i Östersund för scenario B1 för tre tioårsperioder

Appendix 4

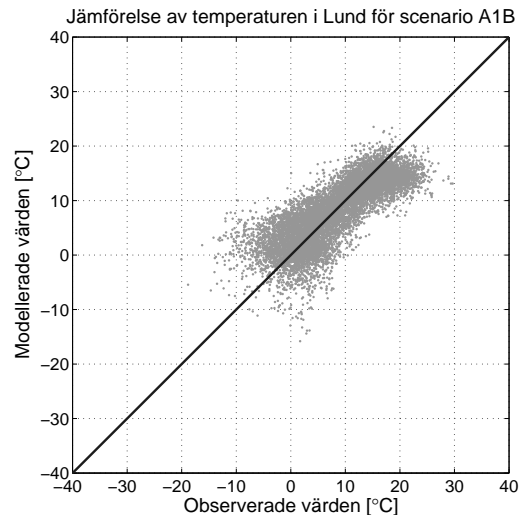
Nedan presenteras jämförelserna mellan det modellerade och observerade klimatet för temperaturen, relativa fuktigheten och nederbörden för alla städer och scenarier.

Temperaturjämförelse

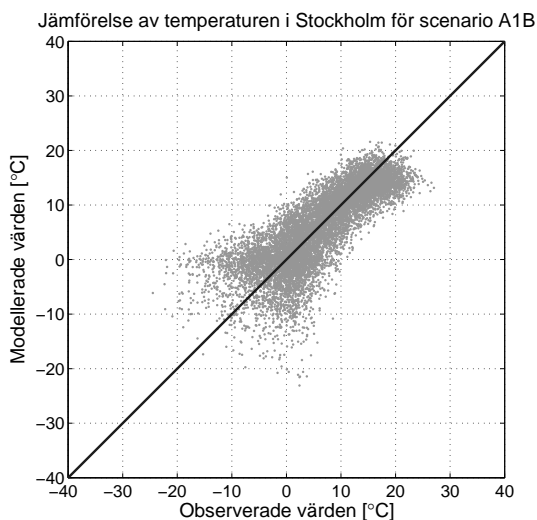
Scenario A1B



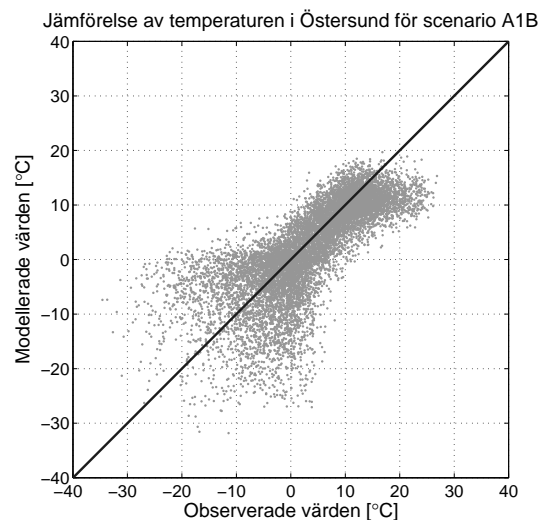
Figur 37 Temperaturjämförelse i Göteborg för scenario A1B under åren 1961-1990. X-axeln visar temperaturen i grader Celsius för observerade värdena och y-axeln temperaturen i grader Celsius för modellerade värdena.



Figur 38 Temperaturjämförelse i Lund för scenario A1B under åren 1961-1990. X-axeln visar temperaturen i grader Celsius för observerade värdena och y-axeln temperaturen i grader Celsius för modellerade värdena.

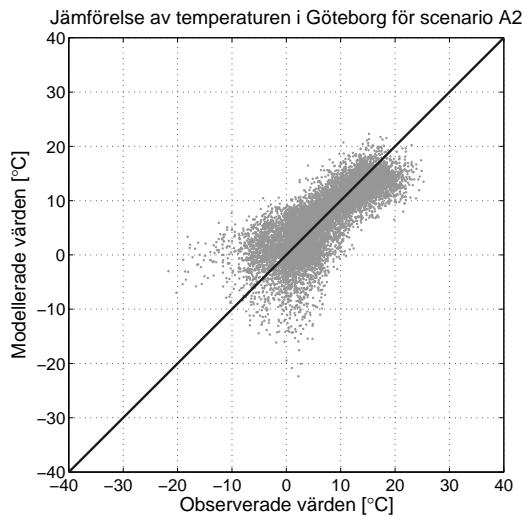


Figur 39 Temperaturjämförelse i Stockholm för scenario A1B under åren 1961-1990. X-axeln visar temperaturen i grader Celsius för observerade värdena och y-axeln temperaturen i grader Celsius för modellerade värdena.

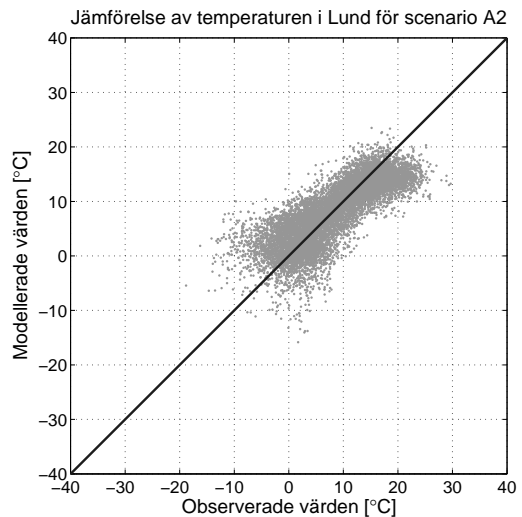


Figur 40 Temperaturjämförelse i Östersund för scenario A1B under åren 1961-1990. X-axeln visar temperaturen i grader Celsius för observerade värdena och y-axeln temperaturen i grader Celsius för modellerade värdena.

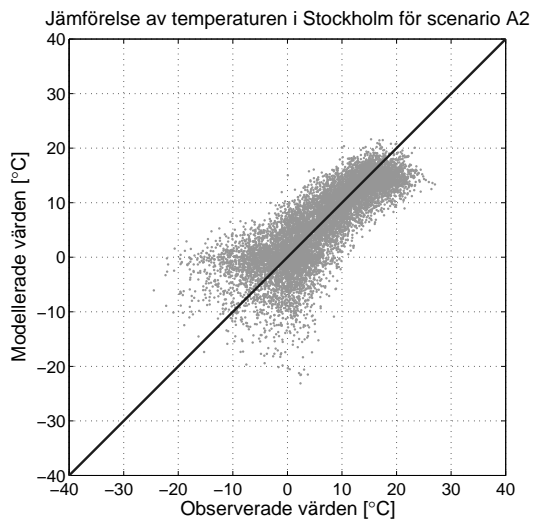
Scenario A2



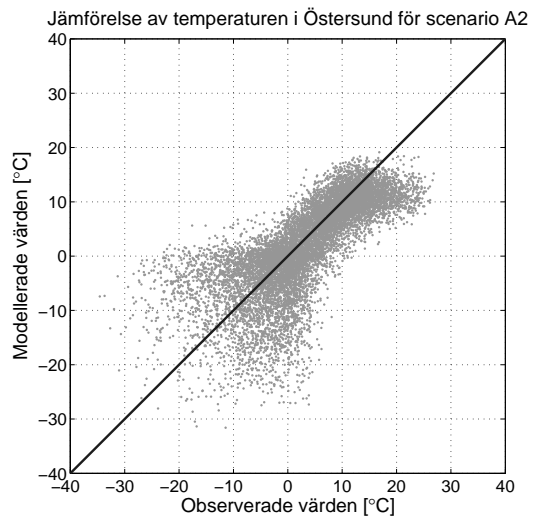
Figur 41 Temperaturjämförelse i Göteborg för scenario A2 under åren 1961-1990. X-axeln visar temperaturen i grader Celsius för observerade värdena och y-axeln temperaturen i grader Celsius för modellerade värdena.



Figur 42 Temperaturjämförelse i Lund för scenario A2 under åren 1961-1990. X-axeln visar temperaturen i grader Celsius för observerade värdena och y-axeln temperaturen i grader Celsius för modellerade värdena.

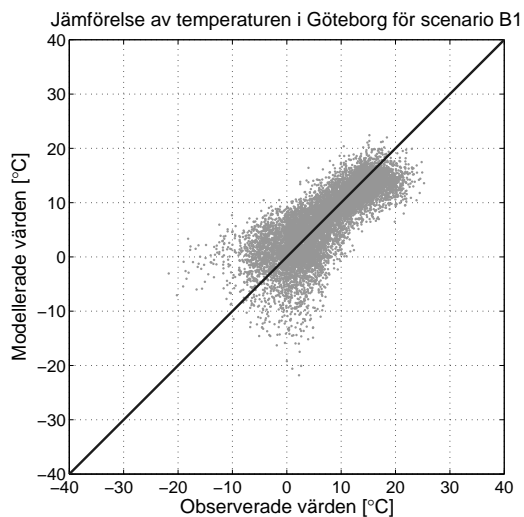


Figur 43 Temperaturjämförelse i Stockholm för scenario A2 under åren 1961-1990. X-axeln visar temperaturen i grader Celsius för observerade värdena och y-axeln temperaturen i grader Celsius för modellerade värdena.

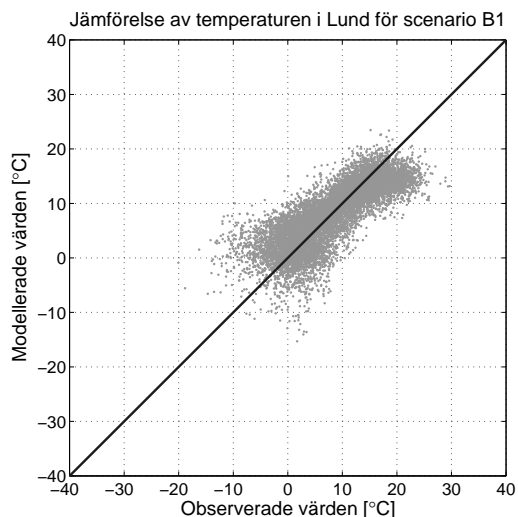


Figur 44 Temperaturjämförelse i Östersund för scenario A2 under åren 1961-1990. X-axeln visar temperaturen i grader Celsius för observerade värdena och y-axeln temperaturen i grader Celsius för modellerade värdena.

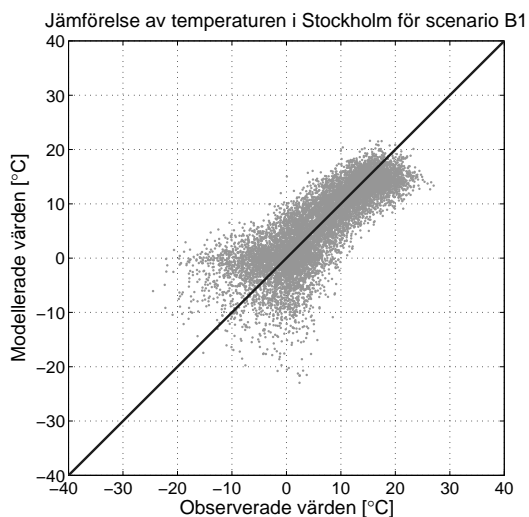
Scenario B1



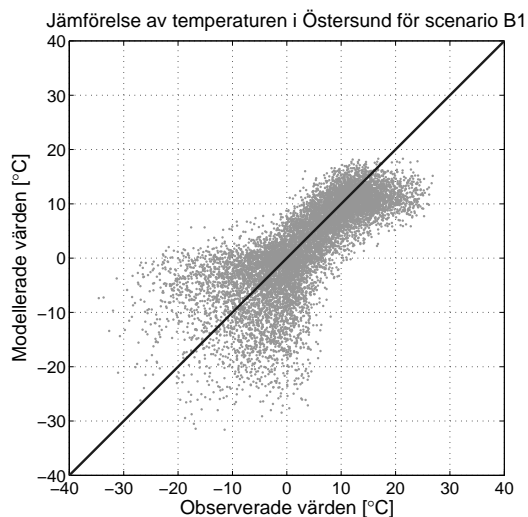
Figur 45 Temperaturjämförelse i Göteborg för scenario B1 under åren 1961-1990. X-axeln visar temperaturen i grader Celsius för observerade värdena och y-axeln temperaturen i grader Celsius för modellerade värdena.



Figur 46 Temperaturjämförelse i Lund för scenario B1 under åren 1961-1990. X-axeln visar temperaturen i grader Celsius för observerade värdena och y-axeln temperaturen i grader Celsius för modellerade värdena.



Figur 47 Temperaturjämförelse i Stockholm för scenario B1 under åren 1961-1990. X-axeln visar temperaturen i grader Celsius för observerade värdena och y-axeln temperaturen i grader Celsius för modellerade värdena.

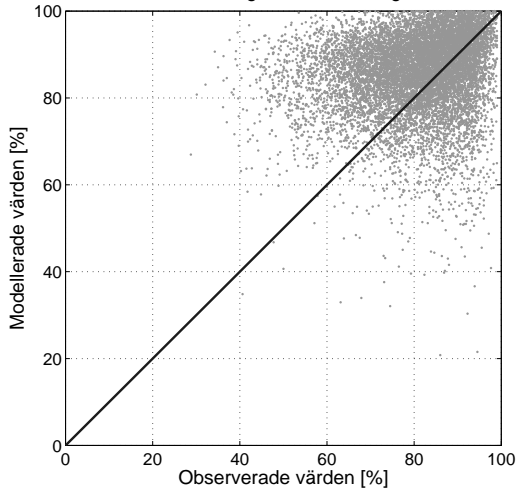


Figur 48 Temperaturjämförelse i Östersund för scenario B1 under åren 1961-1990. X-axeln visar temperaturen i grader Celsius för observerade värdena och y-axeln temperaturen i grader Celsius för modellerade värdena.

Relativ fuktighetsjämförelse

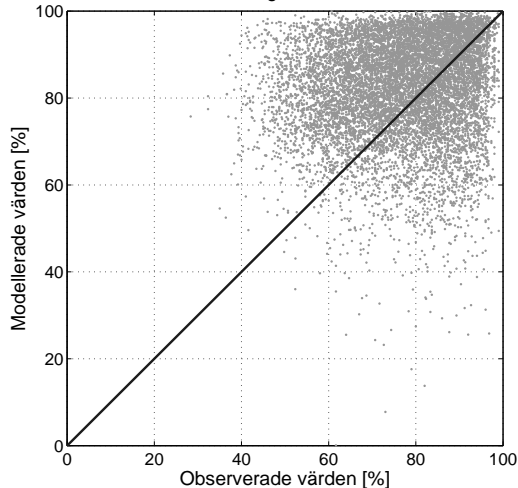
Scenario A1B

Jämförelse av relativa fuktigheten i Göteborg för scenario A1B



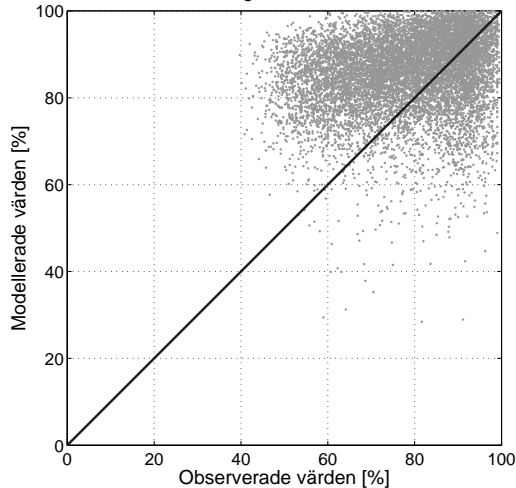
Figur 49 Relativ fuktighetsjämförelse i Göteborg för scenario A1B under åren 1961-1990. X-axeln visar relativ fuktighet i procent för de observerade värdena och y-axeln visar relativa fuktigheten i procent för modellerade värdena.

Jämförelse av relativa fuktigheten i Lund för scenario A1B



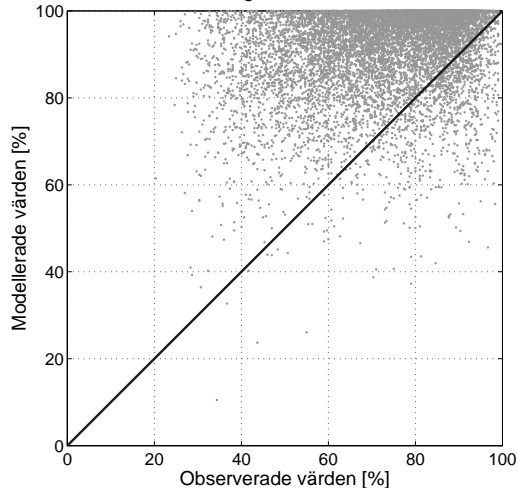
Figur 50 Relativ fuktighetsjämförelse i Lund för scenario A1B under åren 1961-1990. X-axeln visar relativ fuktighet i procent för de observerade värdena och y-axeln visar relativa fuktigheten i procent för modellerade värdena.

Jämförelse av relativa fuktigheten i Stockholm för scenario A1B



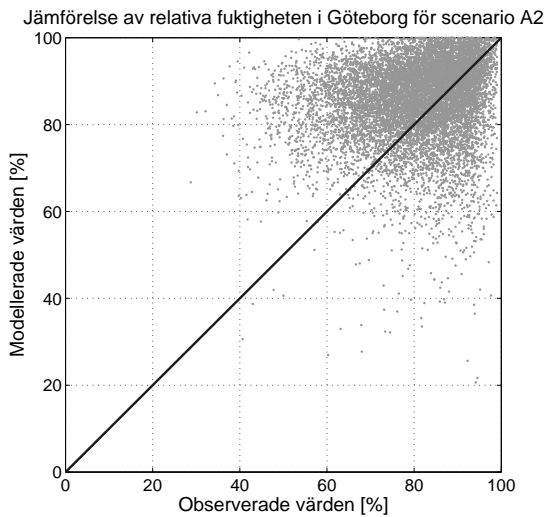
Figur 51 Relativ fuktighetsjämförelse i Stockholm för scenario A1B under åren 1961-1990. X-axeln visar relativ fuktighet i procent för de observerade värdena och y-axeln visar relativa fuktigheten i procent för modellerade värdena.

Jämförelse av relativa fuktigheten i Östersund för scenario A1B

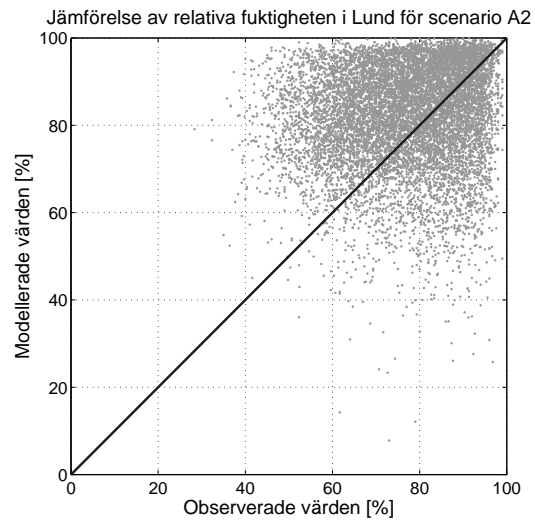


Figur 52 Relativ fuktighetsjämförelse i Östersund för scenario A1B under åren 1961-1990. X-axeln visar relativ fuktighet i procent för de observerade värdena och y-axeln visar relativa fuktigheten i procent för modellerade värdena.

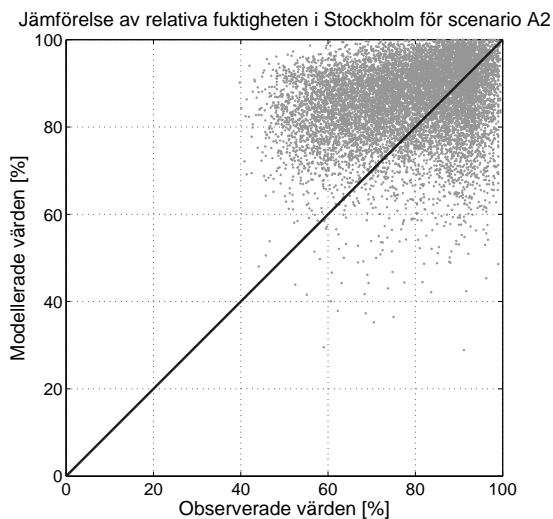
Scenario A2



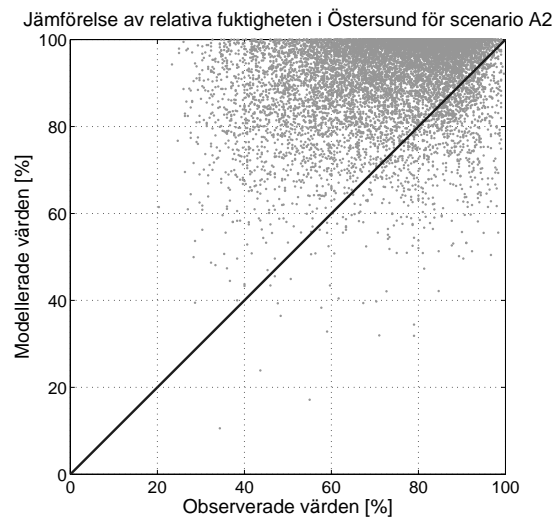
Figur 53 Relativ fuktighetsjämförelse i Göteborg för scenario A2 under åren 1961-1990. X-axeln visar relativ fuktighet i procent för de observerade värdena och y-axeln visar relativa fuktigheten i procent för modellerade värdena.



Figur 54 Relativ fuktighetsjämförelse i Lund för scenario A2 under åren 1961-1990. X-axeln visar relativ fuktighet i procent för de observerade värdena och y-axeln visar relativa fuktigheten i procent för modellerade värdena.

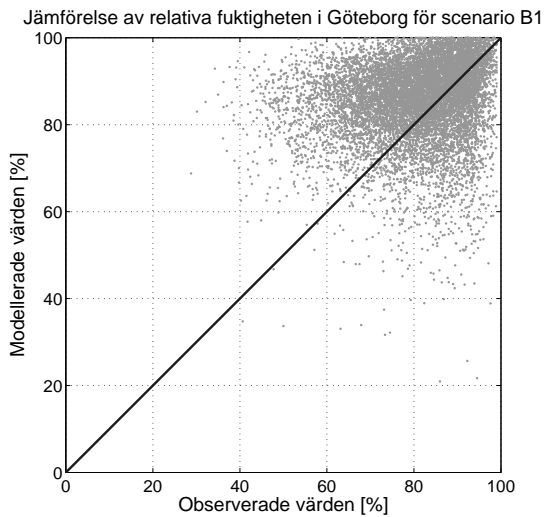


Figur 55 Relativ fuktighetsjämförelse i Stockholm för scenario A2 under åren 1961-1990. X-axeln visar relativ fuktighet i procent för de observerade värdena och y-axeln visar relativa fuktigheten i procent för modellerade värdena.

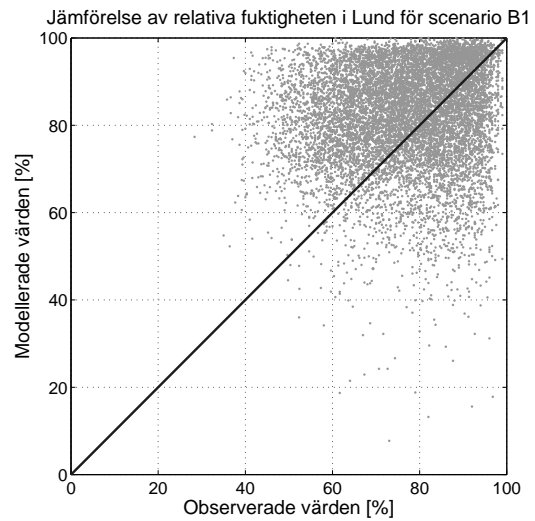


Figur 56 Relativ fuktighetsjämförelse i Östersund för scenario A2 under åren 1961-1990. X-axeln visar relativ fuktighet i procent för de observerade värdena och y-axeln visar relativa fuktigheten i procent för modellerade värdena.

