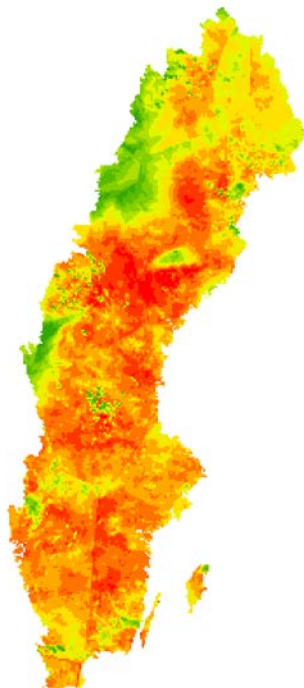


Högupplösta nederbördsdata för hydrologisk modellering: en förstudie

Jonas Olsson, Johan Södling, Fredrik Wetterhall



HYDROLOGI Nr 116, 2013

Högupplösta nederbördsdata för hydrologisk modellering: en förstudie

Jonas Olsson, Johan Södling, Fredrik Wetterhall

Sammanfattning

Hydrologisk modellering vid SMHI utförs normalt med tidssteget 1 dygn. Emellertid finns idag förutsättningar för både simulering och prognos på kortare tidssteg, dels genom en rumsligt högupplöst hydrologisk modell (S-HYPE), dels genom högupplösta indata. I denna förstudie har olika typer av observationsbaserade, högupplösta indata (främst nederbörd) inventerats, sammanställts och utvärderats på olika tids- och rumsskalor: automatstationsdata, PTHBV, MESAN, radardata. En ny produkt kallad PTHBV-radar har tagits fram, i vilken PTHBVs dygnsnederbörd fördelats över dygnet m.h.a. radarobservationer. De olika datatyperna testades vid hydrologisk simulering med HYPE-modellen i ett mindre avrinningsområde.

För långa ackumulationstider (år, månad) ger PTHBV högre värden än MESAN. Radardata har tydliga artefakter, t.ex. i gränser mellan radarer, men regionala medelvärden överensstämmer med övriga källor. Vad gäller 1-h nederbörd är den genomsnittliga överensstämmelsen med automatstationsdata bäst för MESAN, följt av PTHBV-radar och radar. Den rumsliga utjämningen i MESAN leder dock till lägre värden på maximala nederbördsintensiteter, i detta avseende ligger PTHBV-radar och radar närmare automatstationsdata.

De hydrologiska 1-h simuleringarna med MESAN och PTHBV-radar som indata gav en förbättring av resultatet på dygnsbasis, jämfört med en referenssimulering med PTHBV som indata. Nederbörd från radar gav överskattad vattenföring. Skillnaderna mellan 1-d och 1-h simulering illustrerades för enskilda flödestillfällen samt i termer av maximala dygnsvärden.

Summary

Hydrological modeling at SMHI is generally done with a daily time step. However, today simulation and forecasting with a shorter time step is possible, through a spatially highly resolved hydrological model (S-HYPE) as well as high-resolution input data. In this preliminary study, different types of observation-based, high-resolution input data (mainly precipitation) have been invented, compiled and evaluated at different temporal and spatial scales: automatic stations, PTHBV, MESAN, radar data. A new product called PTHBV-radar has been developed by distributing the daily precipitation in PTHBV over the day using radar observations. The different types of data were tested in hydrological simulation by the HYPE model in a small catchment.

For long accumulation times (year, month) PTHBV gives higher values than MESAN. Radar data have distinct artifacts, e.g. in the border between radars, but regional mean values agree with other sources. Concerning 1-h precipitation, the overall agreement with automatic station data is best in MESAN, followed by PTHBV-radar and radar. The spatial smoothing in MESAN however generates lower values of maximum intensities, in this respect PTHBV-radar and radar are closer to the station data.

The hydrological 1-h simulations with MESAN and PTHBV-radar as input data improved performance evaluated on a daily basis, as compared with a reference simulation with PTHBV as input data. Using radar precipitation as input generated an overestimated discharge. The differences between 1-d and 1-h simulations were illustrated for single high flows and in terms of maximum daily values.