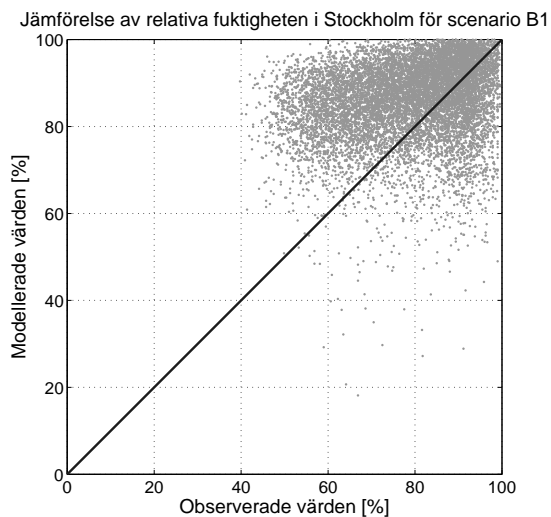
Scenario B1



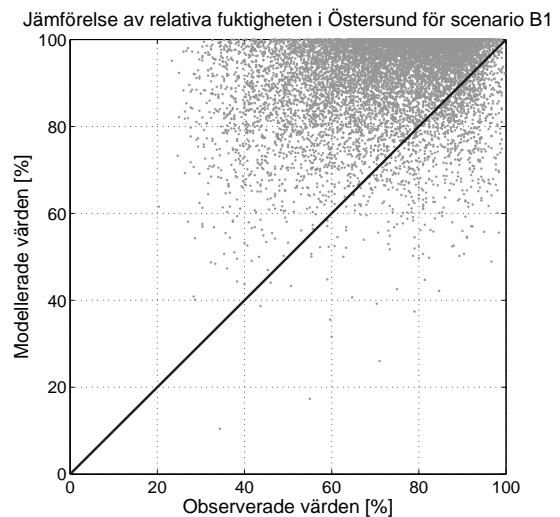
Figur 57 Relativ fuktighetsjämförelse i Göteborg för scenario B1 under åren 1961-1990. X-axeln visar relativ fuktighet i procent för de observerade värdena och y-axeln visar relativa fuktigheten i procent för modellerade värdena.



Figur 58 Relativ fuktighetsjämförelse i Lund för scenario B1 under åren 1961-1990. X-axeln visar relativ fuktighet i procent för de observerade värdena och y-axeln visar relativa fuktigheten i procent för modellerade värdena.



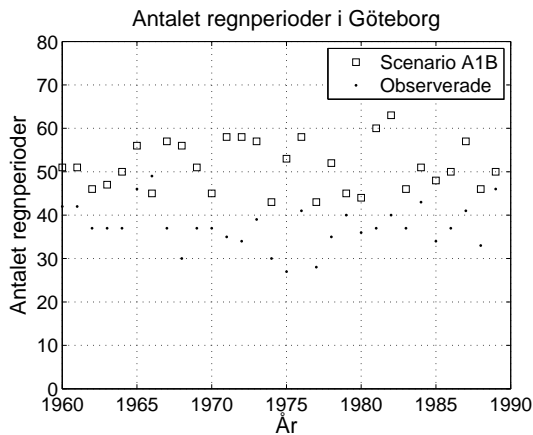
Figur 59 Relativ fuktighetsjämförelse i Stockholm för scenario B1 under åren 1961-1990. X-axeln visar relativ fuktighet i procent för de observerade värdena och y-axeln visar relativa fuktigheten i procent för modellerade värdena.



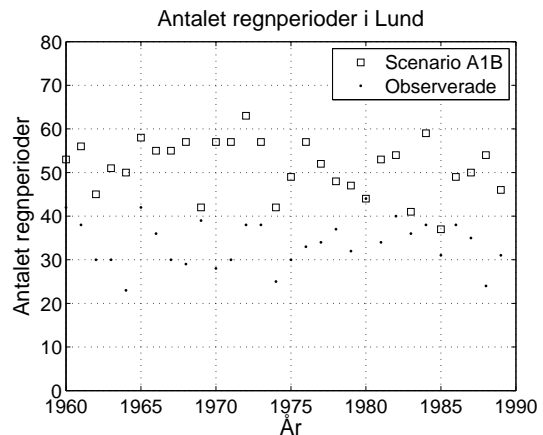
Figur 60 Relativ fuktighetsjämförelse i Östersund för scenario B1 under åren 1961-1990. X-axeln visar relativ fuktighet i procent för de observerade värdena och y-axeln visar relativa fuktigheten i procent för modellerade värdena.

Nederbördsjämförelse

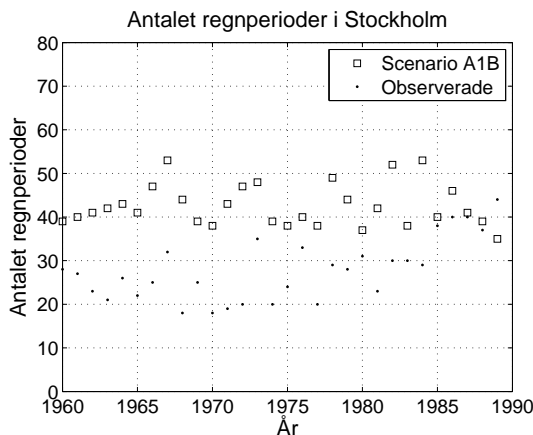
Scenario A1B



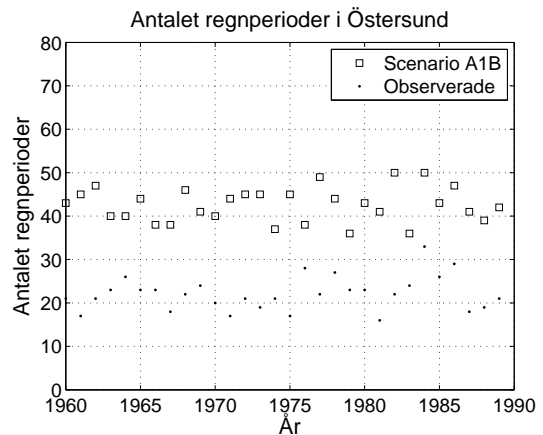
Figur 61 Antalet regnperioder per år under åren 1961-1990 i Göteborg för scenario A1B.



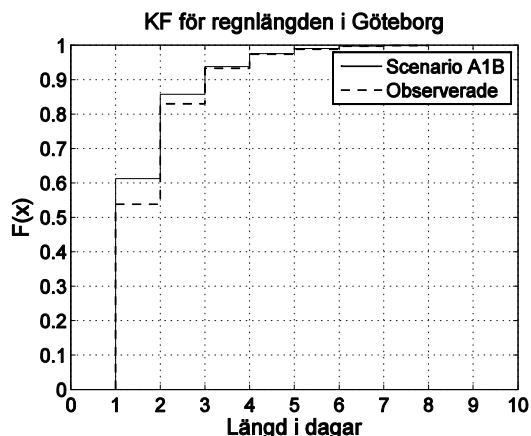
Figur 62 Antalet regnperioder per år under åren 1961-1990 i Lund för scenario A1B.



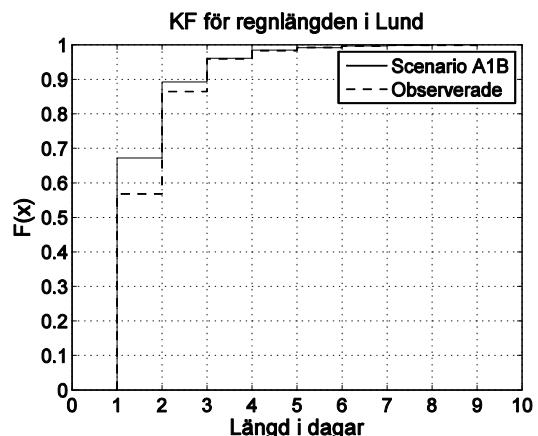
Figur 63 Antalet regnperioder per år under åren 1961-1990 i Stockholm för scenario A1B.



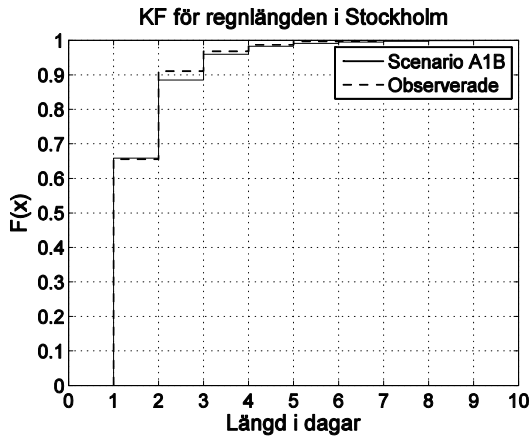
Figur 64 Antalet regnperioder per år under åren 1961-1990 i Östersund för scenario A1B.



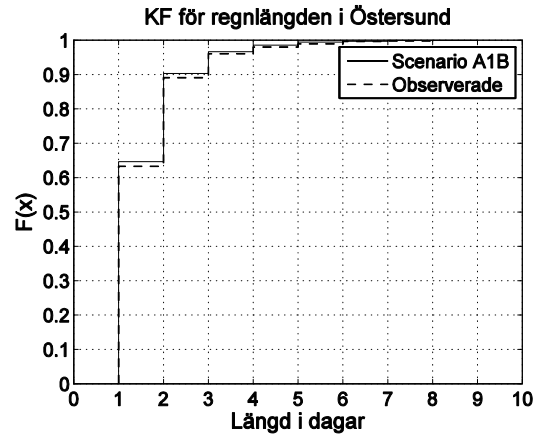
Figur 65 Kumulativ fördelning för regnperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Göteborg för scenario A1B.



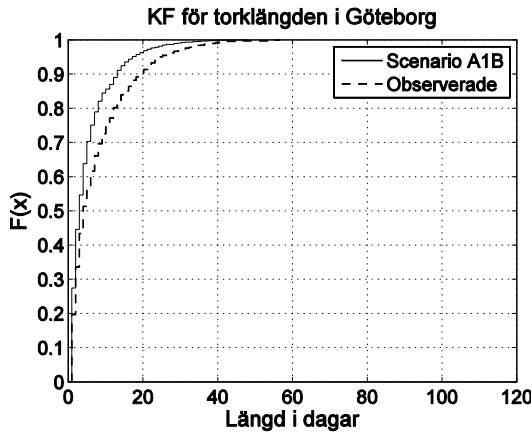
Figur 66 Kumulativ fördelning för regnperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Lund för scenario A1B.



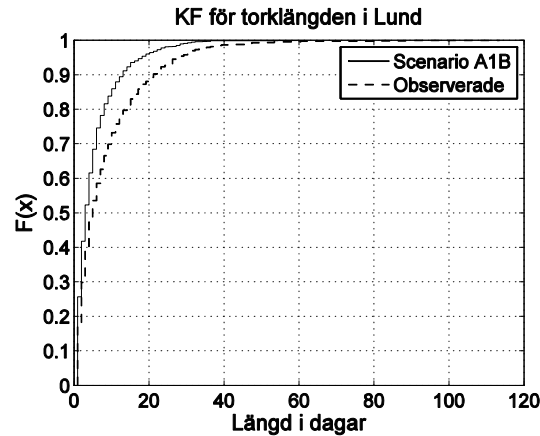
Figur 67 Kumulativ fördelning för regnperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Stockholm för scenario A1B.



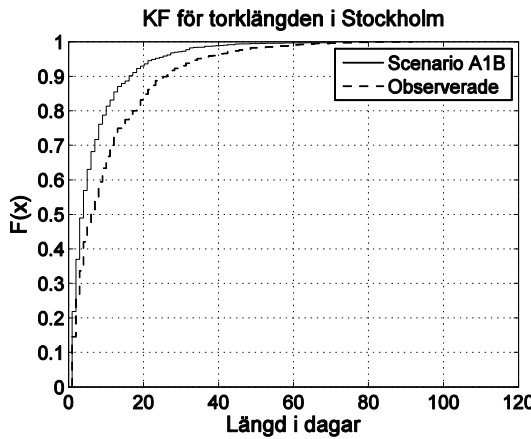
Figur 68 Kumulativ fördelning för regnperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Östersund för scenario A1B.



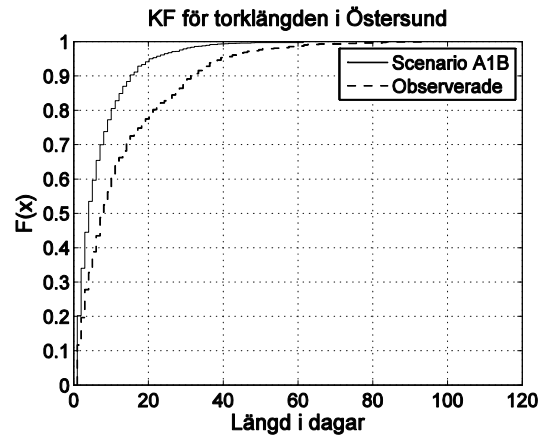
Figur 69 Kumulativ fördelning för torkperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Göteborg för scenario A1B.



Figur 70 Kumulativ fördelning för torkperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Lund för scenario A1B.

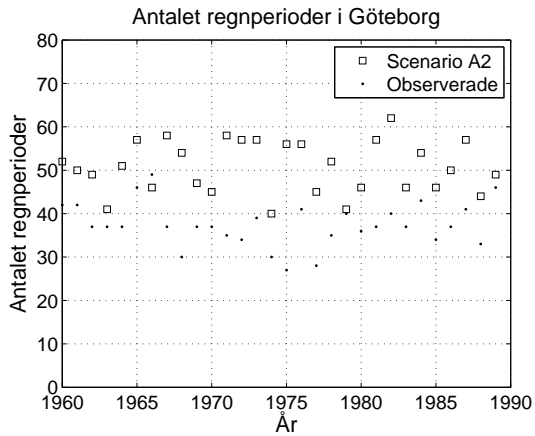


Figur 71 Kumulativ fördelning för torkperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Stockholm för scenario A1B.

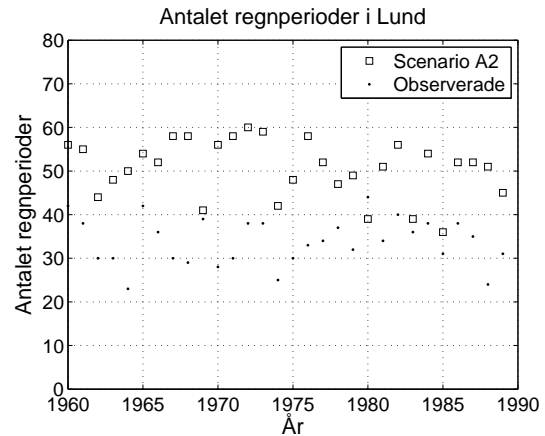


Figur 72 Kumulativ fördelning för torkperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Östersund för scenario A1B.

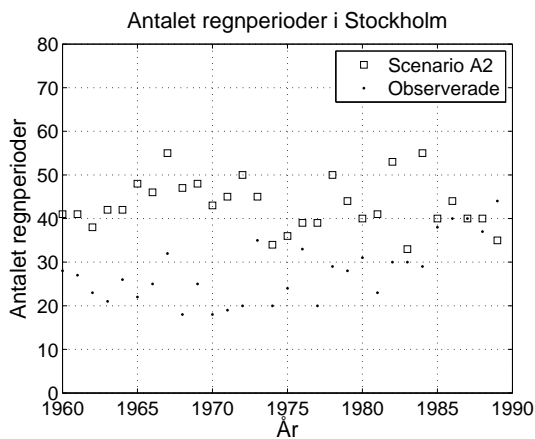
Scenario A2



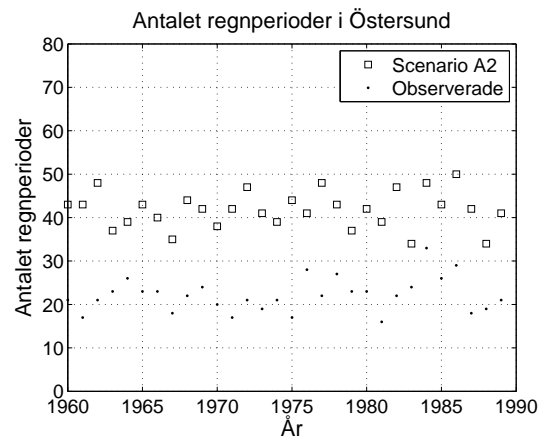
Figur 73 Antalet regnperioder per år under åren 1961-1990 i Göteborg för scenario A2.



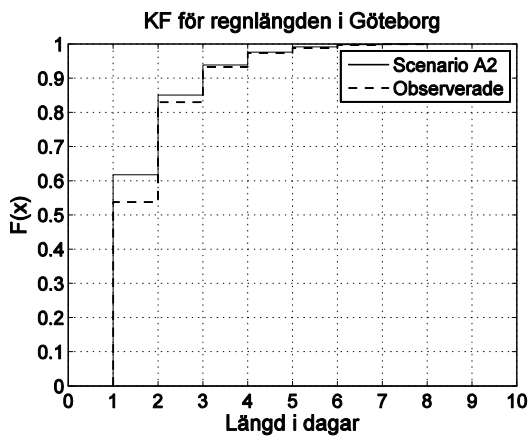
Figur 74 Antalet regnperioder per år under åren 1961-1990 i Lund för scenario A2.



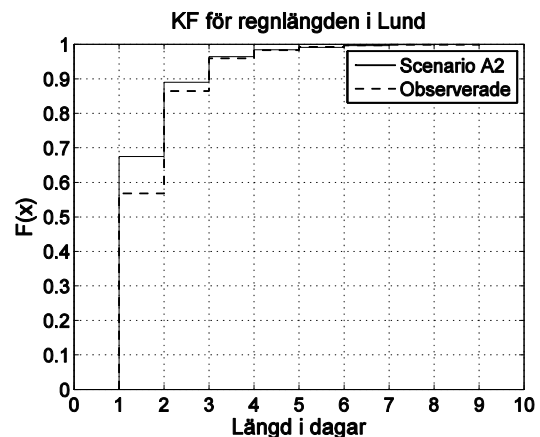
Figur 75 Antalet regnperioder per år under åren 1961-1990 i Stockholm för scenario A2.



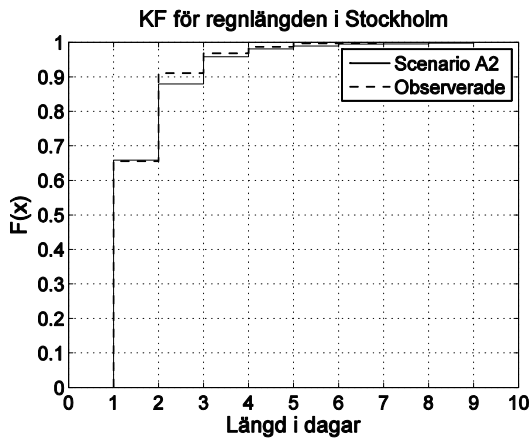
Figur 76 Antalet regnperioder per år under åren 1961-1990 i Östersund för scenario A2.



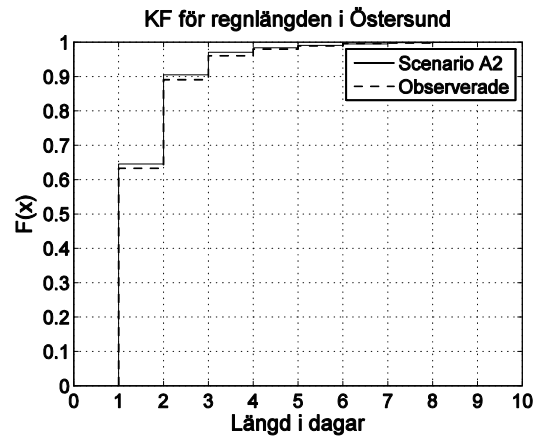
Figur 77 Kumulativ fördelning för regnperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Göteborg för scenario A2.



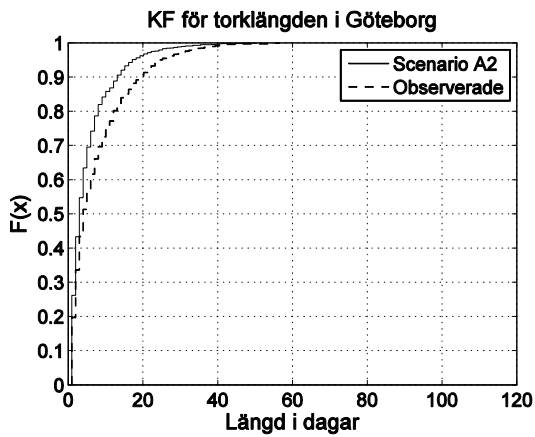
Figur 78 Kumulativ fördelning för regnperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Lund för scenario A2.



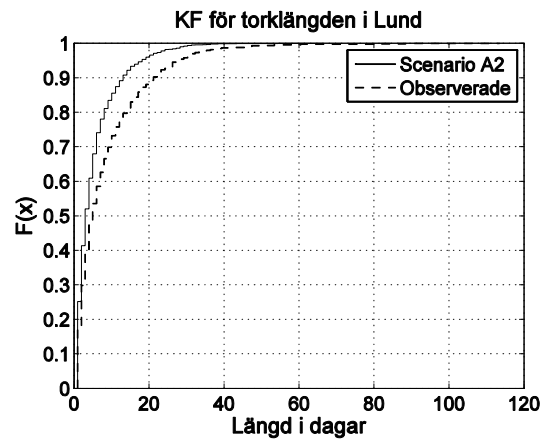
Figur 79 Kumulativ fördelning för regnperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Stockholm för scenario A2.



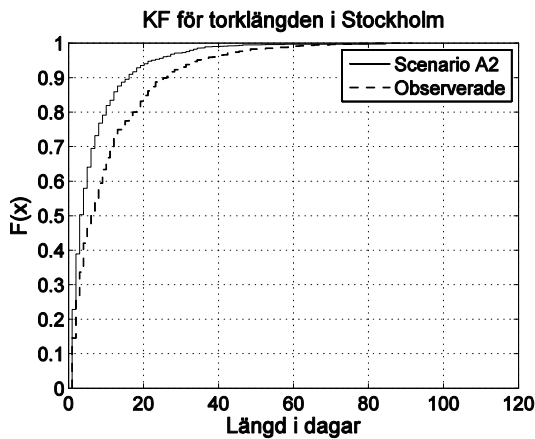
Figur 80 Kumulativ fördelning för regnperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Östersund för scenario A2.



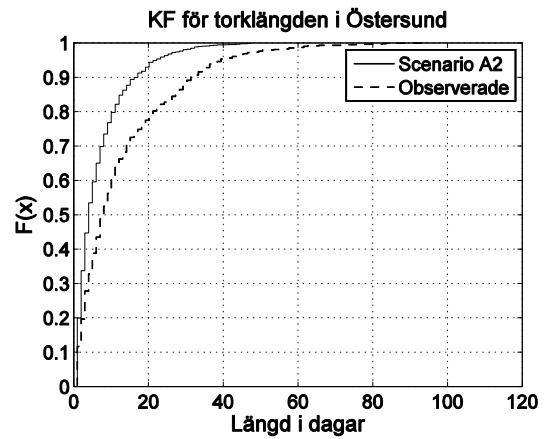
Figur 81 Kumulativ fördelning för torkperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Göteborg för scenario A2.



Figur 82 Kumulativ fördelning för torkperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Lund för scenario A2.

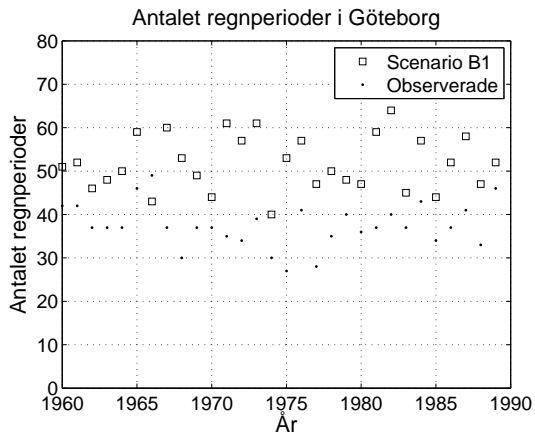


Figur 83 Kumulativ fördelning för torkperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Stockholm för scenario A2.

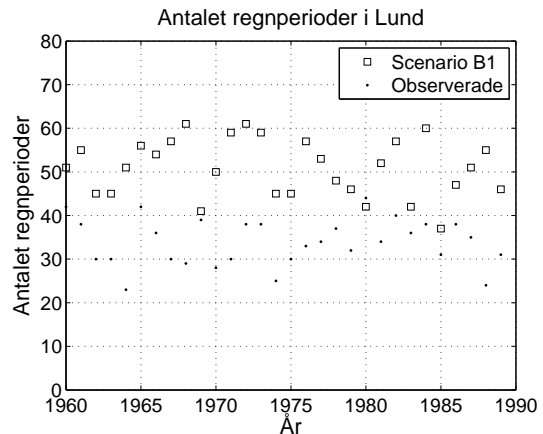


Figur 84 Kumulativ fördelning för torkperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Östersund för scenario A2.

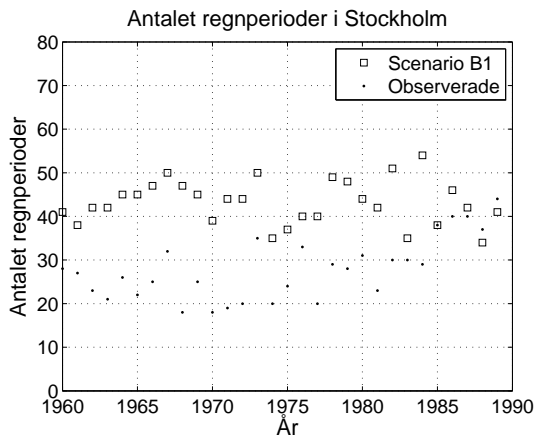
Scenario B1



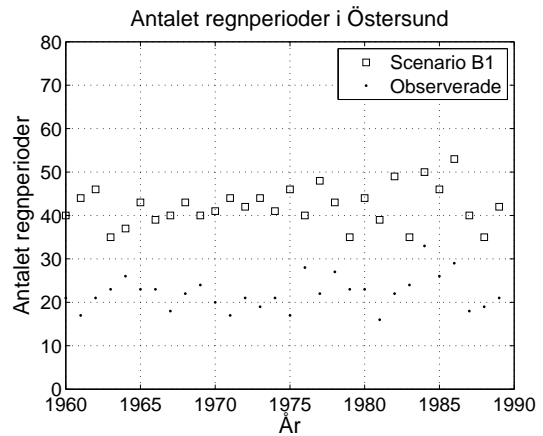
Figur 85 Antalet regnperioder per år under åren 1961-1990 i Göteborg för scenario B1.



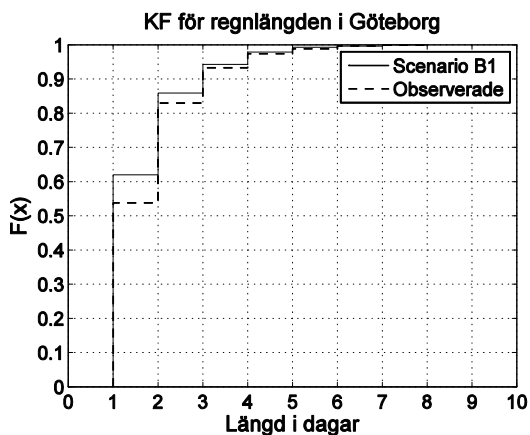
Figur 86 Antalet regnperioder per år under åren 1961-1990 i Lund för scenario B1.



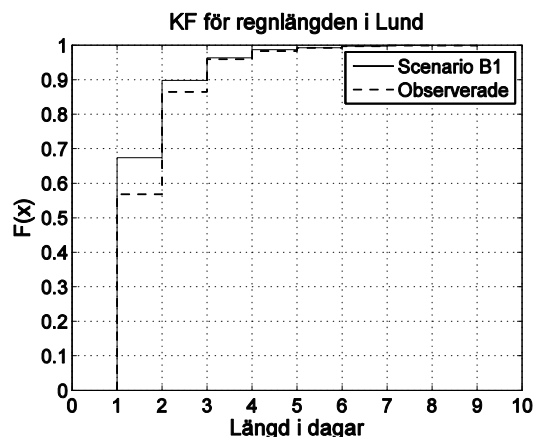
Figur 87 Antalet regnperioder per år under åren 1961-1990 i Stockholm för scenario B1.



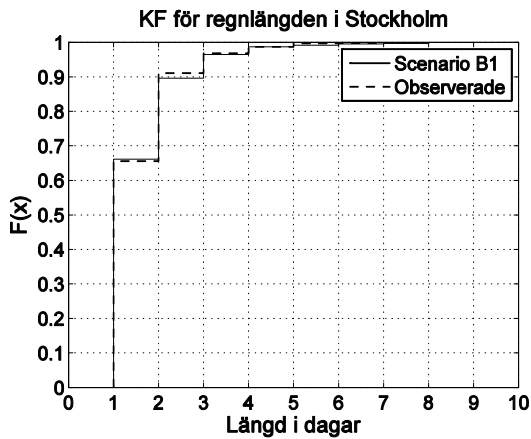
Figur 88 Antalet regnperioder per år under åren 1961-1990 i Östersund för scenario B1.



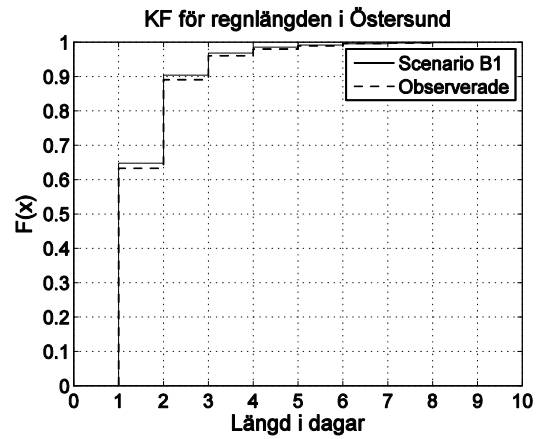
Figur 89 Kumulativ fördelning för regnperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Göteborg för scenario B1.



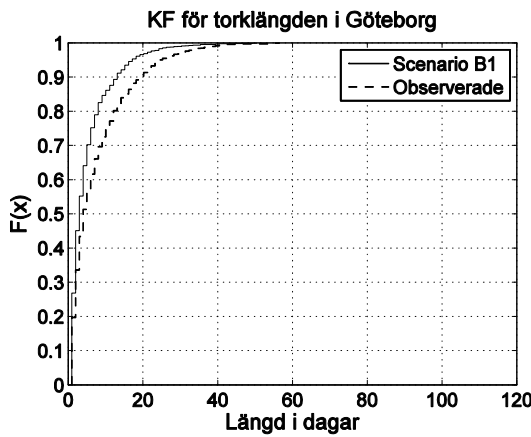
Figur 90 Kumulativ fördelning för regnperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Lund för scenario B1.



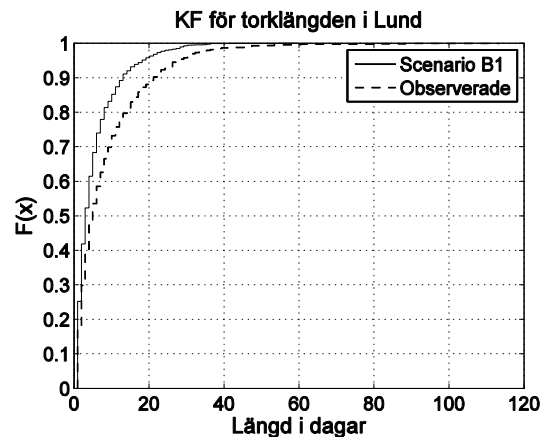
Figur 91 Kumulativ fördelning för regnperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Stockholm för scenario B1.



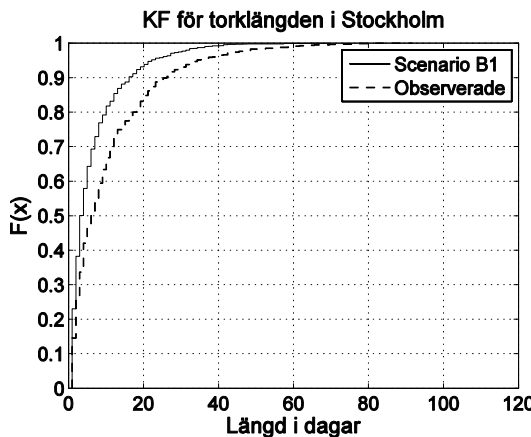
Figur 92 Kumulativ fördelning för regnperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Östersund för scenario B1.



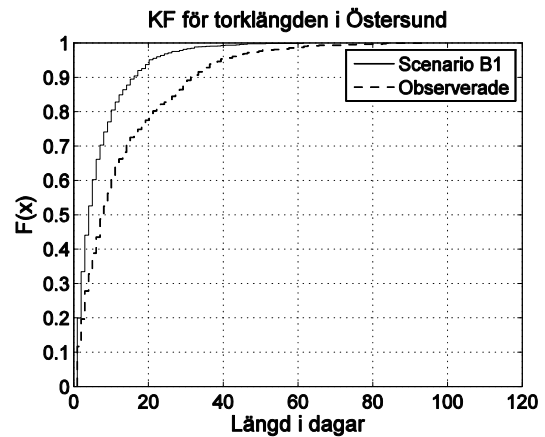
Figur 93 Kumulativ fördelning för torkperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Göteborg för scenario B1.



Figur 94 Kumulativ fördelning för torkperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Lund för scenario B1.



Figur 95 Kumulativ fördelning för torkperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Stockholm för scenario B1.



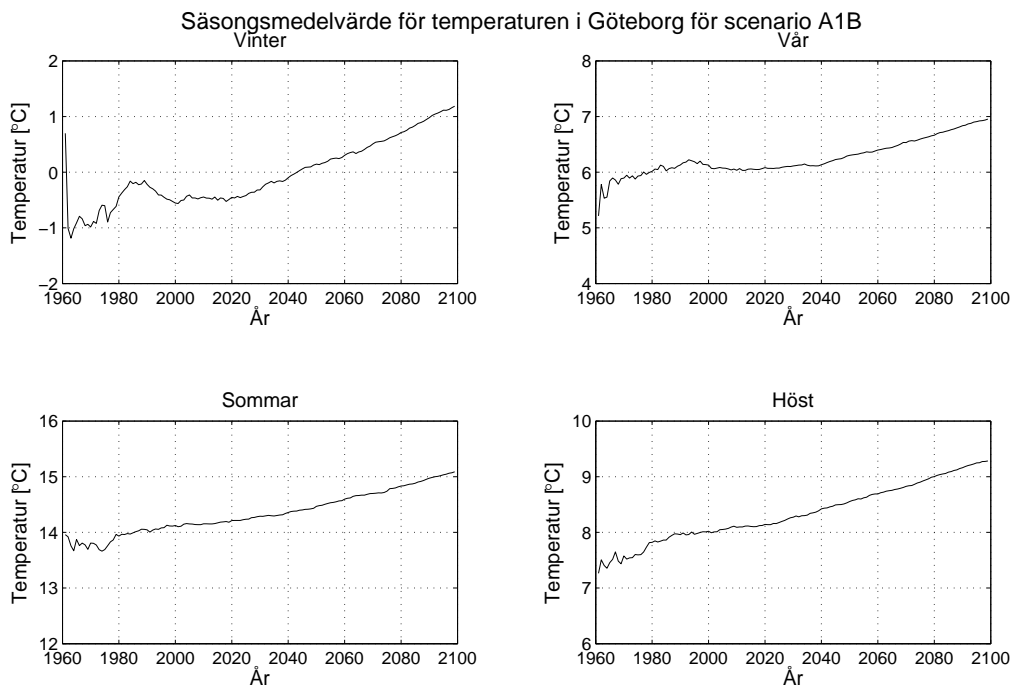
Figur 96 Kumulativ fördelning för torkperiodernas längd i dagar under åren 1961-1990 i Östersund för scenario B1.

Appendix 5

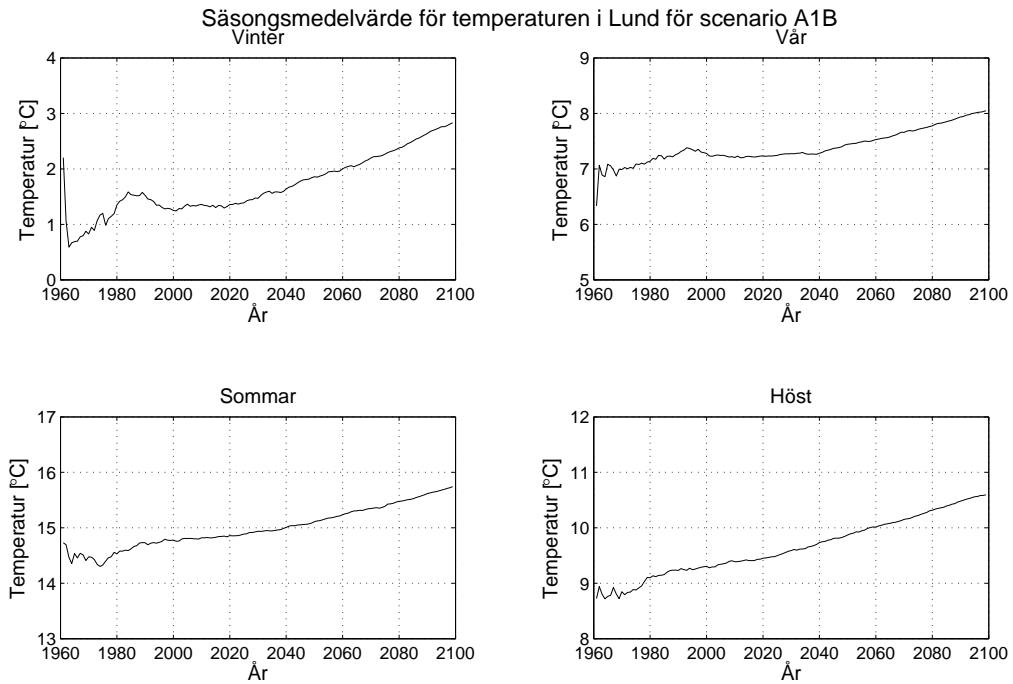
Nedan visas hur säsongsmedelvärdena för temperaturen och relativa fuktigheten förändras under de 140 åren som simuleras. Det visas även hur den kumulativa fördelningen över längden i en regn- respektive torkperiod för nederbörden förändras. Alla städer och scenarier presenteras.

Temperatur

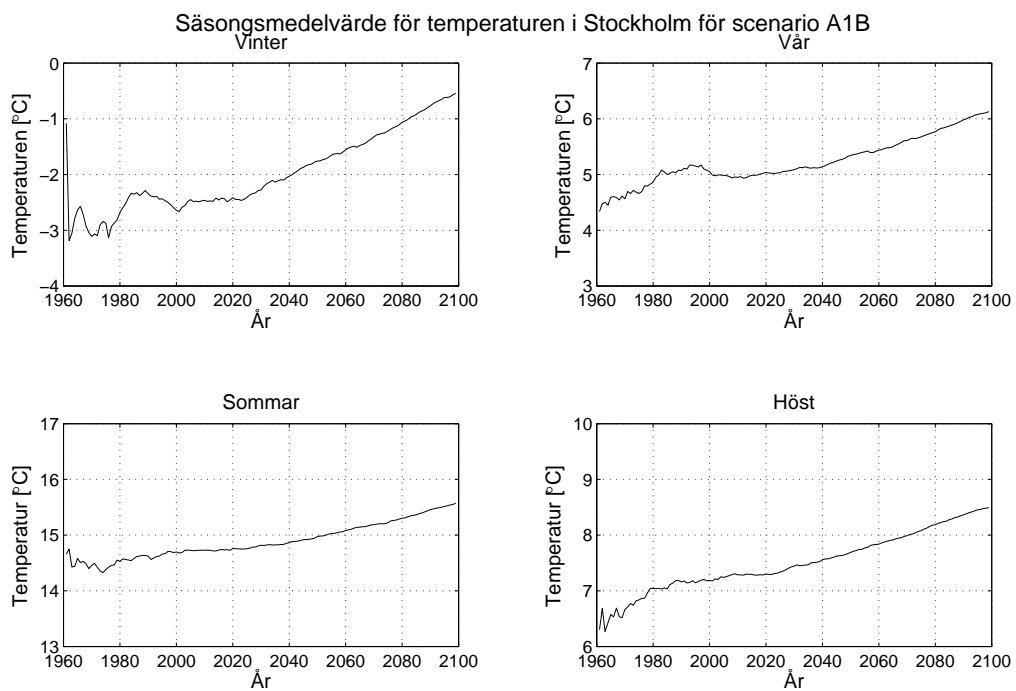
Scenario A1B



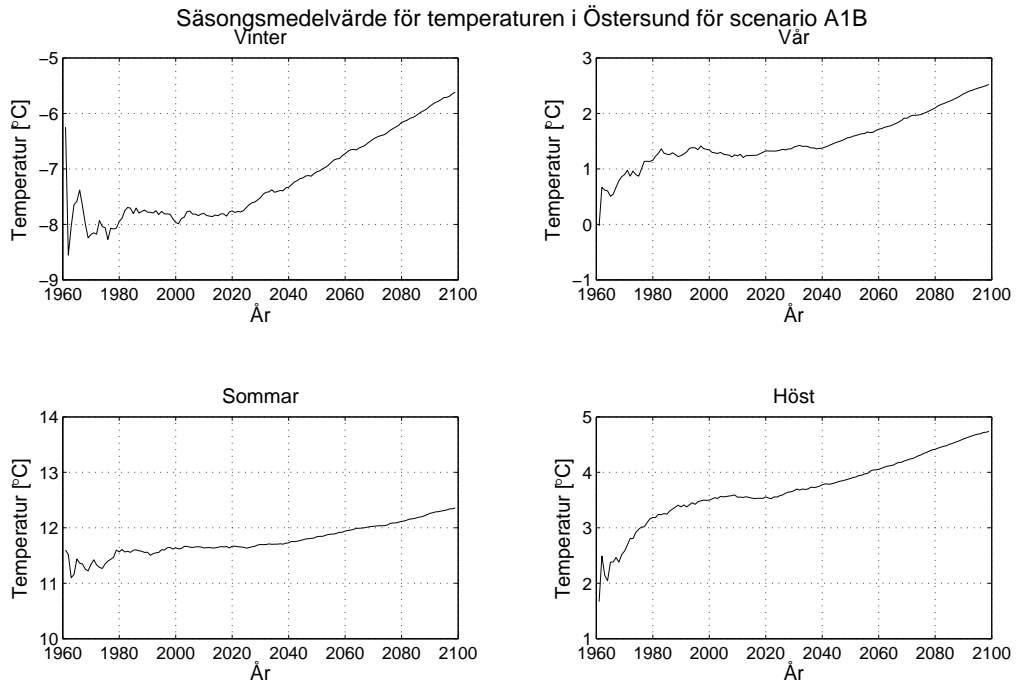
Figur 97 Säsongsmedeltemperaturen i Göteborg för scenario A1B under åren 1960-2100



Figur 98 Säsongsmedeltemperaturen i Lund för scenario A1B under åren 1960-2100

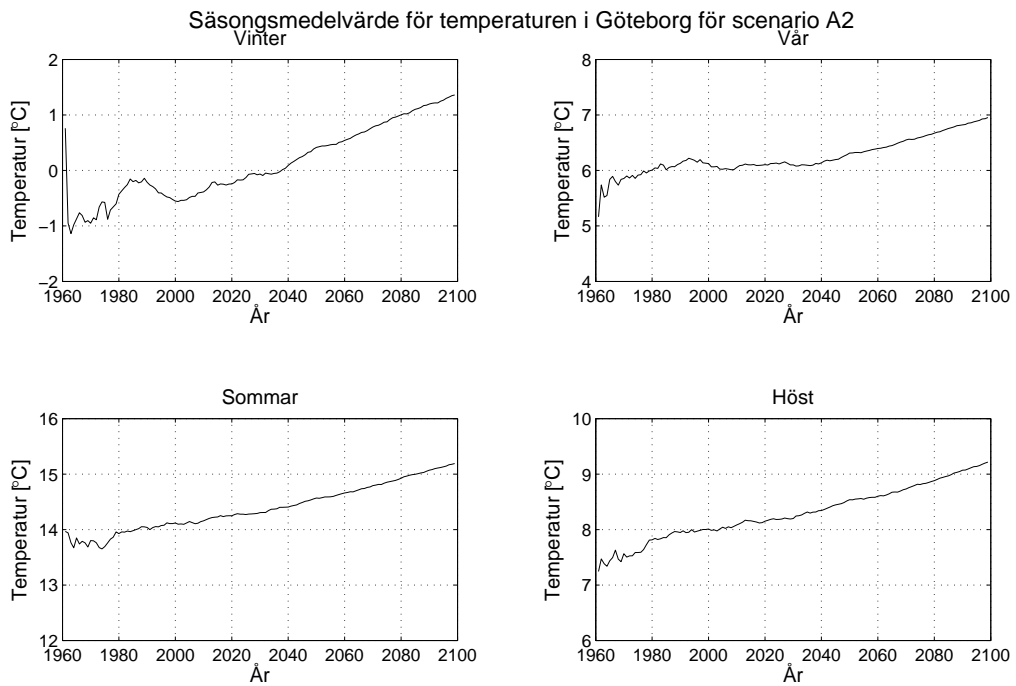


Figur 99 Säsongsmedeltemperaturen i Stockholm för scenario A1B under åren 1960-2100

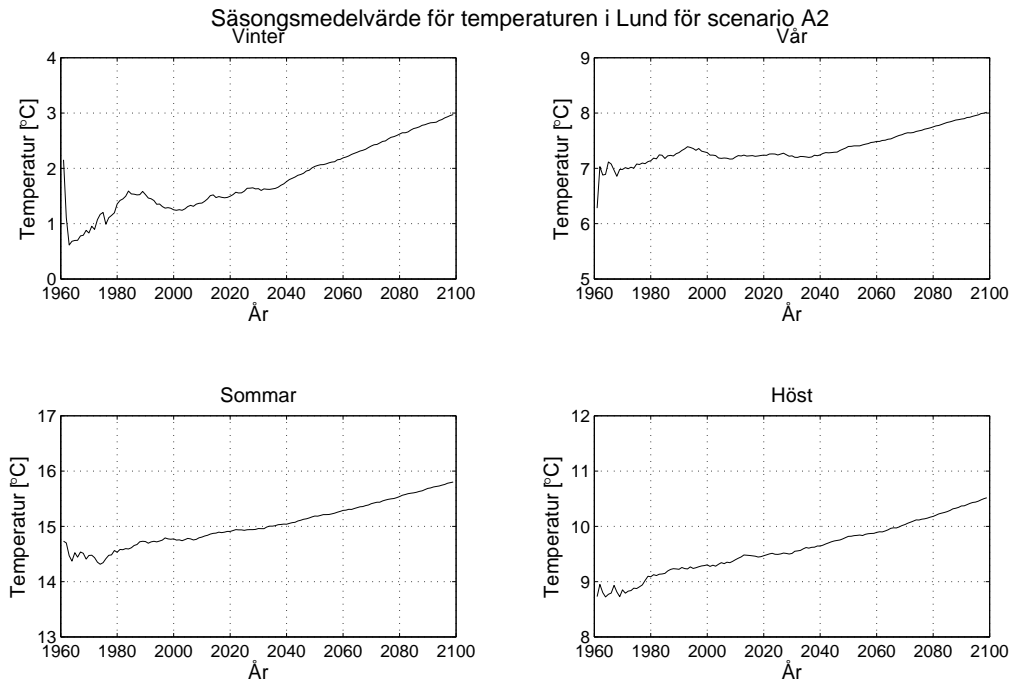


Figur 100 Säsongsmedeltemperaturen i Östersund för scenario A1B under åren 1960-2100

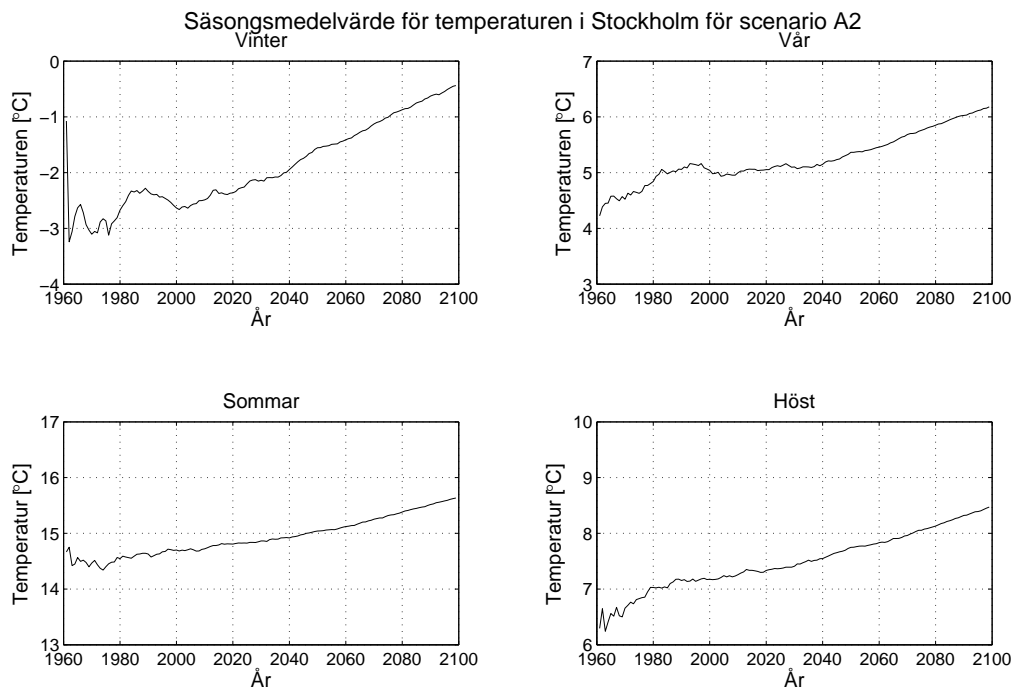
Scenario A2



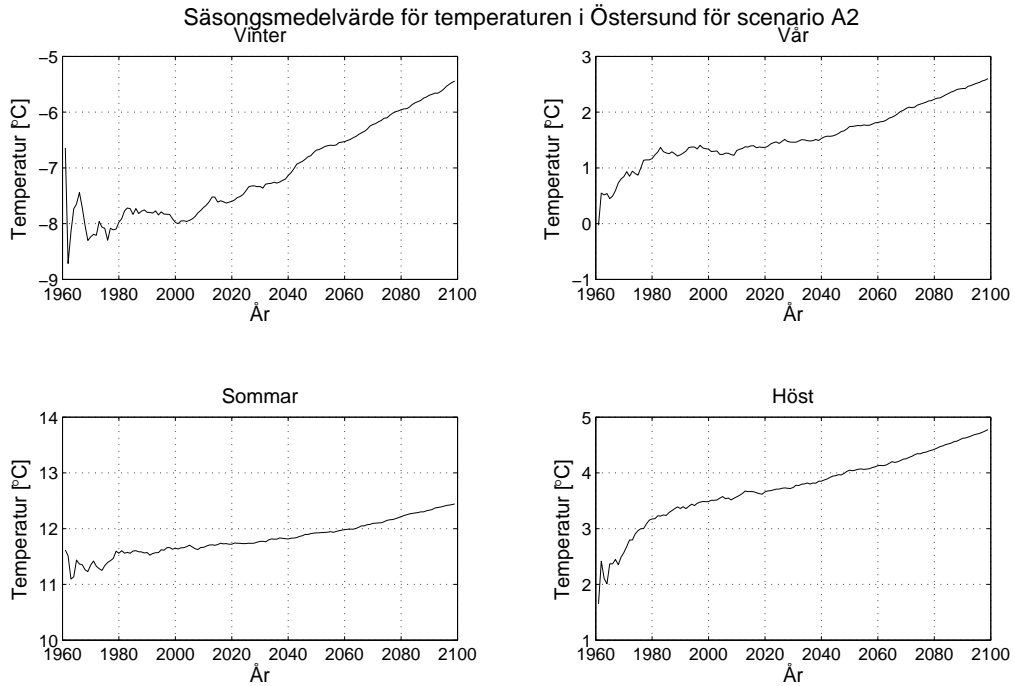
Figur 101 Säsongsmedeltemperaturen i Göteborg för scenario A2 under åren 1960-2100