Innehållsförteckning

1	INTRODUKTION.....	1
2	SYFTE	1
3	DATAKÄLLOR	2
3.1	PTHBV.....	2
3.2	Automatstationer	2
3.3	MESAN	3
3.4	Radar.....	4
3.5	PTHBV-radar.....	5
3.6	Interpolering	5
4	METODIK	6
5	UTVÄRDERING AV NEDERBÖRD	7
5.1	Årsmedelnederbörd	7
5.2	Månadsmedelnederbörd	8
5.3	Dygnsnederbörd	10
5.4	1-h nederbörd.....	11
6	UTVÄRDERING AV VATTENFÖRING	20
6.1	Område och data.....	20
6.2	Simulering med HYPE-modellen.....	23
7	SAMMANFATTANDE SLUTORD.....	27
8	TACKORD	28
9	REFERENSER	28

1 Introduktion

Hydrologiska simuleringar och prognoser vid SMHI görs huvudsakligen med tidssteget 1 dygn. Det är tillräckligt för att beskriva vattenföringens tidsmässiga variationer i större och/eller sjörika (hydrologiskt ”tröga”) avrinningsområden. I dessa områden är vattenföringens variation inom ett dygn liten eller måttlig och avvikelserna från dygnsmedelvärdet således begränsade. Tidssteget 1 dygn har också varit väl anpassat till förekomsten av meteorologiska observationsstationer som mäter på dygnssteg.

I vissa avrinningsområden kan emellertid vattenföringen variera kraftigt inom ett dygn. Detta gäller alla små områden, oavsett karaktär, men kan även gälla ett större område, t.ex. om jorden är väldigt tunn eller om det är av urban karaktär med stor andel hårdgjord yta. I detta fall är avvikelserna från dygnsmedelvattenföringen stora och kortvariga höga flödestoppar kan skapas, främst av lokalt häftig nederbörd som t.ex. en åskskur. Dessa lokala flödestoppar kan leda till översvämningar (”flash floods”) och även ha stor betydelse för andra hydrologiska processer såsom näringsämnesläckage. Det finns därför ett behov av hydrologisk modellering också på kortare tidssteg.

En del studier har tidigare utförts vid SMHI i vilka HBV-modellen (Bergström, 1976; Lindström m.fl., 1997) körts och utvärderats med kortare tidssteg än ett dygn. För drygt tio år sedan testades modellen med tidsstegen 1 h, 6 h, 12 h och 24 h i ett antal svenska områden samt ett tyskt och ett schweiziskt. Ett antal aspekter av HBV-modellens parametrering analyserades med avseende på effekter vid övergång mellan olika tidssteg. I samband med utvärdering av radarobserverad nederbörd för hydrologisk modellering gjorde Johansson m.fl. (2006) 6-h simuleringar i 17 svenska områden. Användandet av radarobservationer av god kvalitet befanns öka möjligheten till simulering på kort tidssteg, dock krävs omfattande kvalitetskontroll och korrigering av radardata.

I denna rapport redovisas en ny förstudie av möjligheten till högupplöst hydrologisk modellering. Behovet av kort tidssteg har aktualiserats i och med uppsättningen av HYPE-modellen (Lindström m.fl., 2010) för Sverige uppdelat i ~40 000 delområden (S-HYPE). För att få ett verkligt mervärde av denna höga rumsliga upplösning krävs en motsvarande ökning också av tidsupplösningen. Jämfört med HBV-modellen förväntas vidare HYPE-modellen bättre kunna beskriva snabba flödesförändringar p.g.a. dess explicita beskrivningar av olika flödesvägar och dess mera detaljerade beskrivning av olika markskikt.

Även på indatasidan finns idag förbättrade förutsättningar. Dels i form av bättre observationer, främst radardata med förbättrade korrigeringsmetoder men också tämligen långa (knappt 20 år) tidsserier med korttidsnederbörd (15 min) från automatstationer som möjliggör meningsfull statistisk analys. Dels i form av nya högupplösta prognosprodukter, t.ex. SMHIs korta nederbördsprognoser (KNP; Ridal m.fl., 2011) och systemet Grand Limited Area Model Ensemble Prediction System (GLAMEPS; Iversen m.fl., 2011).

Denna rapport fokuserar främst på utvärdering och jämförelser av olika typer av observerad nederbörd på tidssteg 1 h. I en fallstudie används olika nederbördsobservationer för 1 h hydrologisk simulering med HYPE i ett utvalt avrinningsområde. Avslutningsvis lämnas några rekommendationer för fortsatt utveckling.

2 Syfte

Förstudien har haft följande syften:

- Kartlägga vilka tillgängliga datakällor för temperatur och nederbörd som är potentiellt användbara för högupplöst (1-h S-HYPE) hydrologisk modellering. Kraven är hög upplösning i både tid och rum samt hög tillförlitlighet.
- Sammanställa en nationell databas för den maximalt överlappande perioden mellan datakällorna.

- Analysera, vid behov korrigera, samt jämföra dessa datakällor (främst nederbörd).
- Utveckla metodik för att skapa 1-h drivdata till HYPE, för både temperatur och nederbörd, samt skapa drivdata för en fallstudie.
- För ut utvalt testområde köra HYPE med dessa drivdata och utifrån jämförelse med observerad vattenföring illustrera potentiellt mervärde av 1-h simulering jämfört med simulering på dygnsbasis.

3 Datakällor

Som referensdata har databasen PTHBV på tidssteg ett dygn (avsnitt 3.1) använts. Tre datakällor har studerats på tidssteg 1 h: automatstationer, MESAN och radar. Dessutom har en kombinerad produkt PTHBV-radar skapats och utvärderats. För vissa jämförelser har 1 h data aggregerats till dygnssteg (06:00-06:00) för att överensstämja med PTHBV. En översikt av de grundläggande datatyperna ges i Tabell 1 och mera detaljerad beskrivning i avsnitt 3.1-3.4.

Tabell 1: Sammanfattning av de produkter som använts i detta projekt.

Produkt	Data	Tidssteg	Rumsupplösning	Tillgänglig tidsperiod
PTHBV	Nederbörd, temperatur	1 dygn	4×4 km	Från 1961-01-01
Automatstationer	Nederbörd, temperatur	1 timme	c:a 130 platser i Sverige	Från c:a 1995 och framåt, varierar mellan stationer
MESAN	Nederbörd, temperatur	1 timme	22×22 och 11×11 km	Från 1997-12-01
Radar	Nederbörd	1 timme	2×2 km	Från 2006-03-09

3.1 PTHBV

PTHBV är en produkt som innehåller nederbördsdata och temperaturdata på dygnsupplösning (Johansson, 2002). Syftet med PTHBV-databasen är att dess data ska användas till den hydrologiska modellen HBV. Även HYPE-modellen (se avsnitt 5) använder sig av drivdata från PTHBV. Både nederbördsdata och temperaturdata skapas genom att stationsdata interpoleras till ett rutnät via optimal interpolation till ett 4×4 km rutnät. Optimal interpolation är en metod som påminner mycket om interpolationsmetoden kriging, där man bland annat använder information från kovariansmatrisen för stationstidsserierna för att tilldela vikter till stationerna (Gandin, 1965). I interpolationsmetoden utnyttjas även data om altitud, vindfrekvenser och vindriktning för att få mer tillförlitliga värden på nederbörd och temperatur. Innan interpoleringen korrigeras nederbördsdata för mätförluster.

PTHBV-data levereras både som en realtidsprodukt och som en produkt vars data blivit korrigerad med rättade meteorologiska observationer. Den senare har använts i detta projekt.