Figur 102 Säsongsmedeltemperaturen i Lund för scenario A2 under åren 1960-2100

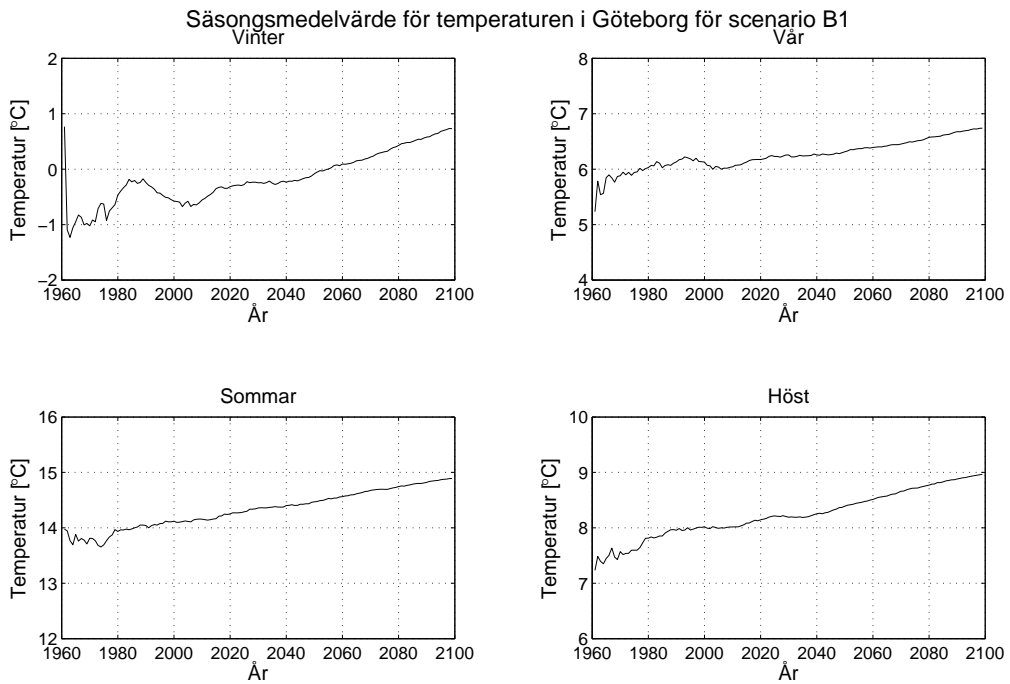


Figur 103 Säsongsmedeltemperaturen i Stockholm för scenario A2 under åren 1960-2100

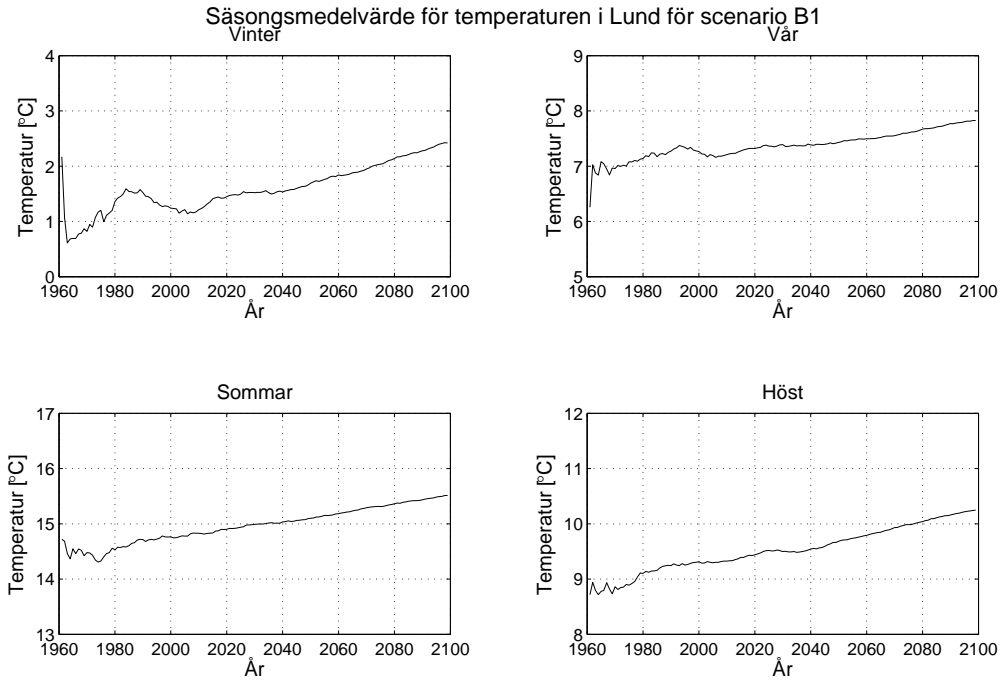


Figur 104 Säsongsmedeltemperaturen i Östersund för scenario A2 under åren 1960-2100

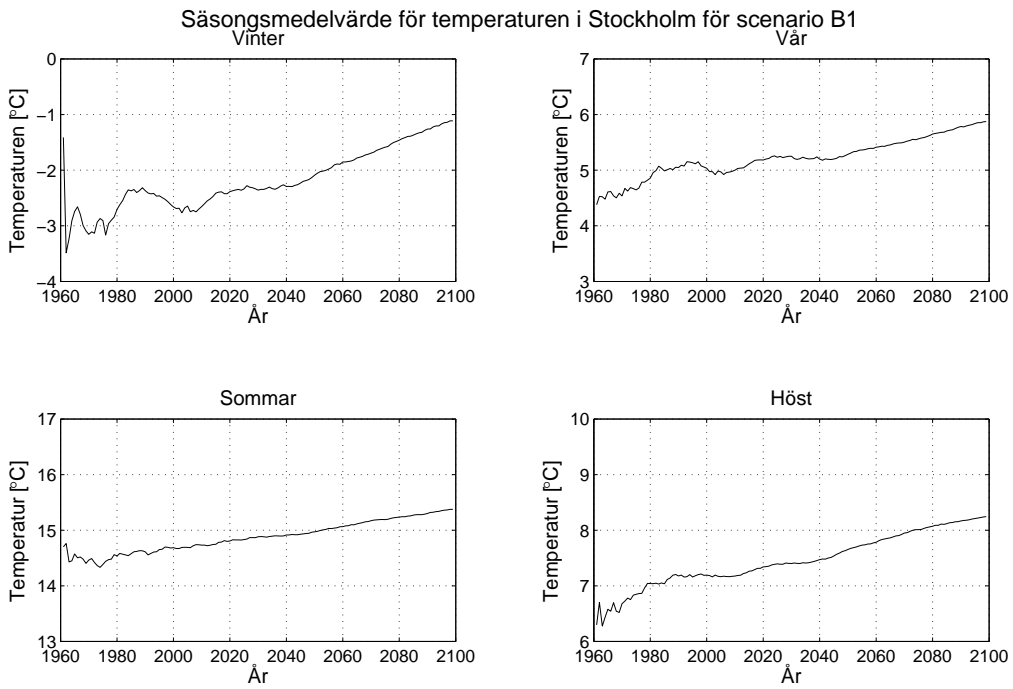
Scenario B1



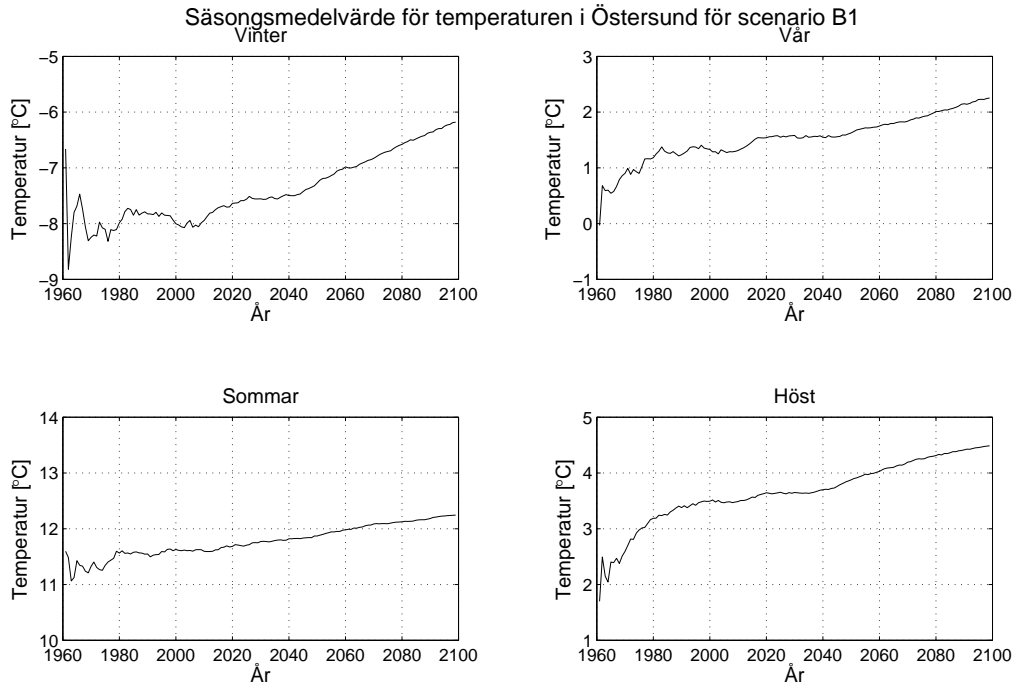
Figur 105 Säsongsmedeltemperaturen i Göteborg för scenario B1 under åren 1960-2100



Figur 106 Säsongsmedeltemperaturen i Lund för scenario B1 under åren 1960-2100



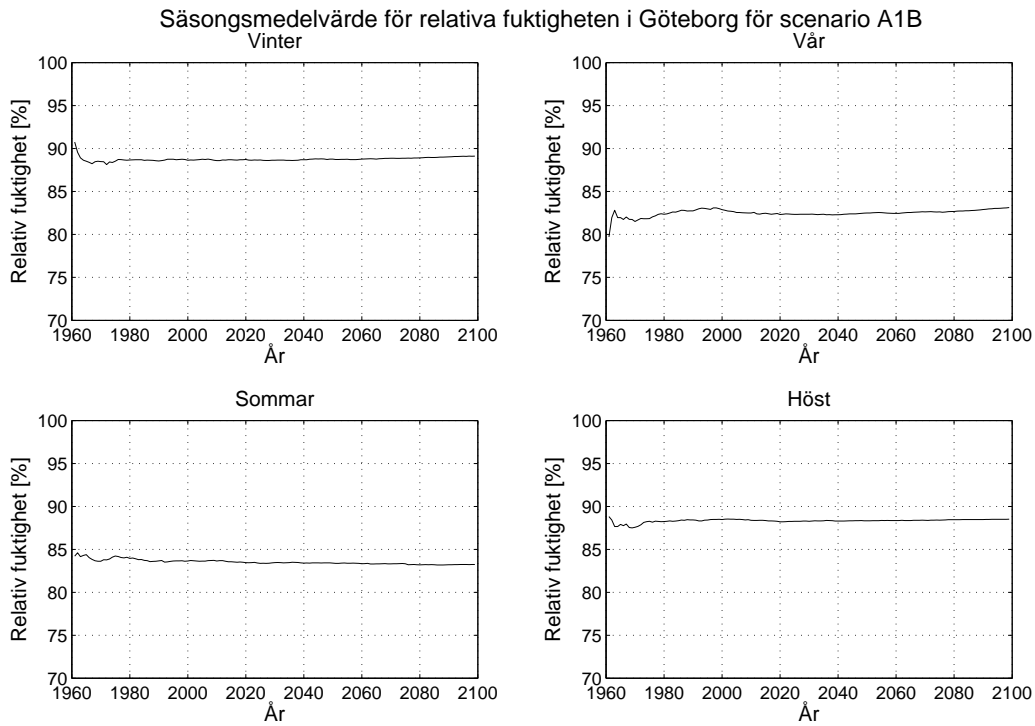
Figur 107 Säsongsmedeltemperaturen i Stockholm för scenario B1 under åren 1960-2100



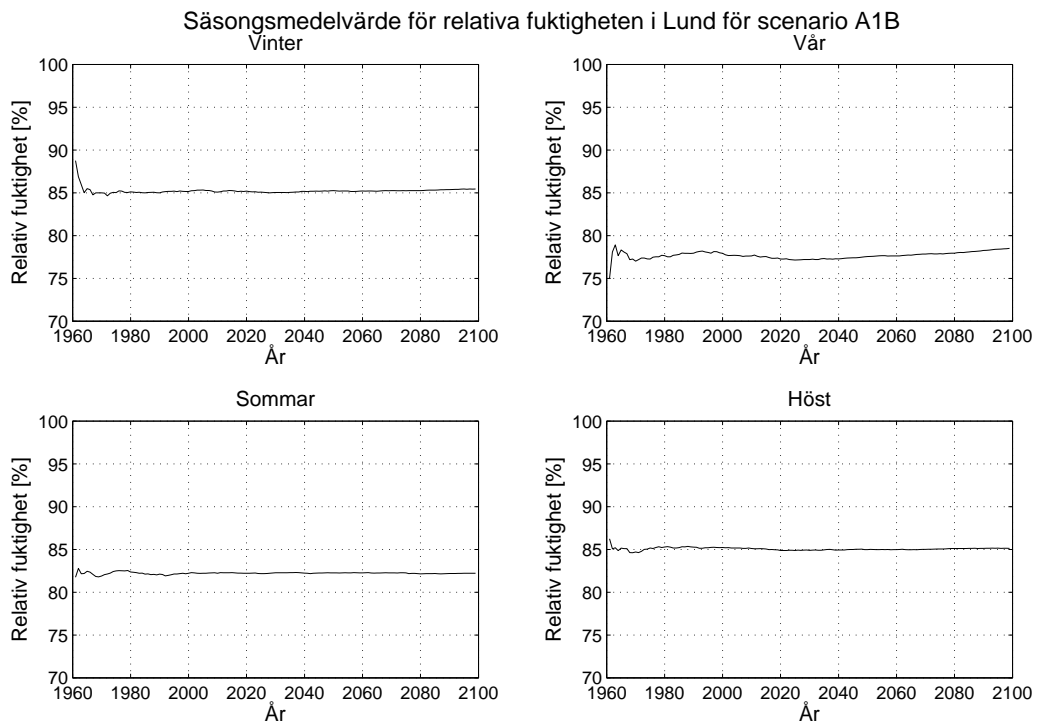
Figur 108 Säsongsmedeltemperaturen i Östersund för scenario B1 under åren 1960-2100

Relativ fuktighet

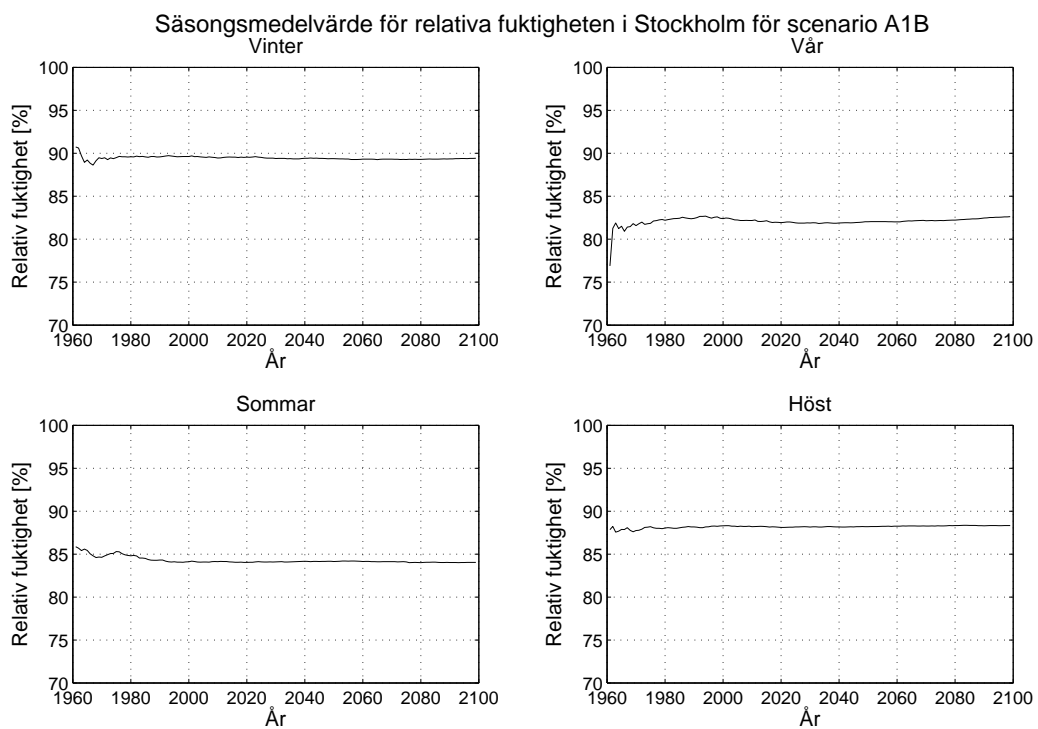
Scenario A1B



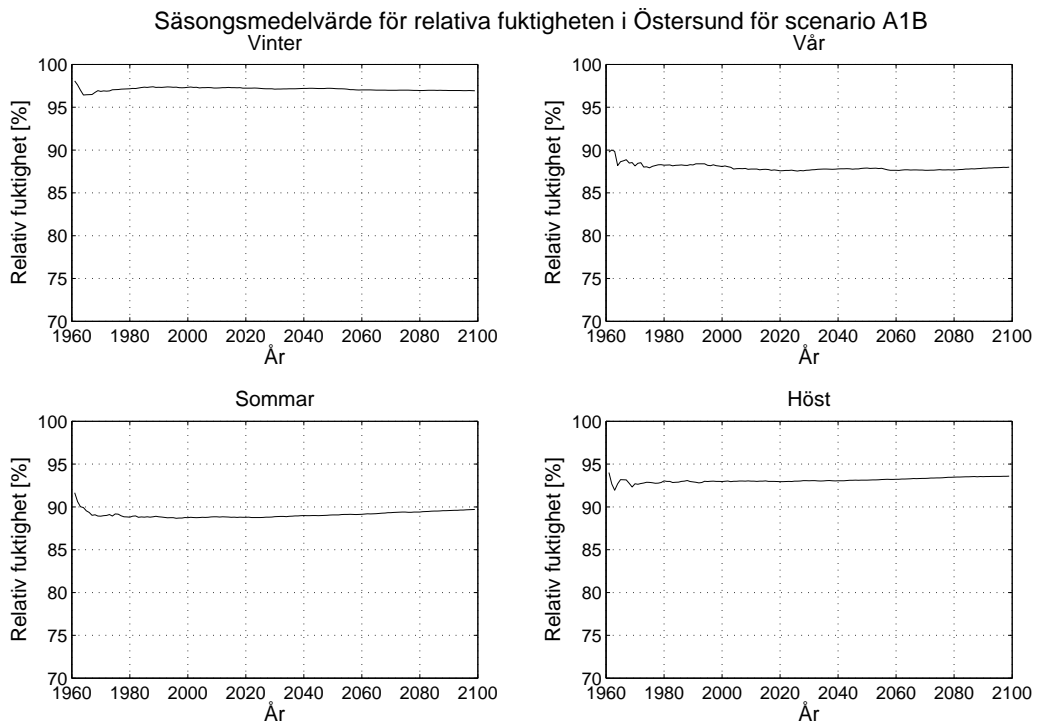
Figur 109 Säsongsmedelvärdet för den relativa fuktigheten i Göteborg för scenario A1B under åren 1960-2100



Figur 110 Säsongsmedelvärdet för den relativa fuktigheten i Lund för scenario A1B under åren 1960-2100

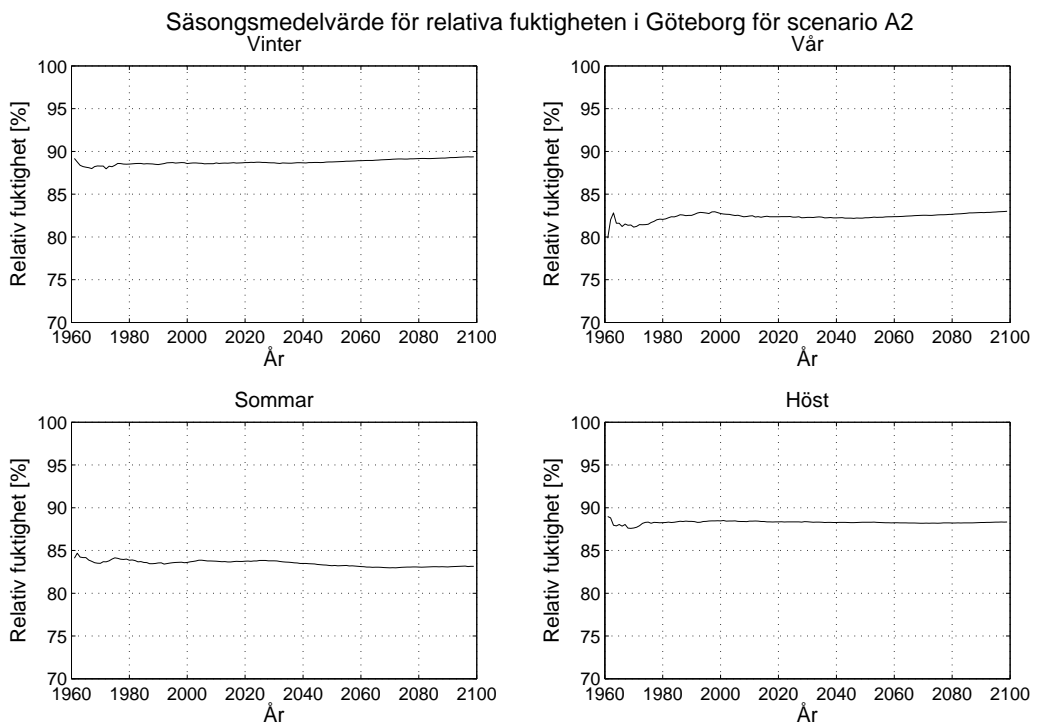


Figur 111 Säsongsmedelvärdet för den relativa fuktigheten i Stockholm för scenario A1B under åren 1960-2100

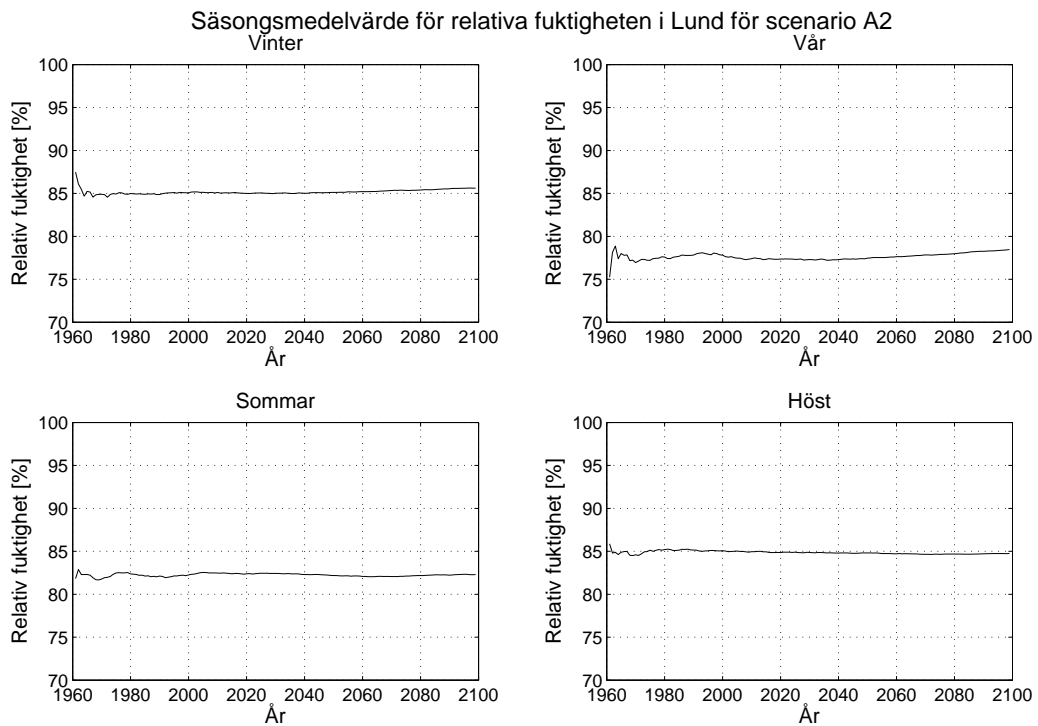


Figur 112 Säsongsmedelvärde för den relativa fuktigheten i Östersund för scenario A1B under åren 1960-2100