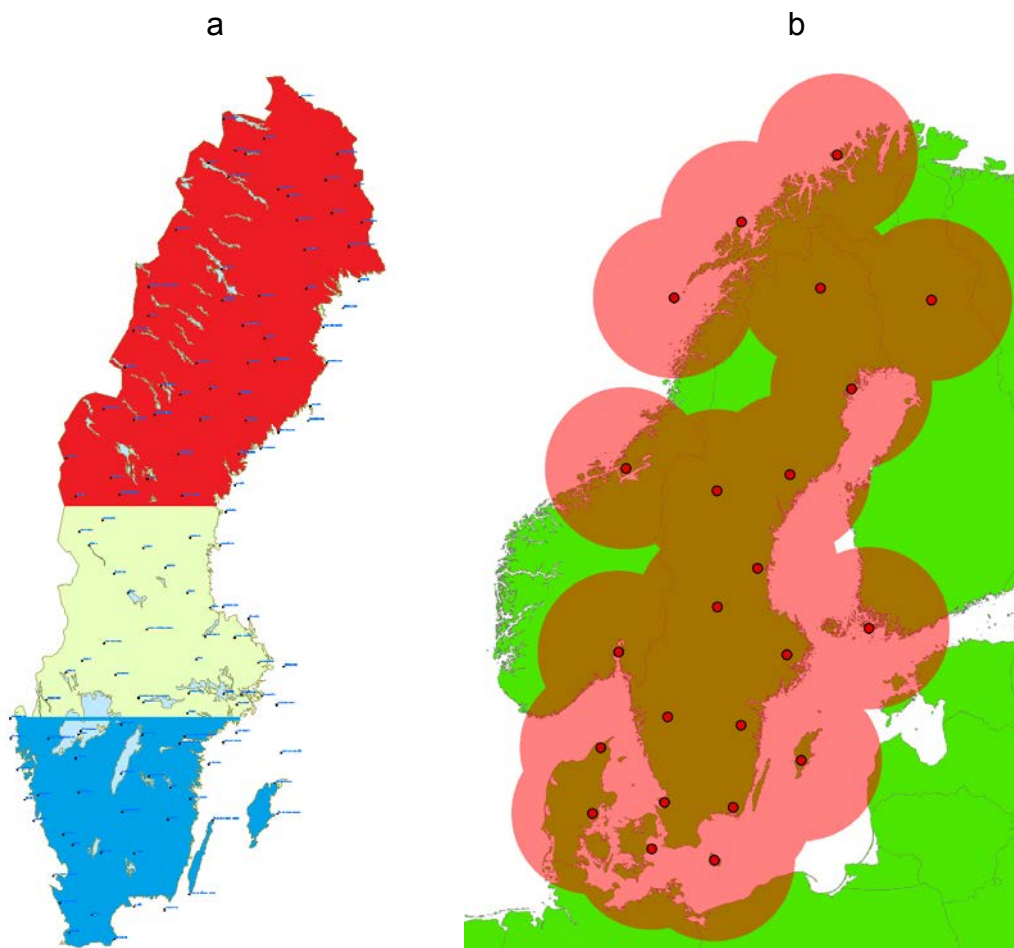
3.2 Automatstationer

Det finns c:a 130 automatstationer i Sverige som levererar nederbördsdata på hög tidsupplösning på 15 min (Figur 1). De automatstationer som används av SMHI mäter nederbörden genom vägning. Ett mätkärl är upphängt i två kedjor, samt en givare bestående av en sträng. När nederbörd hamnar i mätkärlat så sätts givaren i svängning och utifrån dess svängfrekvens kan man beräkna nederbörden. Denna beräkning sker automatiskt.

Ett problem man behöver ta hänsyn till vad gäller automatstationer är avdunstningen. Automatstationerna har därför en tratt med ett tunt lager oljefilm som samlar upp nederbörd. Tratten minskar arean av det ansamlade vattnet som har direkt kontakt med luften ovanför, och därigenom minskas avdunstningen markant.

Som oberoende kvalitetskontroll används optiska nederbördsgivare. Dessa sänder ut ljussignaler som sedan reflekteras tillbaka. Sedan mäts brytning och absorption på den reflekterade ljussignalen, och utifrån detta beräknas nederbörden. Tekniken påminner på många sätt om hur radarer mäter nederbörd. Detta mått är oberoende av det nederbörds mått man får från stränggivaren, så därför fungerar det som en oberoende validering av mätvärden.

I praktiken saknas periodvis data från automatstationerna. Mängden saknade värden varierar mellan stationer och tidsperioder, men är oftast mellan 1% och 5% per station och år. Saknade



Figur 1. SMHI:s nät av automatstationer samt den indelning av Sverige i regionerna Götaland (blå), Svealand (grön) och Norrland (röd som använts (a). Radarnätverket Nordrad med en radie av 200 km inritad runt varje radar (b).

värden kan bero på att automatstationen inte levererade tillförlitlig data under denna tidsperiod, eller att apparaturen var trasig. Rättning av data utfördes enligt Wern och German (2009).