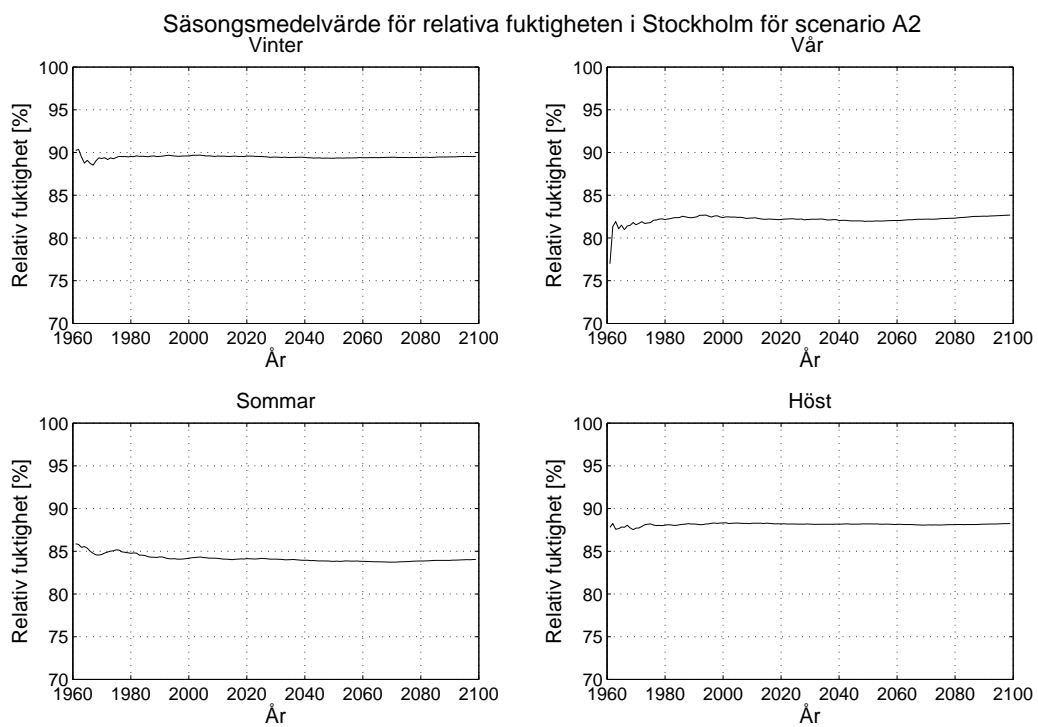
Scenario A2



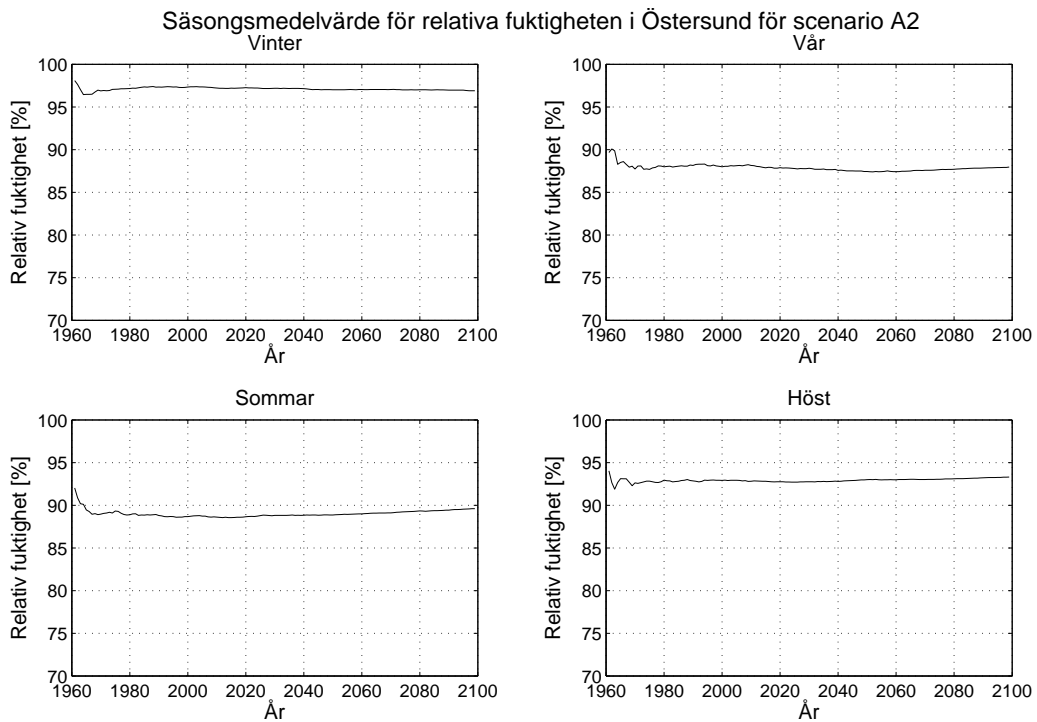
Figur 113 Säsongsmedelvärde för den relativa fuktigheten i Göteborg för scenario A2 under åren 1960-2100



Figur 114 Säsongsmedelvärdet för den relativa fuktigheten i Lund för scenario A2 under åren 1960-2100

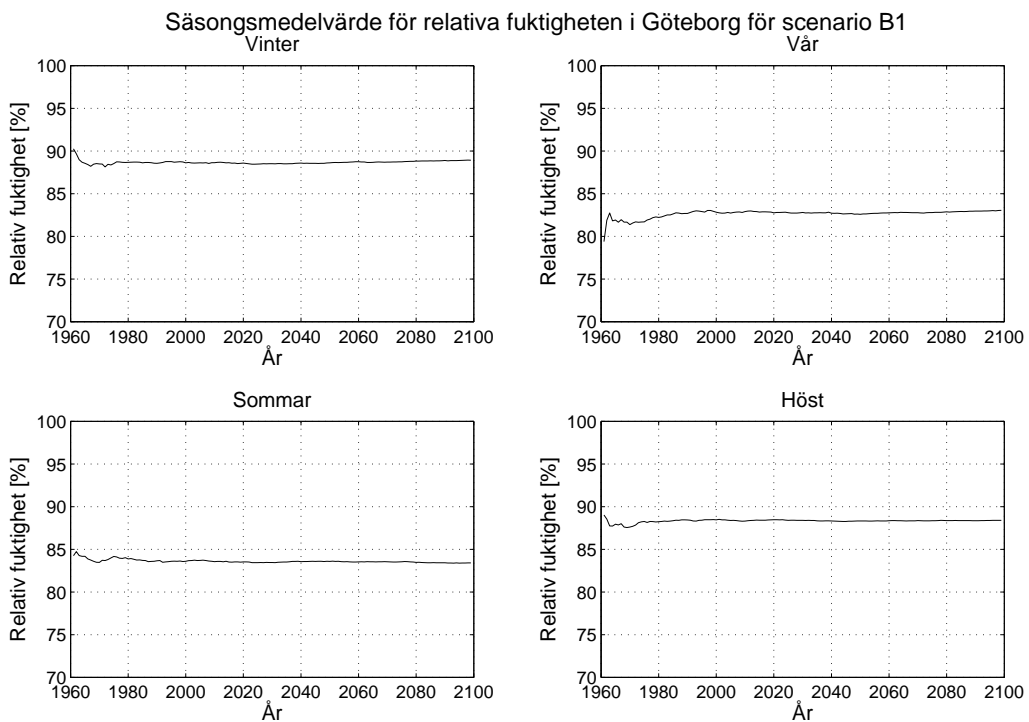


Figur 115 Säsongsmedelvärdet för den relativa fuktigheten i Stockholm för scenario A2 under åren 1960-2100

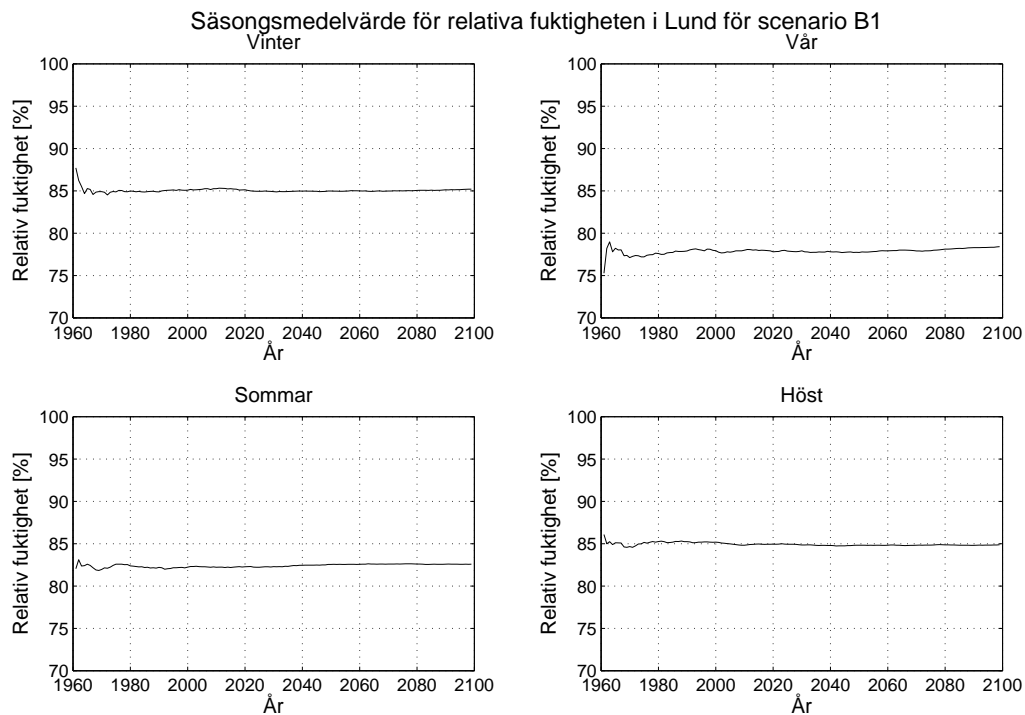


Figur 116 Säsongsmedelvärdet för den relativa fuktigheten i Östersund för scenario A2 under åren 1960-2100

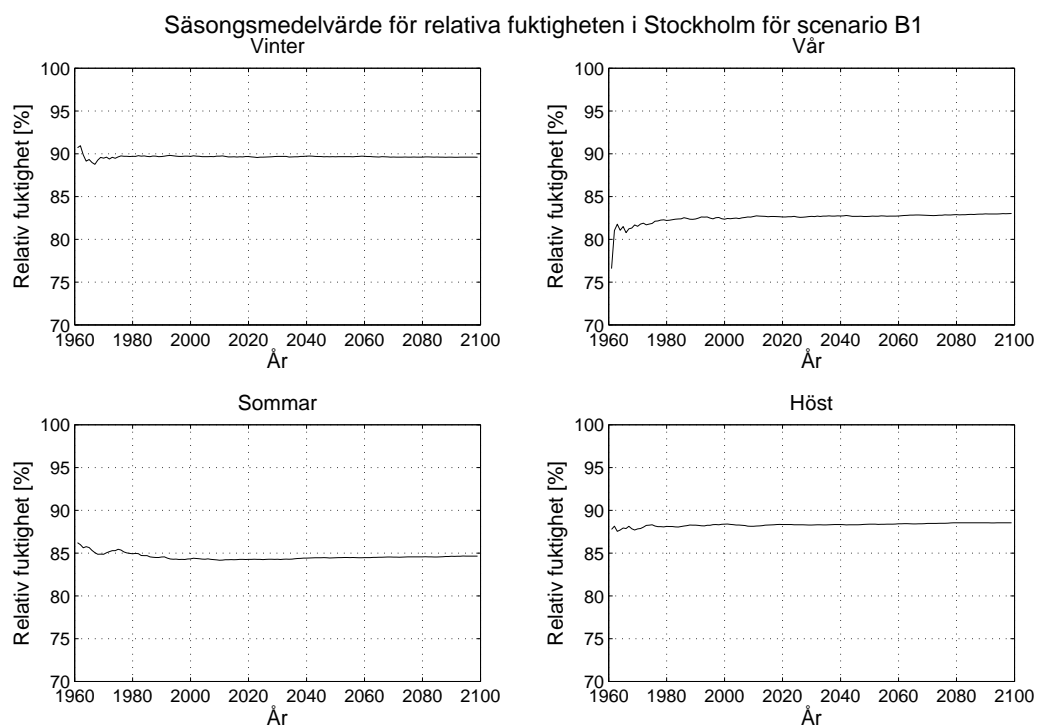
Scenario B1



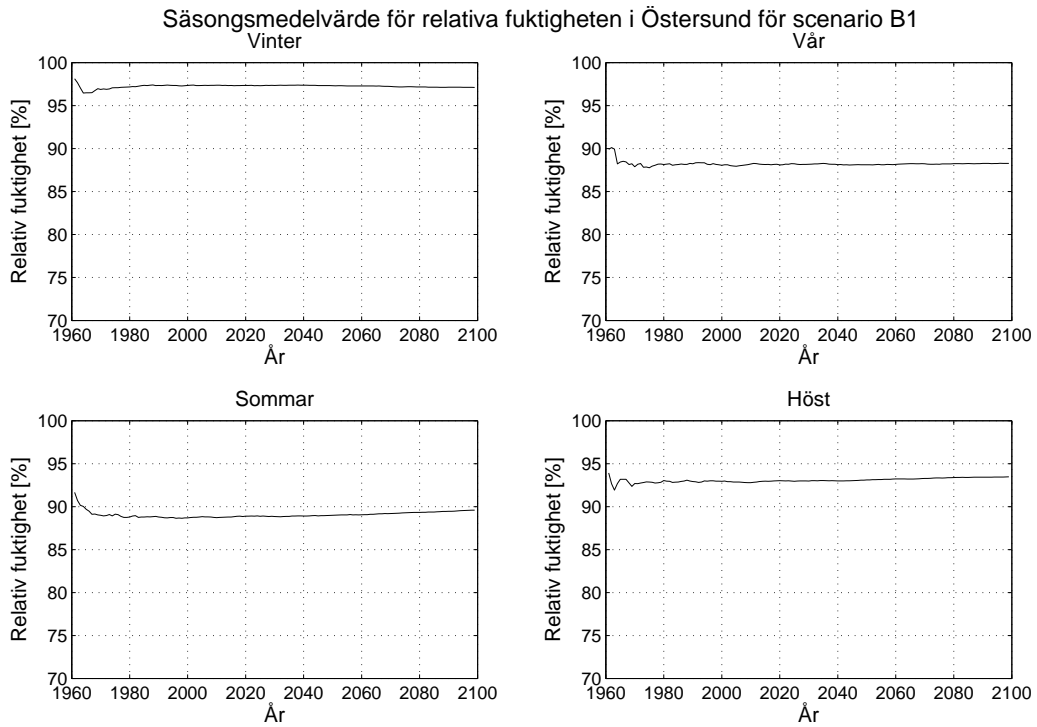
Figur 117 Säsongsmedelvärdet för den relativa fuktigheten i Göteborg för scenario B1 under åren 1960-2100



Figur 118 Säsongsmedelvärdet för den relativa fuktigheten i Lund för scenario B1 under åren 1960-2100



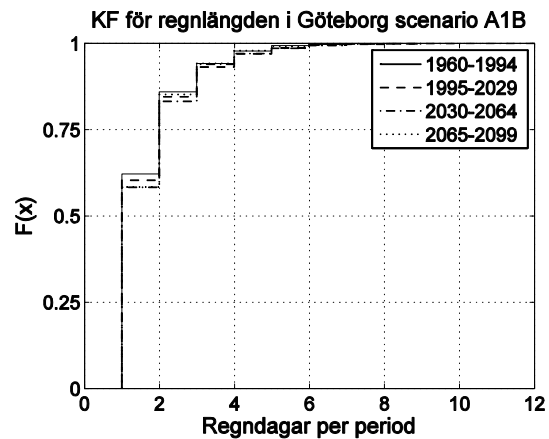
Figur 119 Säsongsmedelvärdet för den relativa fuktigheten i Stockholm för scenario B1 under åren 1960-2100



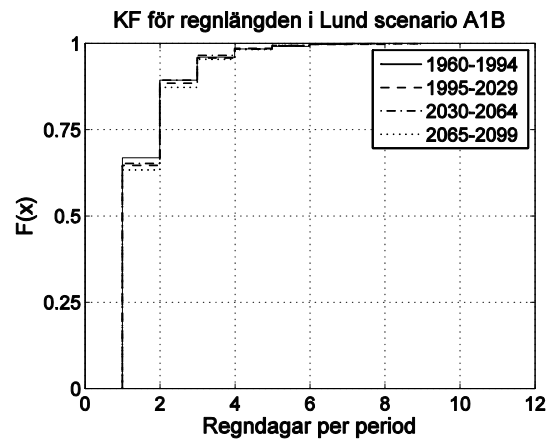
Figur 120 Säsongsmedelvärdet för den relativa fuktigheten i Östersund för scenario B1 under åren 1960-2100

Nederbörd

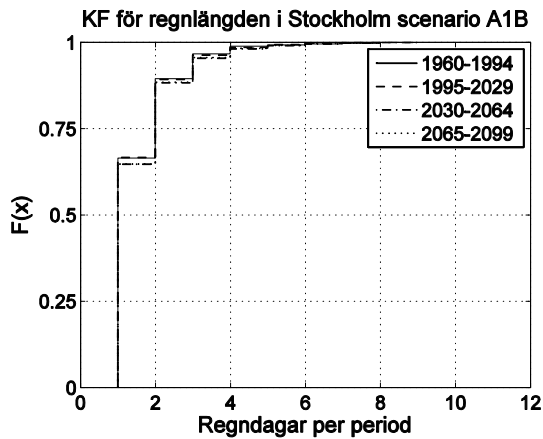
Scenario A1B



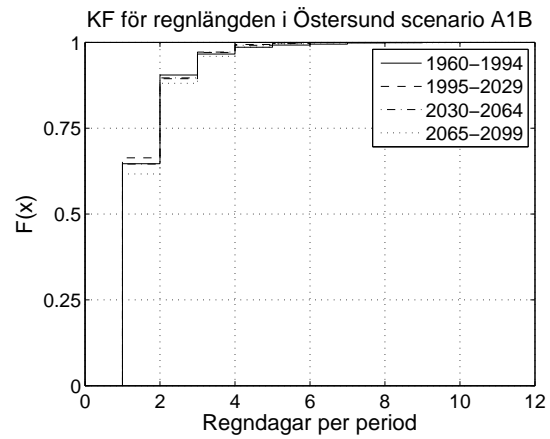
Figur 121 Kumulativ fördelning över hur många regndagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Göteborg för scenario A1B



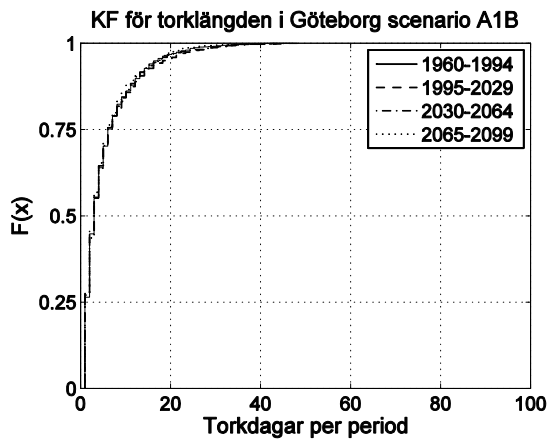
Figur 122 Kumulativ fördelning över hur många regndagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Lund för scenario A1B



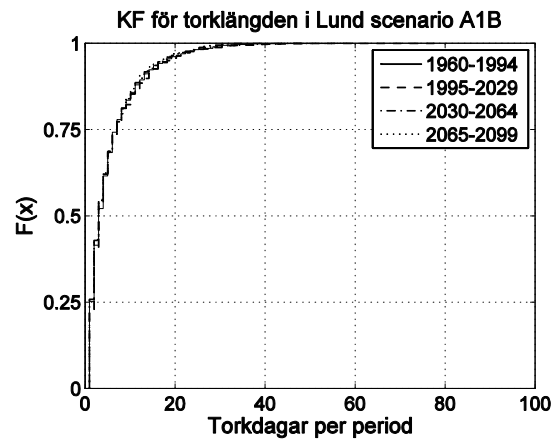
Figur 123 Kumulativ fördelning över hur många regndagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Stockholm för scenario A1B



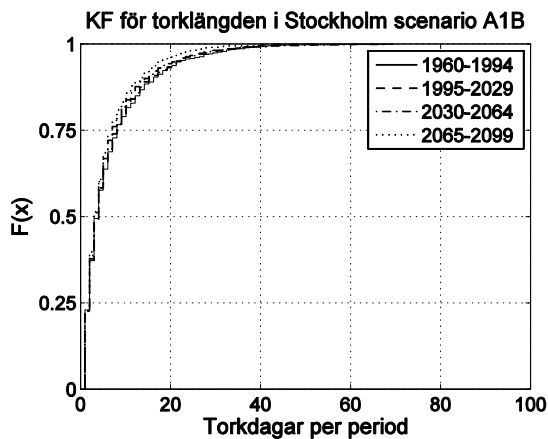
Figur 124 Kumulativ fördelning över hur många regndagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Östersund för scenario A1B



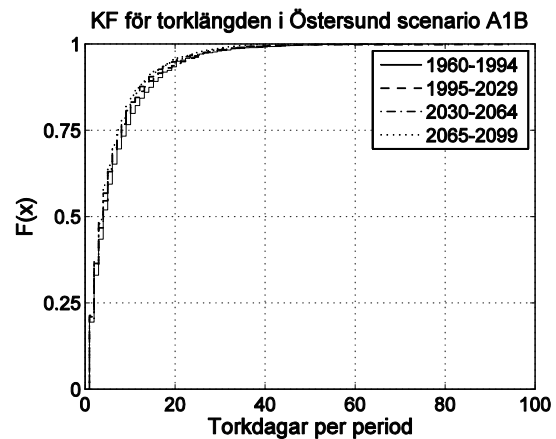
Figur 125 Kumulativ fördelning över hur många torkdagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Göteborg för scenario A1B



Figur 126 Kumulativ fördelning över hur många torkdagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Lund för scenario A1B

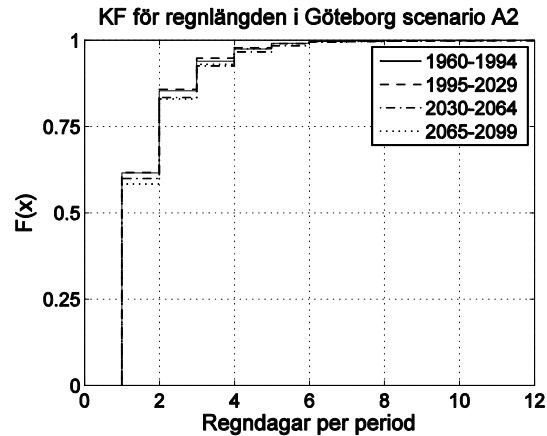


Figur 127 Kumulativ fördelning över hur många torkdagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Stockholm för scenario A1B

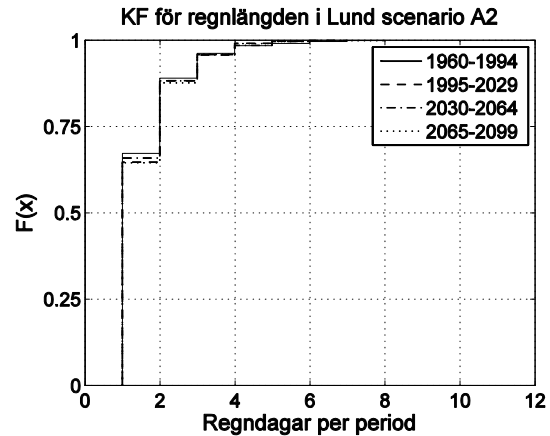


Figur 128 Kumulativ fördelning över hur många torkdagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Östersund för scenario A1B

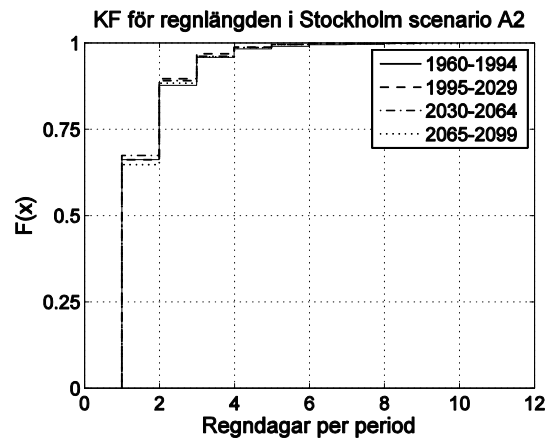
Scenario A2



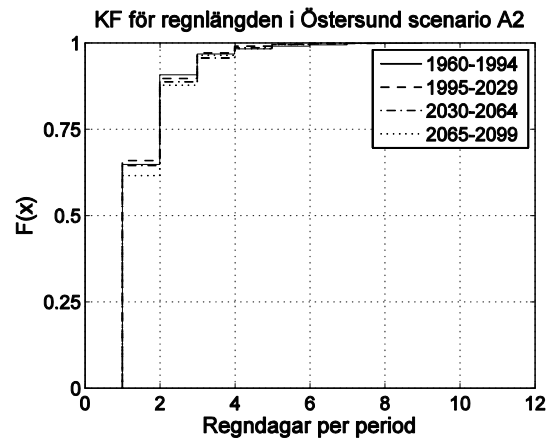
Figur 129 Kumulativ fördelning över hur många regndagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Göteborg för scenario A2



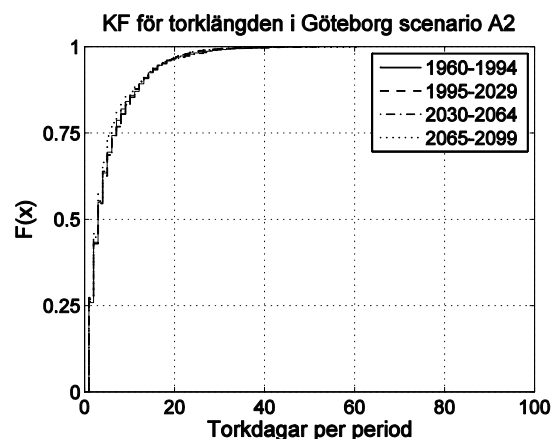
Figur 130 Kumulativ fördelning över hur många regndagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Lund för scenario A2



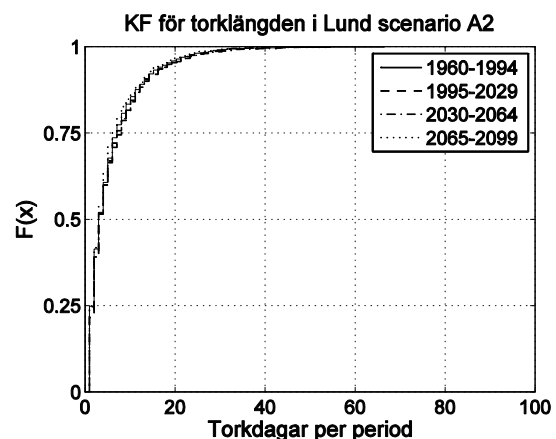
Figur 131 Kumulativ fördelning över hur många regndagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Stockholm för scenario A2



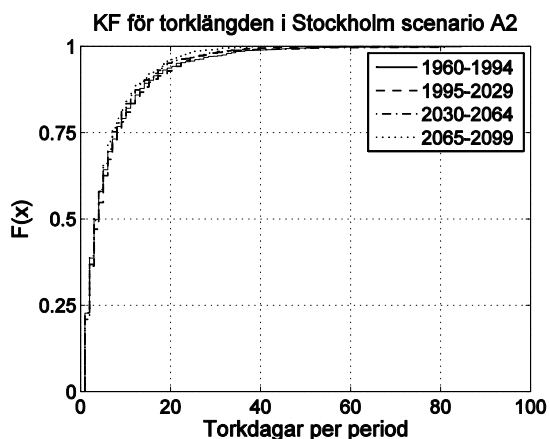
Figur 132 Kumulativ fördelning över hur många regndagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Östersund för scenario A2



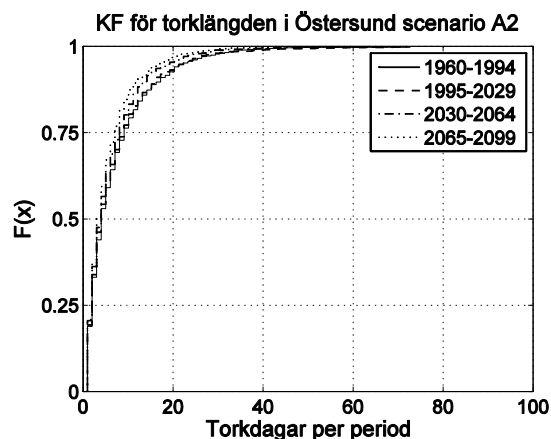
Figur 133 Kumulativ fördelning över hur många torkdagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Göteborg för scenario A2



Figur 134 Kumulativ fördelning över hur många torkdagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Lund för scenario A2

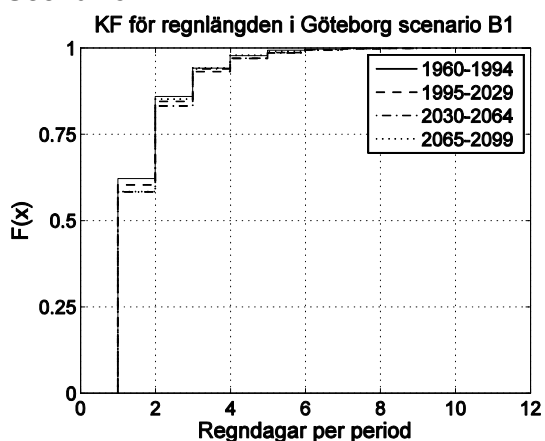


Figur 135 Kumulativ fördelning över hur många torkdagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Stockholm för scenario A2

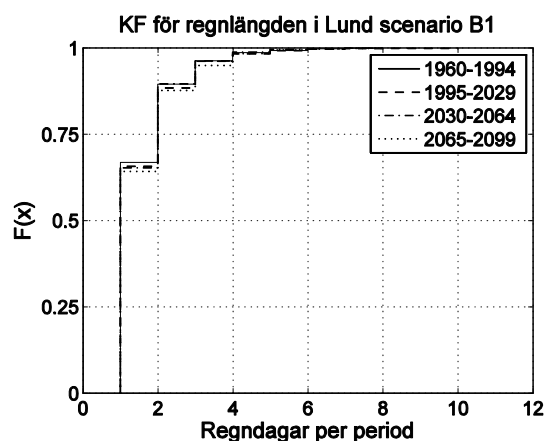


Figur 136 Kumulativ fördelning över hur många torkdagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Östersund för scenario A2

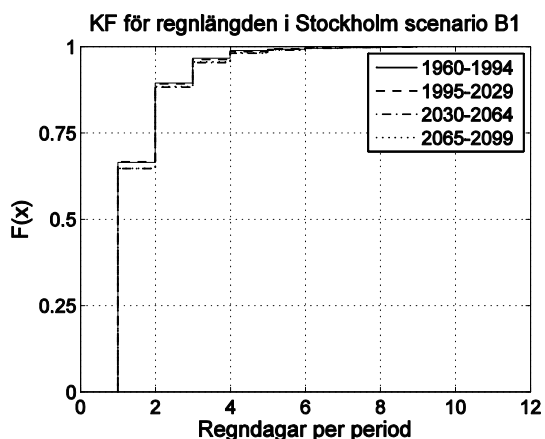
Scenario B1



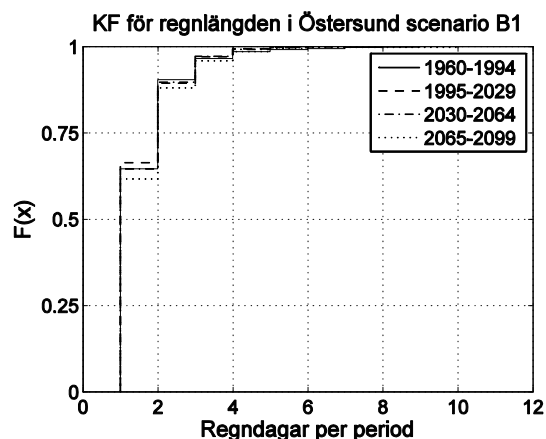
Figur 137 Kumulativ fördelning över hur många regndagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Göteborg för scenario B1



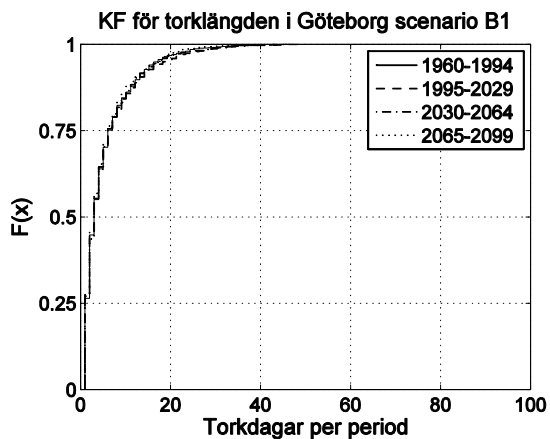
Figur 138 Kumulativ fördelning över hur många regndagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Lund för scenario B1



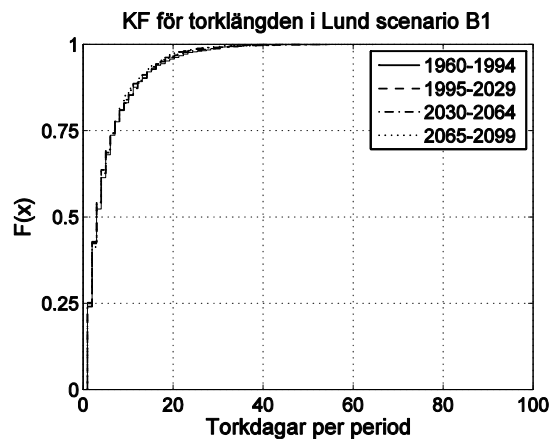
Figur 139 Kumulativ fördelning över hur många regndagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Stockholm för scenario B1



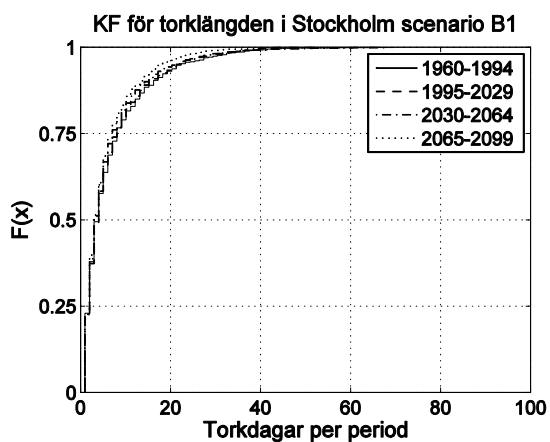
Figur 140 Kumulativ fördelning över hur många regndagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Östersund för scenario B1



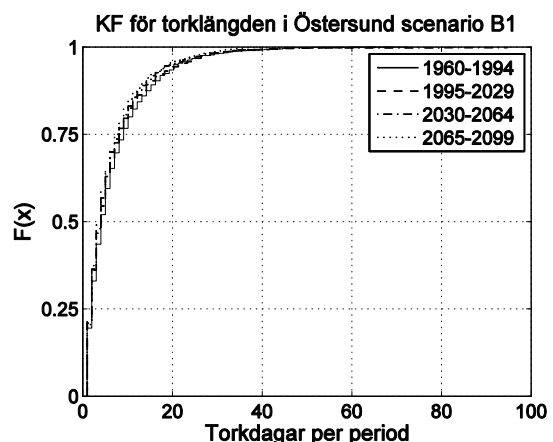
Figur 141 Kumulativ fördelning över hur många torkdagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Göteborg för scenario B1



Figur 142 Kumulativ fördelning över hur många torkdagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Lund för scenario B1



Figur 143 Kumulativ fördelning över hur många torkdagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Stockholm för scenario B1



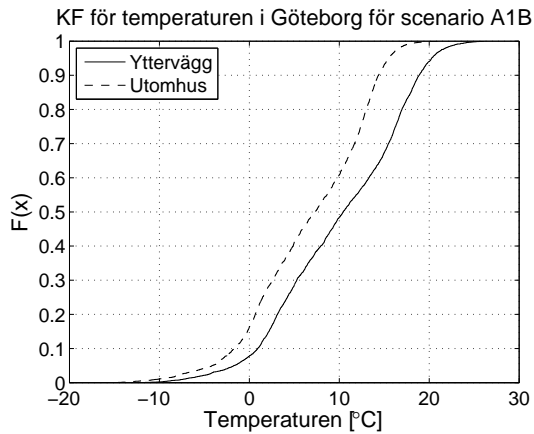
Figur 144 Kumulativ fördelning över hur många torkdagar per period det är för de olika 35-årsperioderna i Östersund för scenario B1

Appendix 6

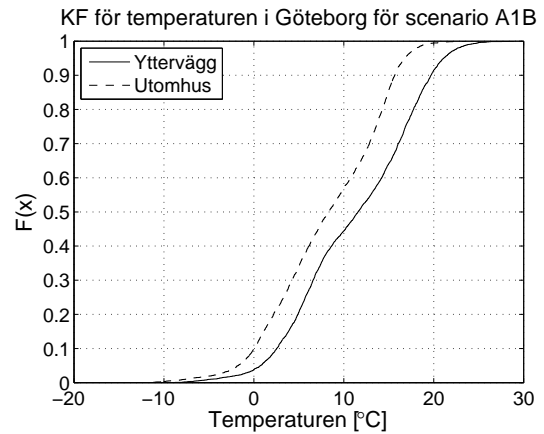
Nedan visas figurer med kumulativa fördelningar över temperaturen och relativa fuktigheten i både ytterväggen och för utomhusklimatet. Figurer för alla städer och scenarier visas för årsperioderna 1960-1969, 2030-2039 och 2090-2099.

Temperatur

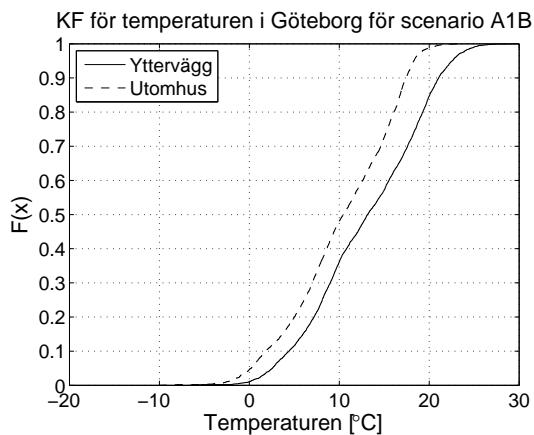
Scenario A1B



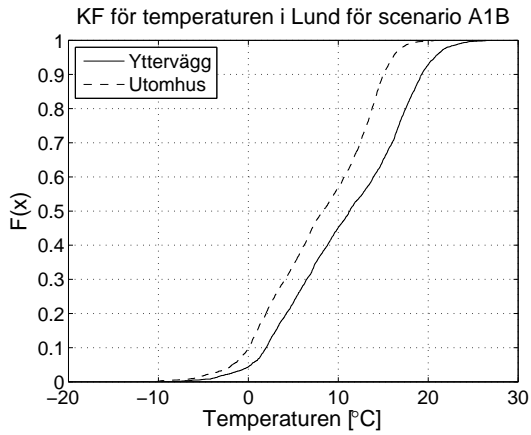
Figur 145 Kumulativ fördelning för temperaturen i Göteborg under åren 1960-1969 för scenario A1B



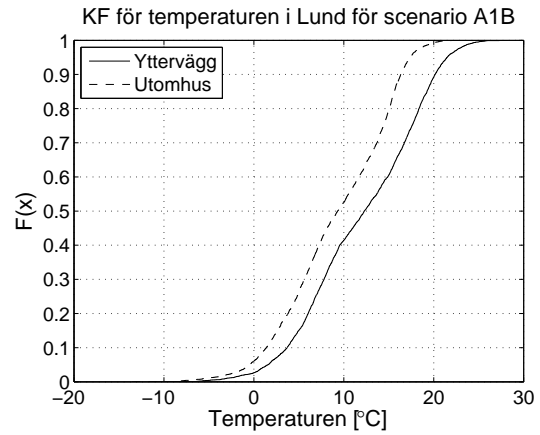
Figur 146 Kumulativ fördelning för temperaturen i Göteborg under åren 2030-2039 för scenario A1B



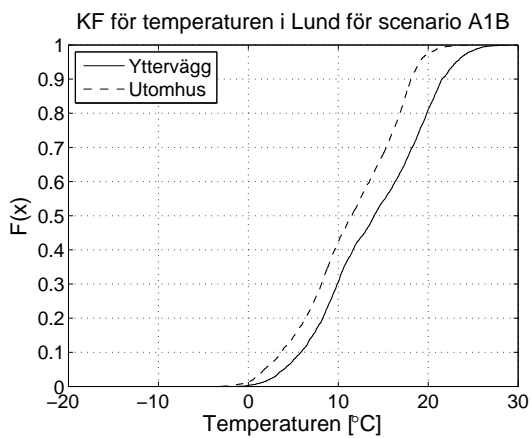
Figur 147 Kumulativ fördelning för temperaturen i Göteborg under åren 2090-2099 för scenario A1B



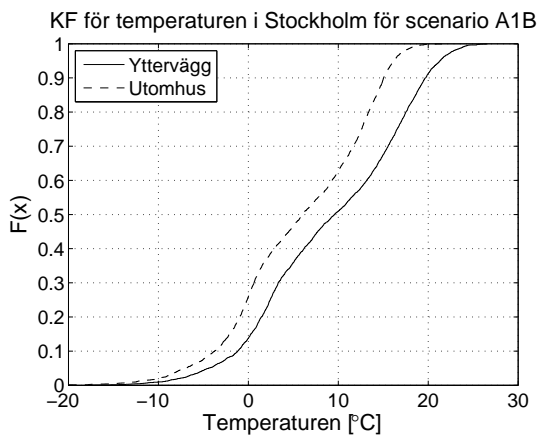
Figur 148 Kumulativ fördelning för temperaturen i Lund under åren 1960-1969 för scenario A1B



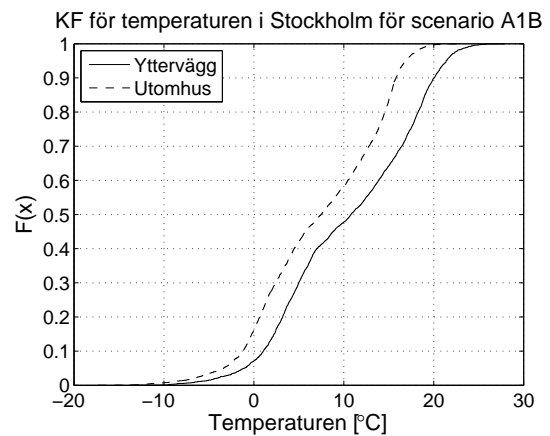
Figur 149 Kumulativ fördelning för temperaturen i Lund under åren 2030-2039 för scenario A1B



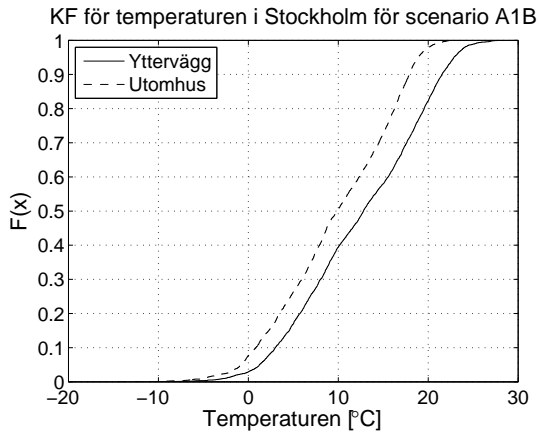
Figur 150 Kumulativ fördelning för temperaturen i Lund under åren 2090-2099 för scenario A1B



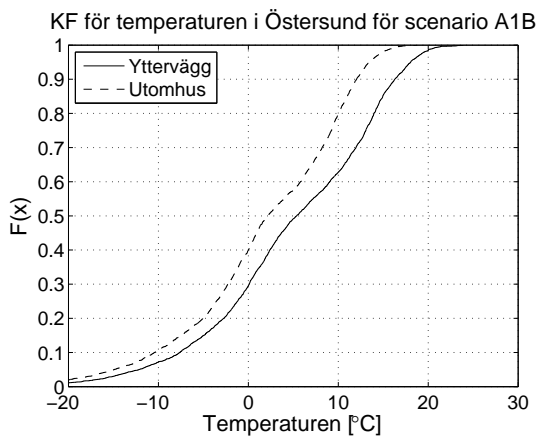
Figur 151 Kumulativ fördelning för temperaturen i Stockholm under åren 1960-1969 för scenario A1B



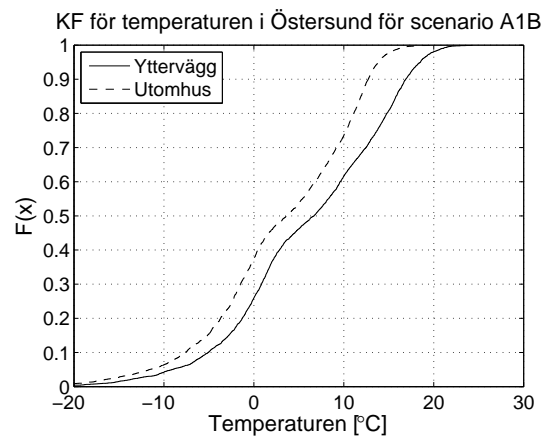
Figur 152 Kumulativ fördelning för temperaturen i Stockholm under åren 2030-2039 för scenario A1B



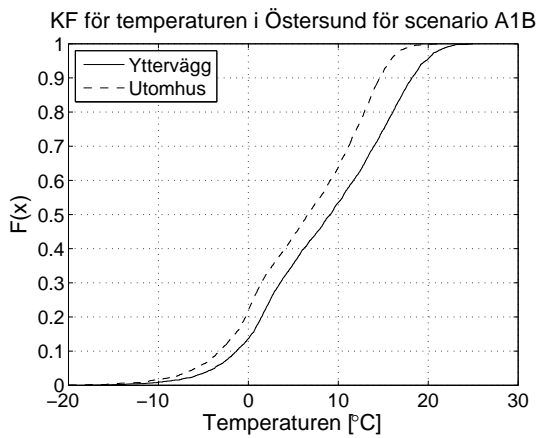
Figur 153 Kumulativ fördelning för temperaturen i Stockholm under åren 2090-2099 för scenario A1B



Figur 154 Kumulativ fördelning för temperaturen i Östersund under åren 1960-1969 för scenario A1B

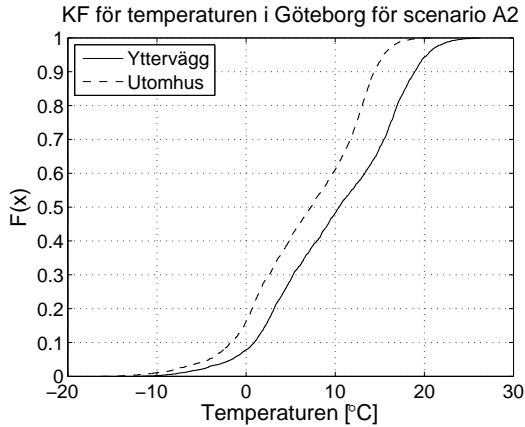


Figur 155 Kumulativ fördelning för temperaturen i Östersund under åren 2030-2039 för scenario A1B

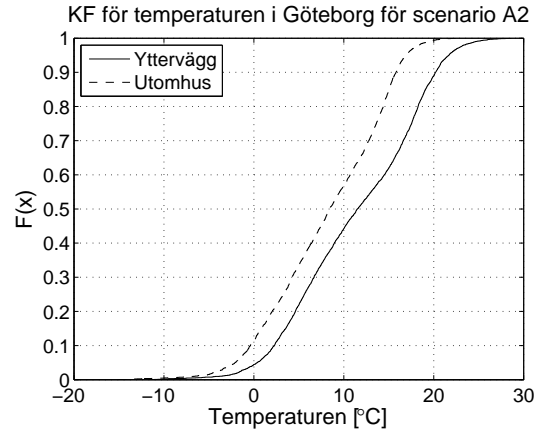


Figur 156 Kumulativ fördelning för temperaturen i Östersund under åren 2090-2099 för scenario A1B