3.3 MESAN

MESAN står för "MESoskalig ANalys" och är ett sammanfattande namn för en analysprodukt som innehåller ett flertal klimatologiska variabler, bland annat nederbörd och temperatur (Häggmark och Ivarsson, 1997). MESAN finns både som realtidsprodukt och som klimatprodukt. I realtidsprodukten används klimatmodellen HIRLAM (Källén, 1996) som bakgrundsfält, och denna produkt har därför HIRLAMs rumsupplösning, som var 22×22 km innan 2006-06-01 och 11×11 km därefter. Observationer i form av 12 h ackumulerad nederbörd från synoptiska stationer används som ytterligare information i analysen. Klimatprodukten använder sig istället av 24 h ackumulerad nederbörd från synoptiska stationer samt rättad data från klimatstationer. Första gissningen för klimatprodukten är 12 h realtidsanalysen. MESAN

levereras i ett antal tidsupplösningar, men i detta projekt har vi endast fokuserat på den MESAN-produkt som levereras på 1 h tidssteg.

Både nederbördsdata och temperaturdata från MESANs realtidsprodukt användes i detta projekt. MESAN väger samman ett flertal observationsdatakällor i nederbördsdata. Nedan följer en kort sammanfattning av vilka produkter som ingår i MESANs nederbörds- och temperaturdata:

- HIRLAM-prognoser används som en första gissning, det vill säga som en grund att bygga vidare på. Syftet är att få god rumslig upplösning, framför allt i områden med få observationer.
- Radarobservationer som interpolats till ett rutnät används, korrigerade via en funktion som tar hänsyn till mättningsångtrycket vid aktuell temperatur samt den vertikalkvind som uppstår p.g.a. markens topografi. Även en korrektion av nederbördsdata med hänsyn till avståndet från radarn utförs.
- Stationsdata ger ytterligare information om nederbörd och temperatur i diskreta punkter.

Beskrivningen av fel i data varierar som en funktion av rådande vädersituation (eller nederbördsmängd). Det är baserat på ett statistiskt fastställt samband mellan vind, orografi och variationer i friktion och latitud. Ungefär 50% av den observerade klimatologiska variansen kan förklaras (Häggmark och Ivarsson, 1997).

3.4 Radar

Radar är en intressant källa till nederbördsdata med dess höga tids- (15 min) och rumsupplösning (2×2 km²). Huvudsakliga nackdelar med radar som nederbördsmätare är dels osäkerheten vid konvertering från reflektivitet till nederbördsintensitet, olika störningar i form av t.ex. markekon och blockeringar samt ökad osäkerhet med ökat avstånd från radarn. Till denna förstudie valdes radarprodukten "Nordrad ackumulerad nederbörd" (Michelson, 2006) som har följande specifikationer:

- Rumsupplösningen är 2×2 km.
- Tidsupplösningen på produkten är 1 h.
- Data är ackumulerad nederbörd per timme baserat på 15 minuters ögonblicksobservationer av radarsignal.
- Data skapas genom att interpolera data från ett flertal Europeiska radarer (i synnerhet alla radarer som har täckning över Sverige) via kriging till ett 2×2 km gridnät.
- Nederbörden är angiven på höjden 0 m över havsnivån.
- Nederbördsdata är regnmätarjusterad, molnfiltrerad och blockeringskorrigerad. Nederbördsjusteringen inkluderar en rumslig korrektionsfaktor baserad på stationsdata viktad mot en första gissning som beror av avståndet till närmsta radarstation (Michelson och Koistinen, 2000).
- Denna produkt finns tillgänglig från och med 2006-03-09.

En grov kontroll gjordes av datamaterialet varvid en del orimliga data hittades, t.ex. nederbördsintensiteter på >400 mm/timme. Datamaterialet behandlades i två steg i syfte att få bort dessa felaktigheter:

1. Om det för något tidssteg registrerades en nederbördsintensitet på över 100 mm/h så togs detta värde bort ur materialet. Ett nytt värde skapades genom att medelvärdesbilda från de åtta intilliggande gridrutorna. Hypotesen här är att dessa värden är orimligt höga och att ett rimligare värde fås från medelvärdesbildningen.
2. Om en punkt i rummet för något tidssteg har en nederbördsintensitet som skiljer sig med mer än 10 mm/h jämfört med den av de åtta närliggande gridrutor som har närmast nederbördsintensitet så togs detta värde bort ur materialet. Ett nytt värde skapades genom att medelvärdesbilda från de åtta intilliggande gridrutorna. Hypotesen här är att dessa värden skiljer sig orimligt mycket från närliggande punkter och att ett rimligare värde fås från medelvärdesbildningen.