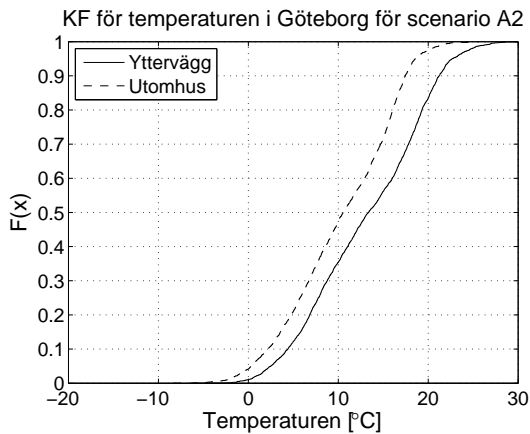
Scenario A2



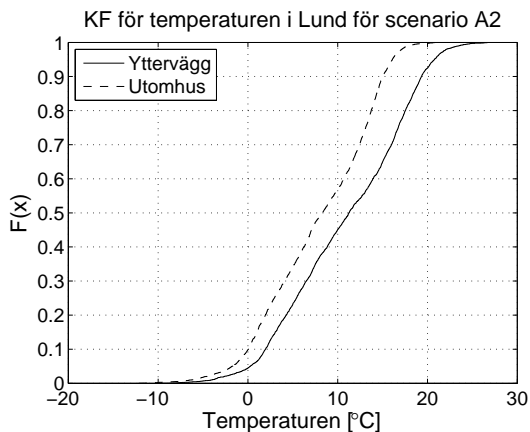
Figur 157 Kumulativ fördelning för temperaturen i Göteborg under åren 1960-1969 för scenario A2



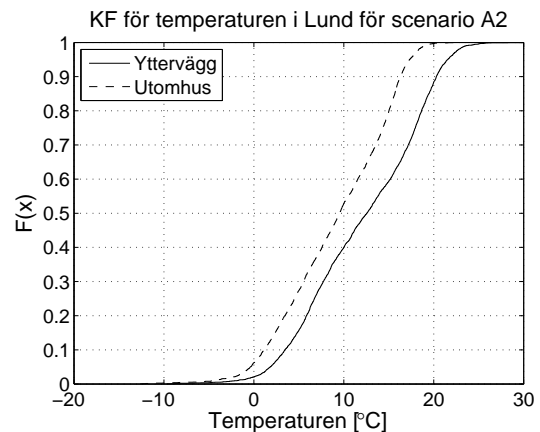
Figur 158 Kumulativ fördelning för temperaturen i Göteborg under åren 2030-2039 för scenario A2



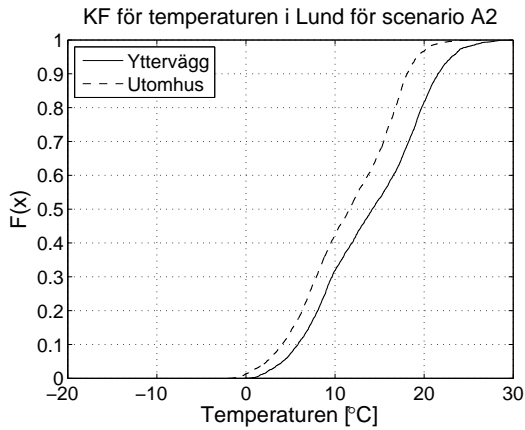
Figur 159 Kumulativ fördelning för temperaturen i Göteborg under åren 2090-2099 för scenario A2



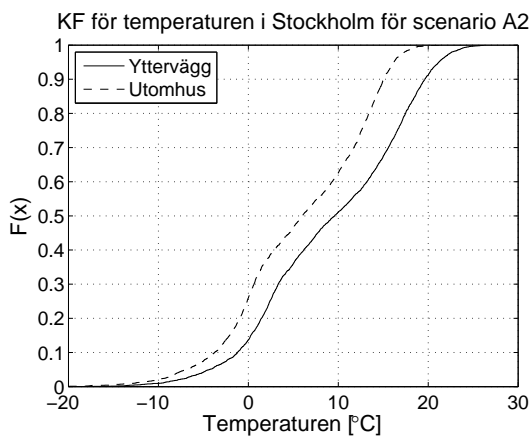
Figur 160 Kumulativ fördelning för temperaturen i Lund under åren 1960-1969 för scenario A2



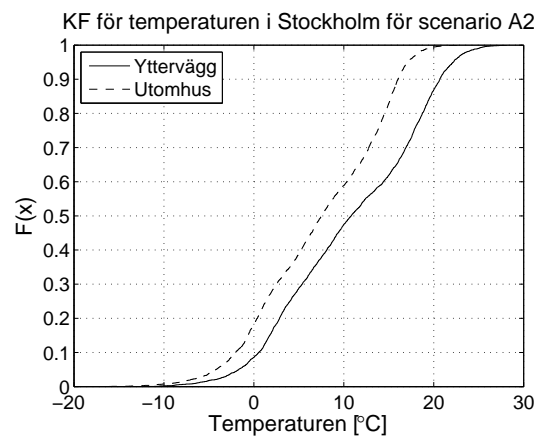
Figur 161 Kumulativ fördelning för temperaturen i Lund under åren 2030-2039 för scenario A2



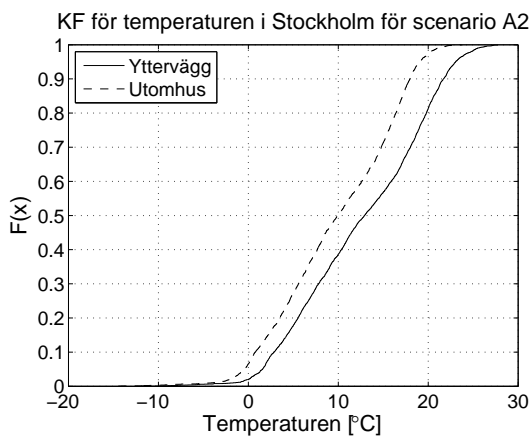
Figur 162 Kumulativ fördelning för temperaturen i Lund under åren 2090-2099 för scenario A2



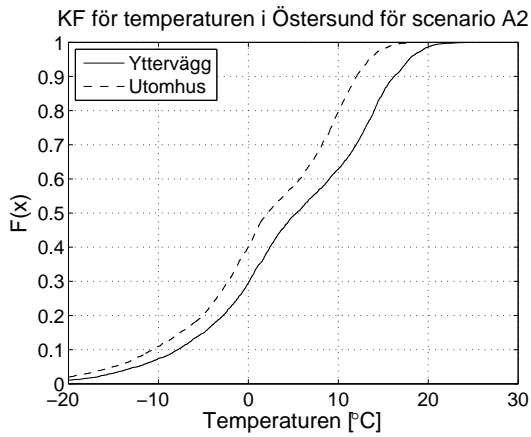
Figur 163 Kumulativ fördelning för temperaturen i Stockholm under åren 1960-1969 för scenario A2



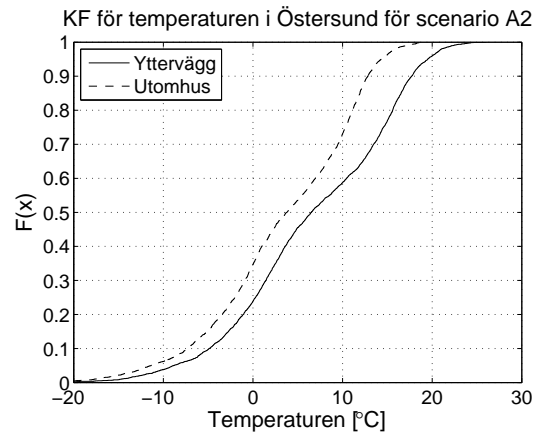
Figur 164 Kumulativ fördelning för temperaturen i Stockholm under åren 2030-2039 för scenario A2



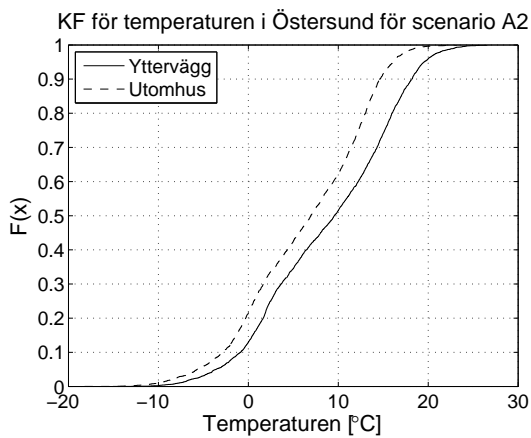
Figur 165 Kumulativ fördelning för temperaturen i Stockholm under åren 2090-2099 för scenario A2



Figur 166 Kumulativ fördelning för temperaturen i Östersund under åren 1960-1969 för scenario A2

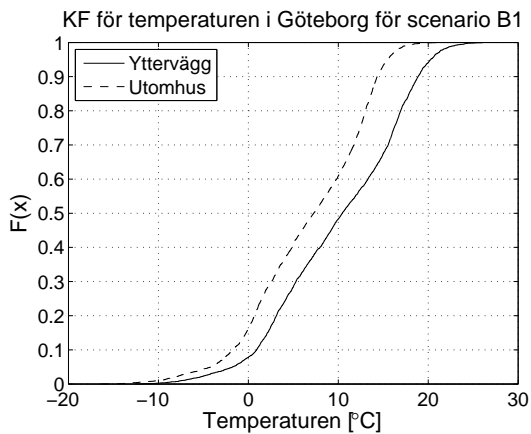


Figur 167 Kumulativ fördelning för temperaturen i Östersund under åren 2030-2039 för scenario A2

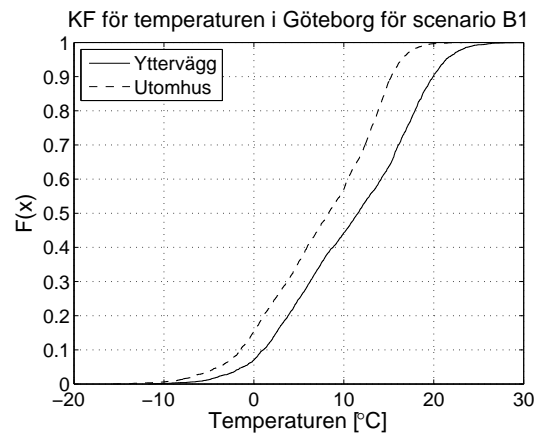


Figur 168 Kumulativ fördelning för temperaturen i Östersund under åren 2090-2099 för scenario A2

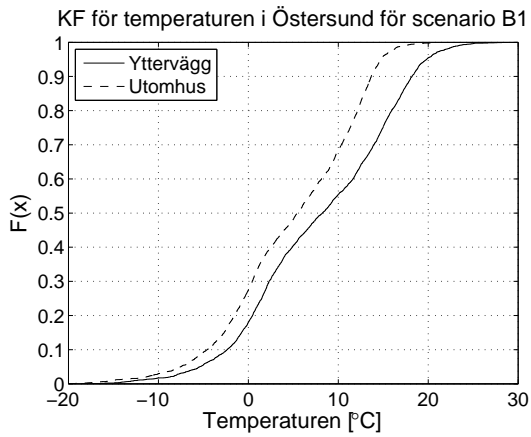
Scenario B1



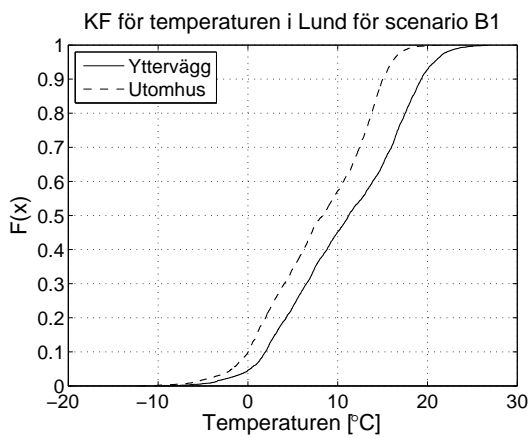
Figur 169 Kumulativ fördelning för temperaturen i Göteborg under åren 1960-1969 för scenario B1



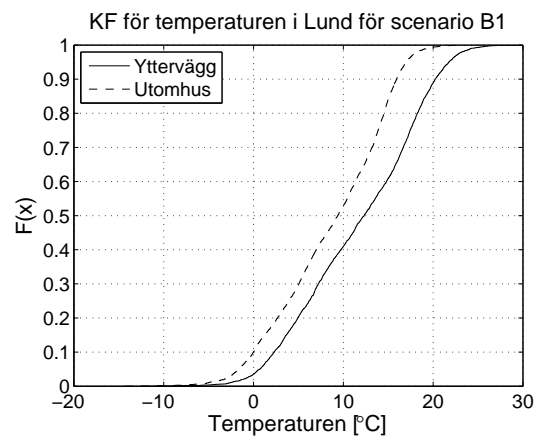
Figur 170 Kumulativ fördelning för temperaturen i Göteborg under åren 2030-2039 för scenario B1



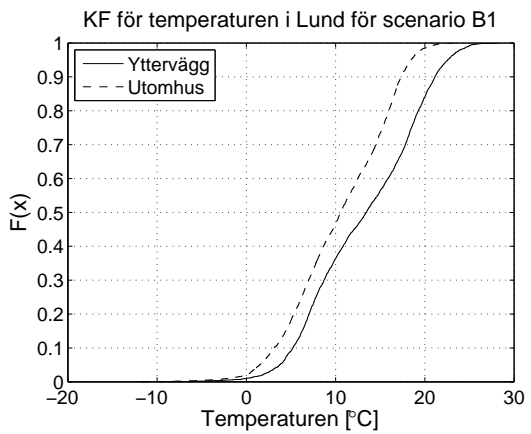
Figur 171 Kumulativ fördelning för temperaturen i Göteborg under åren 2090-2099 för scenario B1



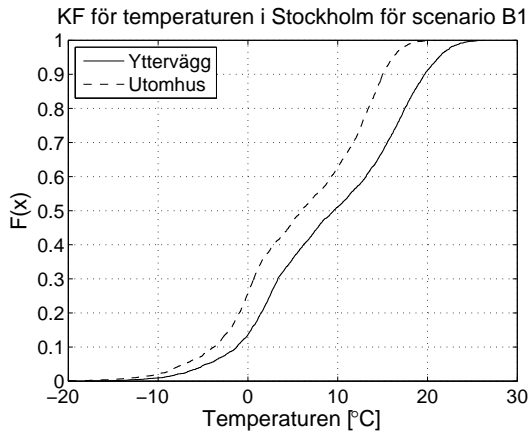
Figur 172 Kumulativ fördelning för temperaturen i Lund under åren 1960-1969 för scenario B1



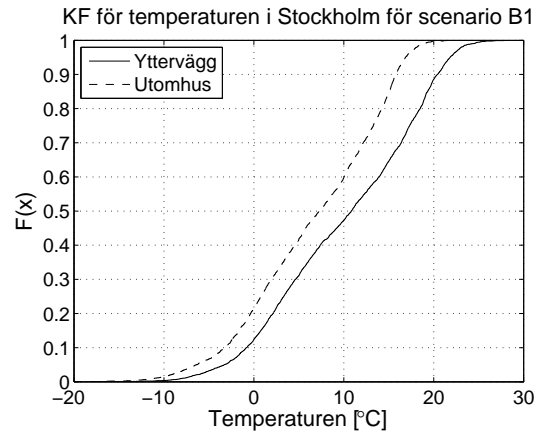
Figur 173 Kumulativ fördelning för temperaturen i Lund under åren 2030-2039 för scenario B1



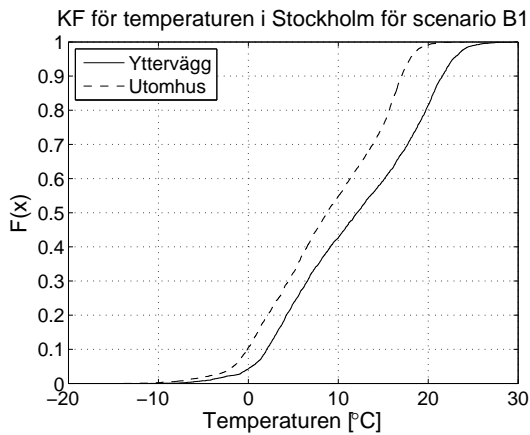
Figur 174 Kumulativ fördelning för temperaturen i Lund under åren 2090-2099 för scenario B1



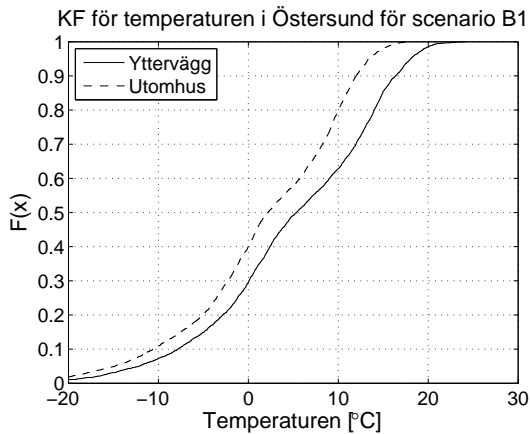
Figur 175 Kumulativ fördelning för temperaturen i Stockholm under åren 1960-1969 för scenario B1



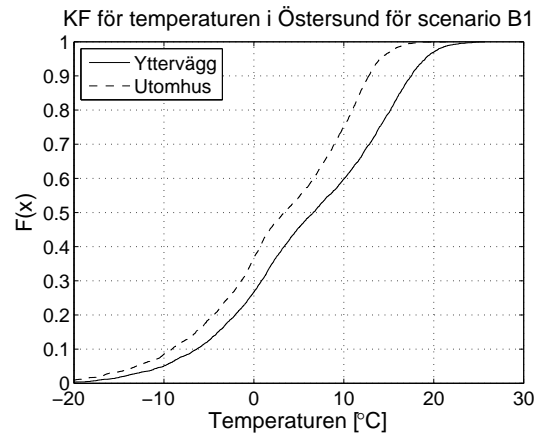
Figur 176 Kumulativ fördelning för temperaturen i Stockholm under åren 2030-2039 för scenario B1



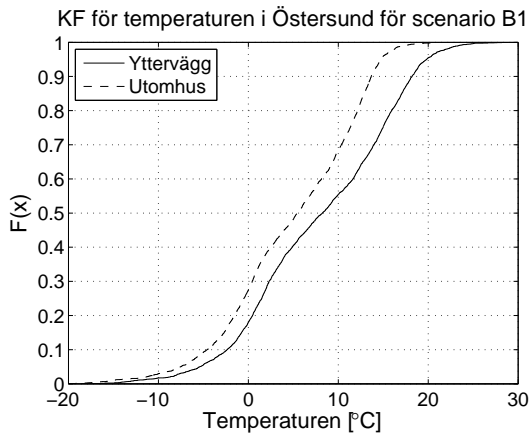
Figur 177 Kumulativ fördelning för temperaturen i Stockholm under åren 2090-2099 för scenario B1



Figur 178 Kumulativ fördelning för temperaturen i Östersund under åren 1960-1969 för scenario B1



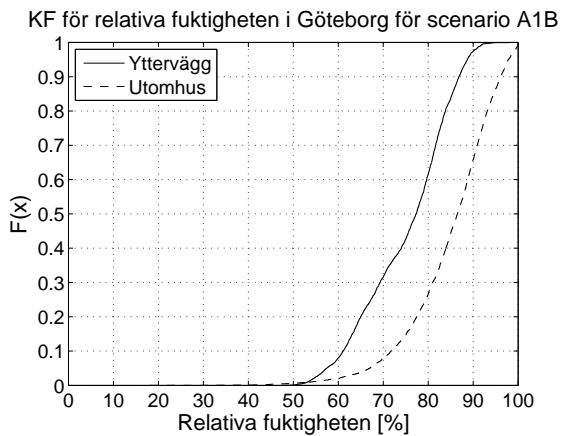
Figur 179 Kumulativ fördelning för temperaturen i Östersund under åren 2030-2039 för scenario B1



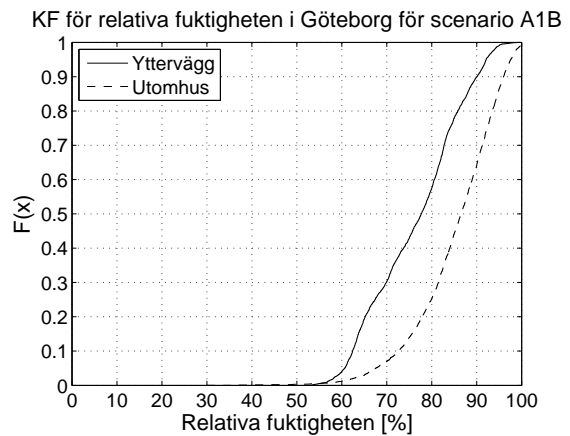
Figur 180 Kumulativ fördelning för temperaturen i Östersund under åren 2090-2099 för scenario B1

Relativa fuktigheten

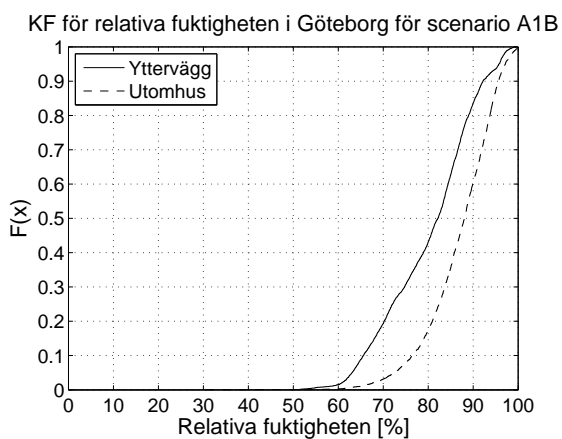
Scenario A1B



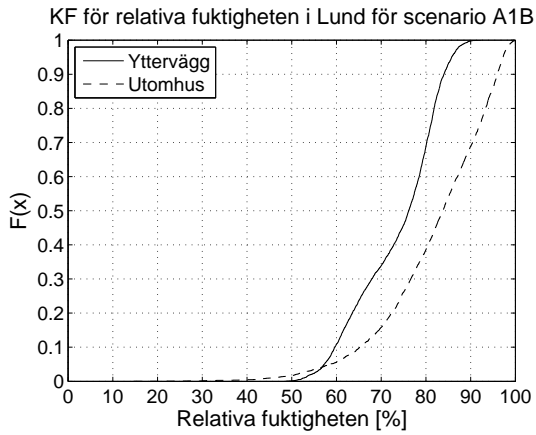
Figur 181 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Göteborg under åren 1960-1969 för scenario A1B



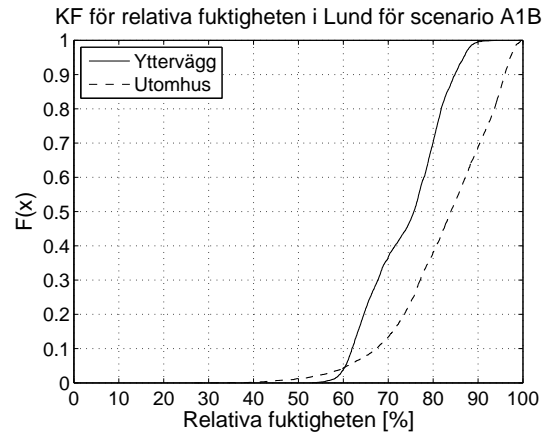
Figur 182 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Göteborg under åren 2030-2039 för scenario A1B



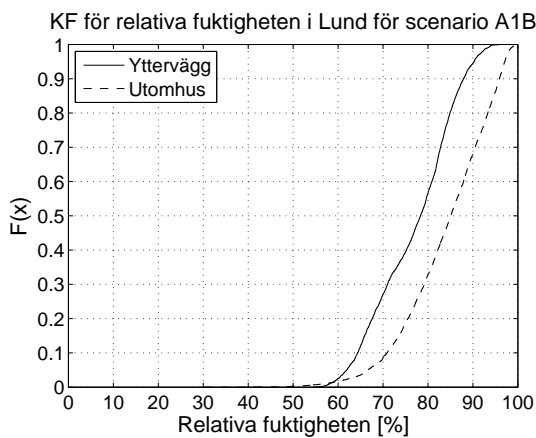
Figur 183 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Göteborg under åren 2090-2099 för scenario A1B



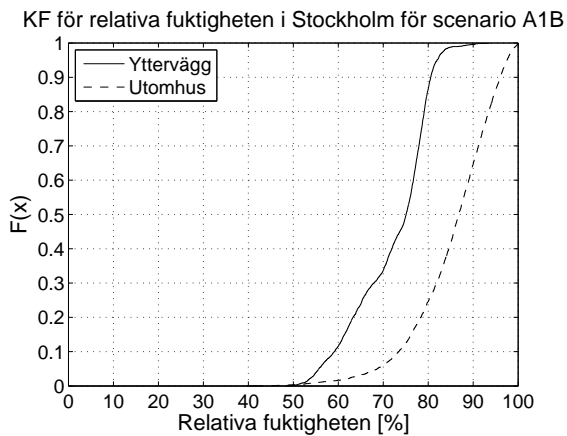
Figur 184 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Lund under åren 1960-1969 för scenario A1B



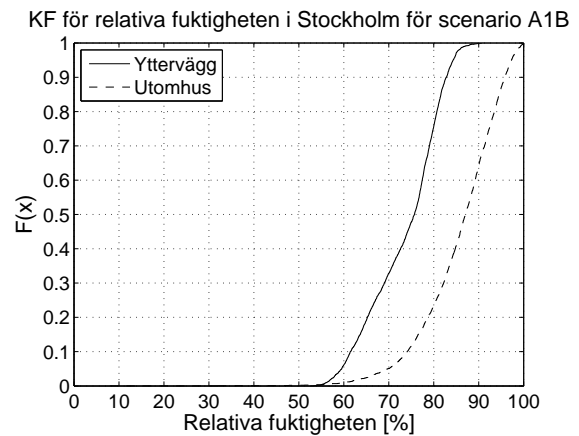
Figur 185 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Lund under åren 2030-2039 för scenario A1B



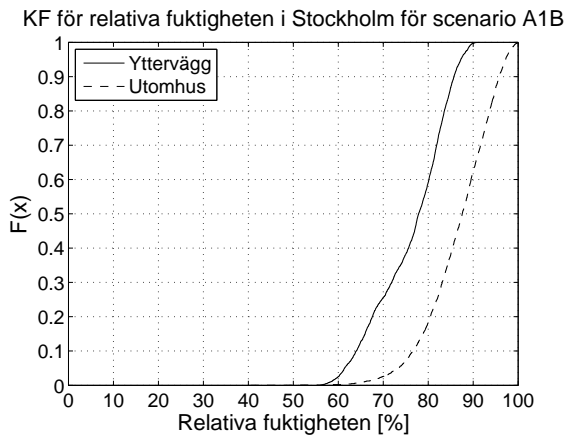
Figur 186 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Lund under åren 2090-2099 för scenario A1B



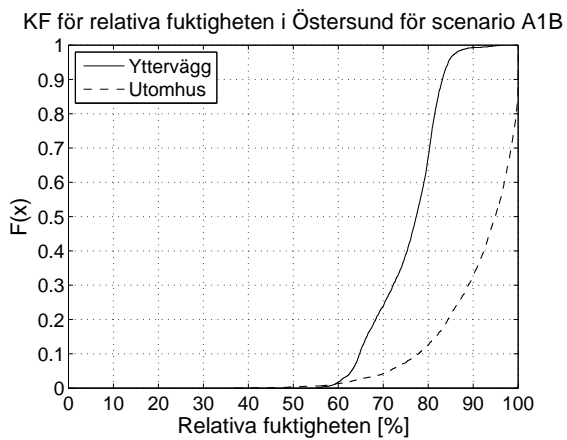
Figur 187 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Stockholm under åren 1960-1969 för scenario A1B



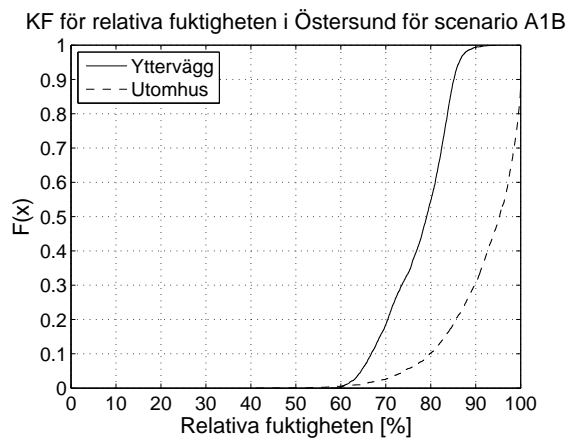
Figur 188 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Stockholm under åren 2030-2039 för scenario A1B



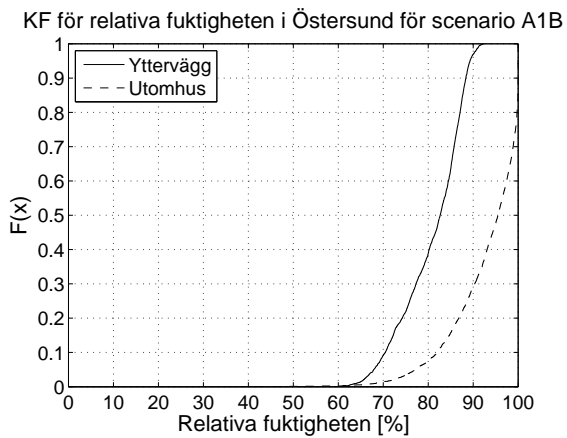
Figur 189 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Stockholm under åren 2090-2099 för scenario A1B



Figur 190 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Östersund under åren 1960-1969 för scenario A1B

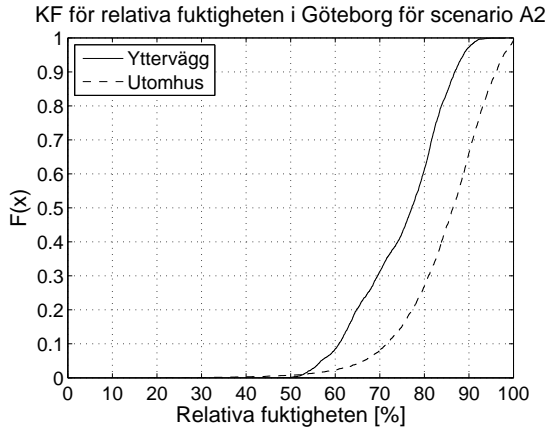


Figur 191 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Östersund under åren 2030-2039 för scenario A1B

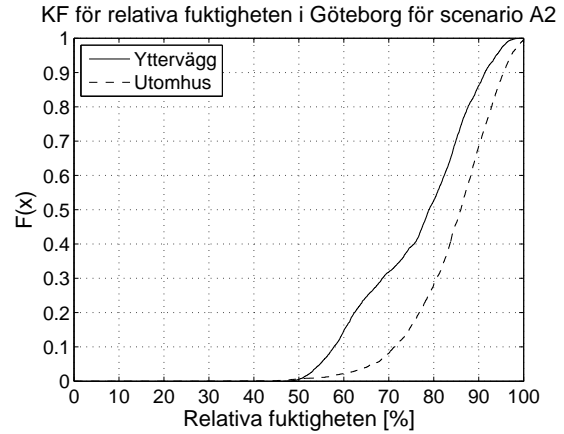


Figur 192 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Östersund under åren 2090-2099 för scenario A1B

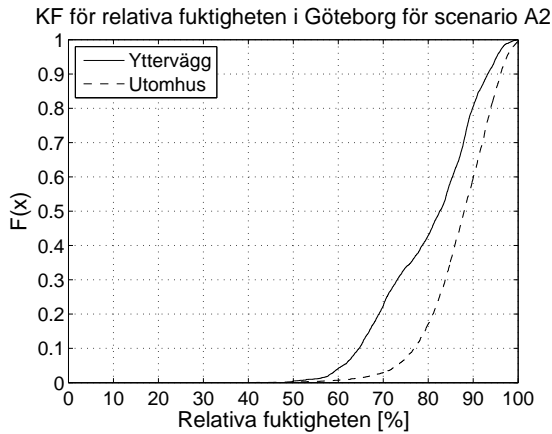
Scenario A2



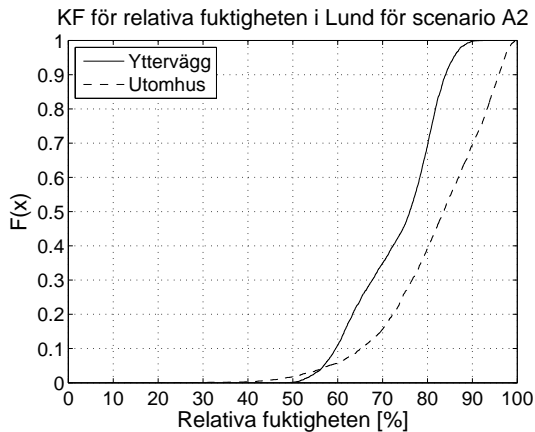
Figur 193 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Göteborg under åren 1960-1969 för scenario A2



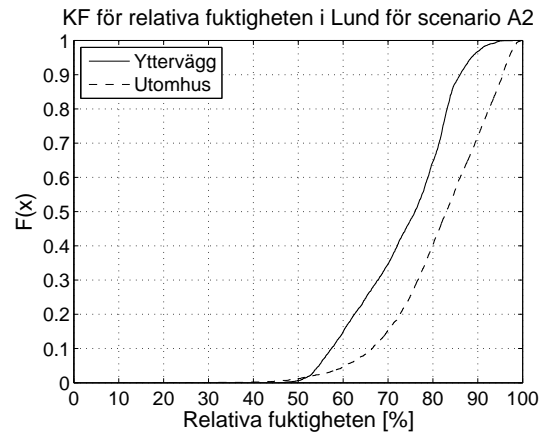
Figur 194 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Göteborg under åren 2030-2039 för scenario A2



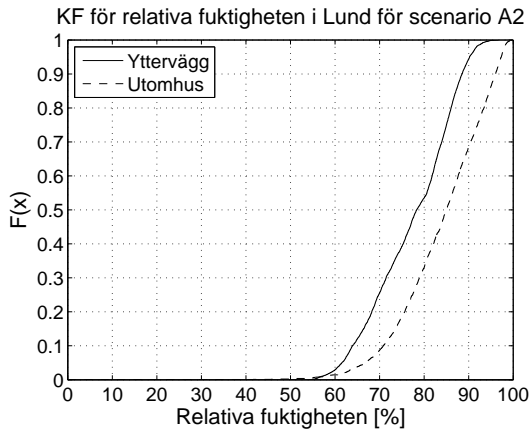
Figur 195 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Göteborg under åren 2090-2099 för scenario A2



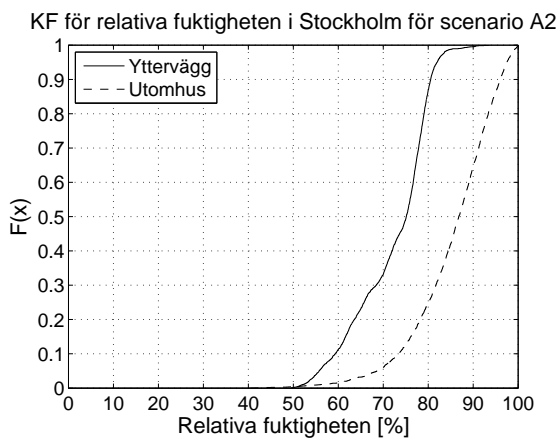
Figur 196 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Lund under åren 1960-1969 för scenario A2



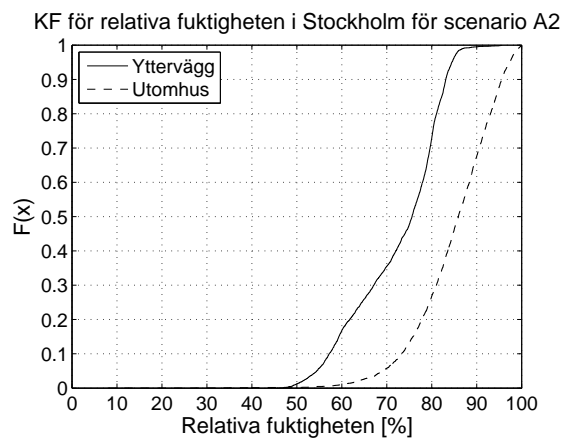
Figur 197 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Lund under åren 2030-2039 för scenario A2



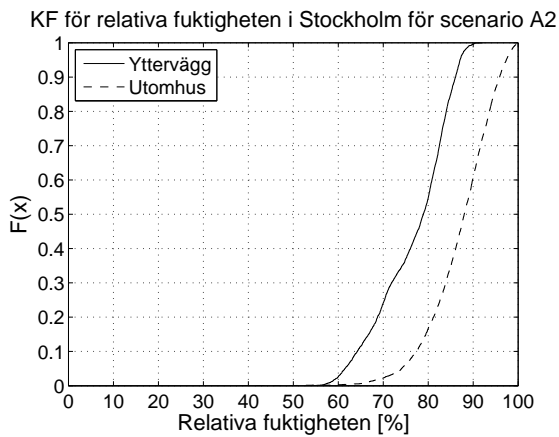
Figur 198 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Lund under åren 2090-2099 för scenario A2



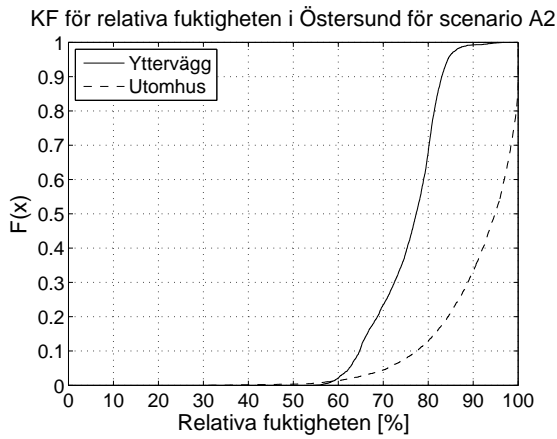
Figur 199 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Stockholm under åren 1960-1969 för scenario A2



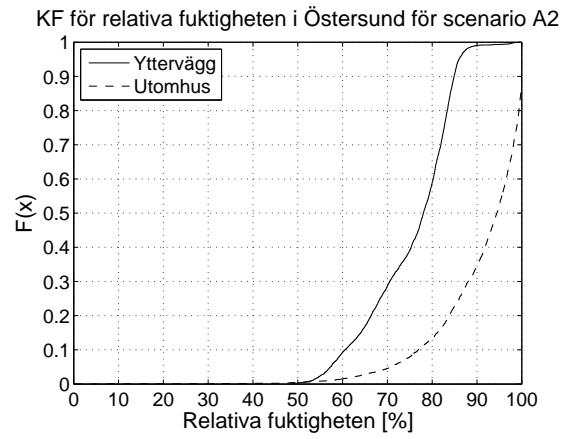
Figur 200 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Stockholm under åren 2030-2039 för scenario A2



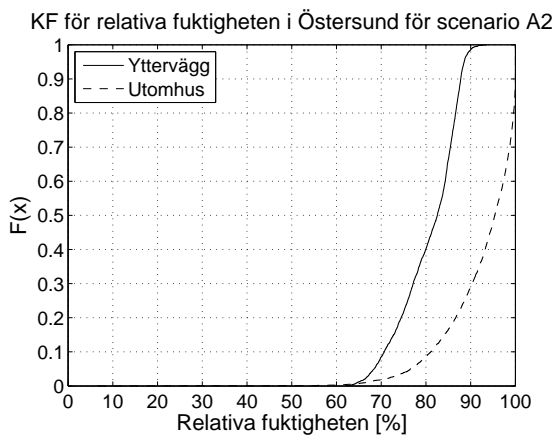
Figur 201 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Stockholm under åren 2090-2099 för scenario A2



Figur 202 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Östersund under åren 1960-1969 för scenario A2

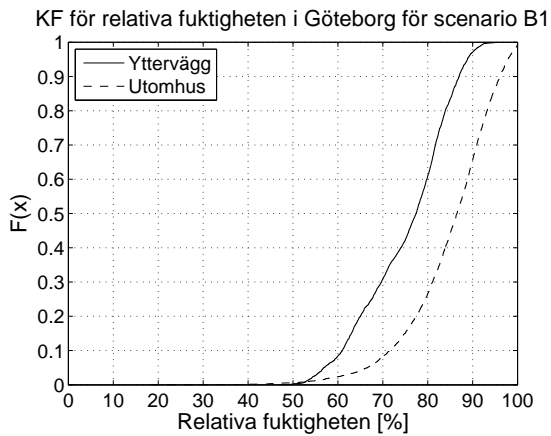


Figur 203 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Östersund under åren 2030-2039 för scenario A2

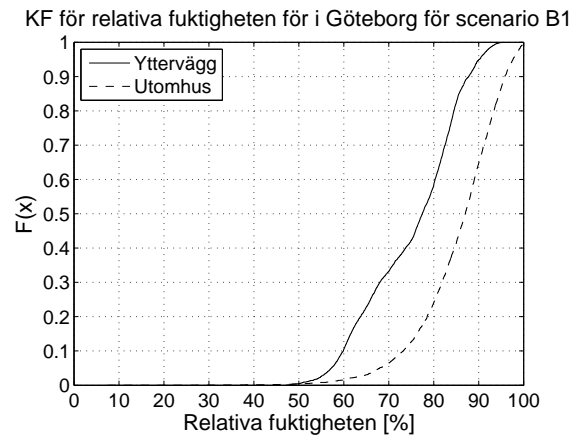


Figur 204 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Östersund under åren 2090-2099 för scenario A2

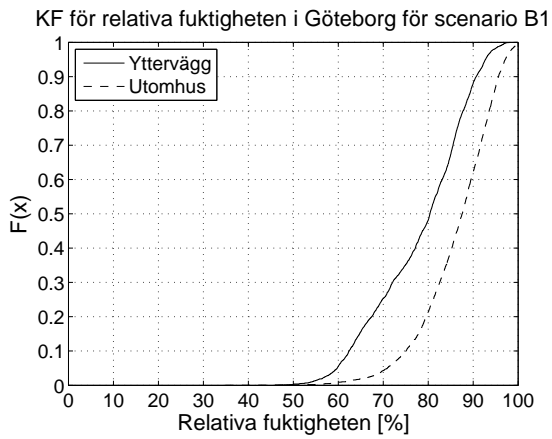
Scenario B1



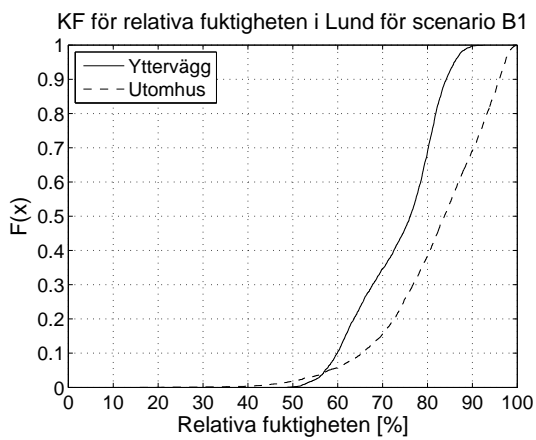
Figur 205 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Göteborg under åren 1960-1969 för scenario B1



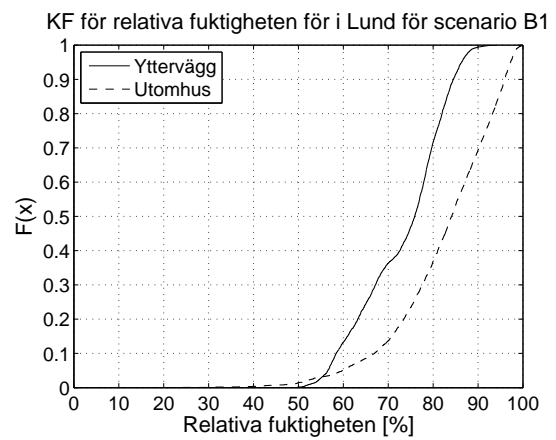
Figur 206 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Göteborg under åren 2030-2039 för scenario B1



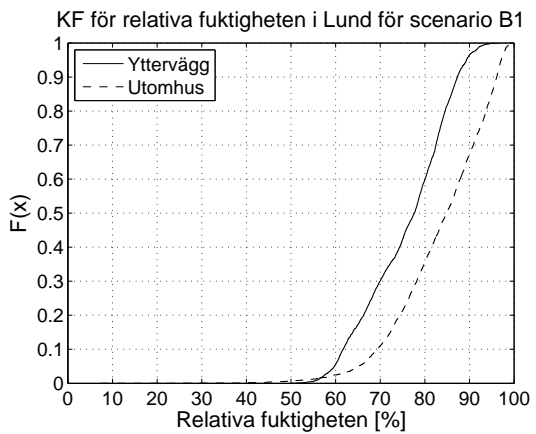
Figur 207 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Göteborg under åren 2090-2099 för scenario B1



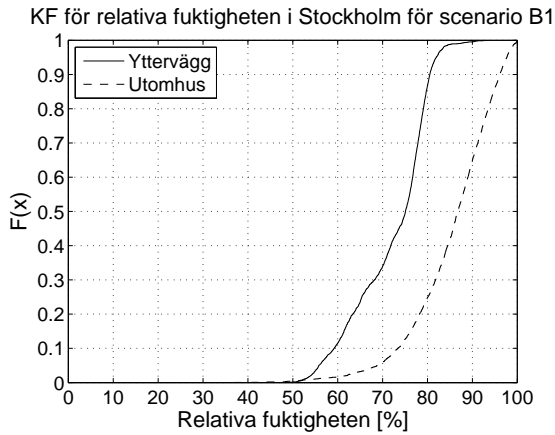
Figur 208 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Lund under åren 1960-1969 för scenario B1



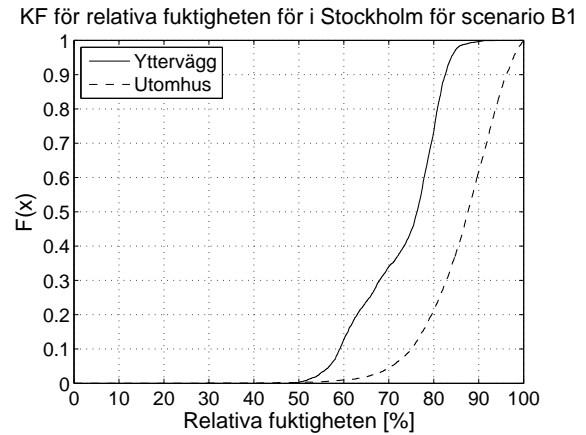
Figur 209 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Lund under åren 2030-2039 för scenario B1



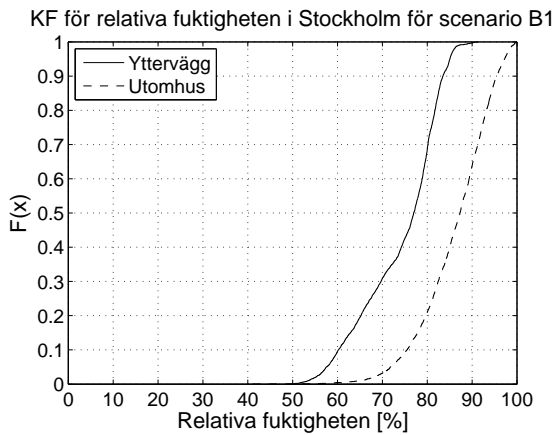
Figur 210 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Lund under åren 2090-2099 för scenario B1



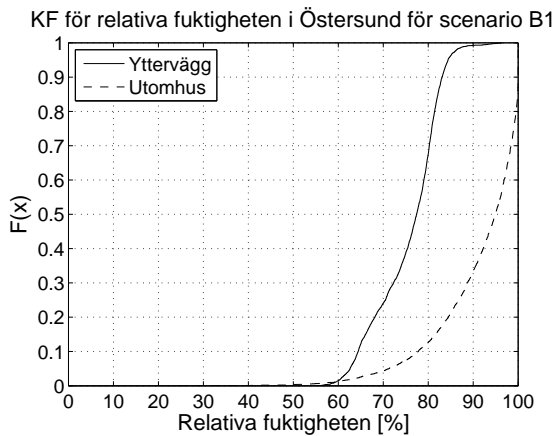
Figur 211 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Stockholm under åren 1960-1969 för scenario B1



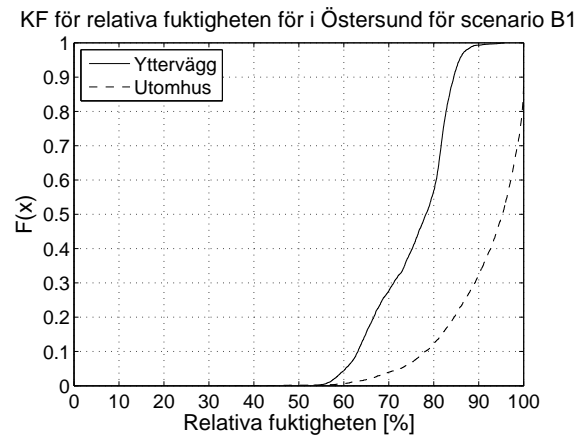
Figur 212 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Stockholm under åren 2030-2039 för scenario B1



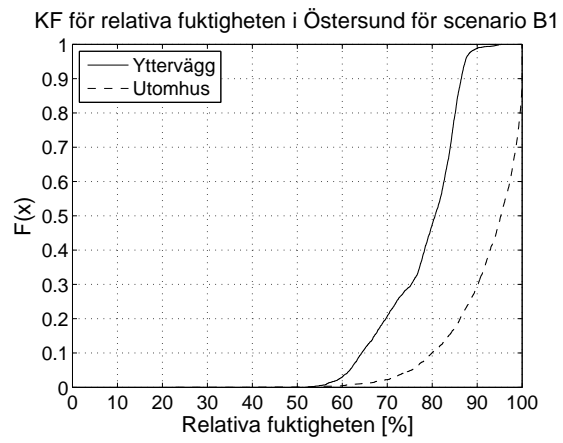
Figur 213 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Stockholm under åren 2090-2099 för scenario B1



Figur 214 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Östersund under åren 1960-1969 för scenario B1



Figur 215 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Östersund under åren 2030-2039 för scenario B1



Figur 216 Kumulativ fördelning för relativa fuktigheten i Östersund under åren 2090-2099 för scenario B1