Gränserna för orimliga värden på intensiteter och gradienter är grovt uppskattade och utvärderade via enkla tester. En mera djupgående analys av felaktigheter i materialet och utveckling av mera avancerad korrigeringsmetodik bör ske i framtida applikationer.

3.5 PTHBV-radar

Denna produkt konstrueras utifrån PTHBV (avsnitt 3.1) och radar (avsnitt 3.4). För varje PTHBV-gridruta identifieras de fyra radarpunkter som ligger i denna ruta (radar och PTHBV har samma koordinatsystem och sammanfaller därför över hela området). Sedan beräknas nederbördsmedelvärdet av dessa fyra rutor, för varje timme. Detta ger data för radarprodukten nederbörd för varje PTHBV-ruta, med ett värde per timme. Genom att dela nederbörden en viss timme med dygnstotalen fås hur stor andel som registrerades just denna timme; detta görs för samtliga timmar. PTHBV-nederbörden fördelas sedan över dygnets timmar i enlighet med de beräknade andelarna. I slutprodukten PTHBV-radar matchar den ackumulerade dygnsnederbörden PTHBV medan nederbördsfördelningen timme för timme följer radarprodukten.

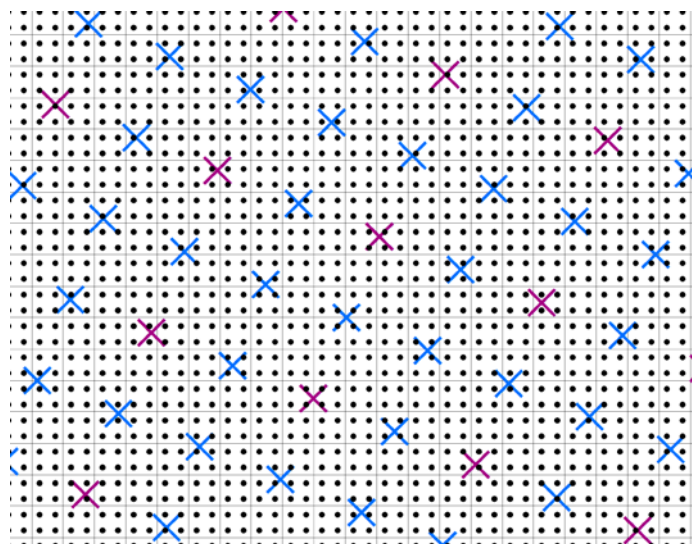
Om det i någon gridruta rapporteras nederbörd från PTHBV men inte från radar så fördelades nederbörden över dygnets timmar utifrån den totala nederbördstrenden för Sverige det dygnet.

3.6 Interpolering

De olika grid-baserade datakällorna har alltså olika rumslig upplösning och använder dessutom olika koordinatsystem (Figur 2). PTHBV-gridnätet och radar-gridnätet ligger längs RT90-axlarna. Varje PTHBV-gridruta innehåller fyra radarpixlar. Gridnäten för de två MESAN-produkterna följer inte några räta linjer i RT90-systemet, utan löper diagonalt över Sverige längs böjda linjer enligt HIRLAMs roterade grid.

För att underlätta datajämförelsen interpolerades all data till PTHBV:s grid. För radardatan togs för varje PTHBV-ruta medelvärdet av de fyra radarpixlar som ligger i PTHBV-rutan. För att överföra MESAN-data till PTHBV-gridnätet utfördes en viktningsinterpolering som innehöll följande steg:

1. Thiessen-polygoner konstruerades för varje MESAN-pixel. Dessa polygoner refereras härnäst till som MESAN-polygonerna.



Figur 2. Illustration över de olika produkternas gridnät. Kvadraterna är PTHBV-gridrutor, svarta prickar är radarpunkter, lila kryss är MESAN 22 km och blå kryss är MESAN 11 km.

2. För varje PTHBV-gridruta beräknades vilka MESAN-polygoner den skär. För var och en av dessa beräknades hur stor andel av PTHBV-rutan som låg i denna MESAN-polygon.

3. MESAN-data överfördes till PTHBV-gridnätet genom att gå igenom alla PTHBV-rutor, och för varje PTHBV-ruta addera ihop data från de MESAN-polygoner som rutan låg i, viktat mot andelen av rutan som låg i MESAN-polygonen.

4 Metodik

I studien har nederbörd jämförts och utvärderats på olika tidsskalor mellan år och timmar. Dessutom har vattenföring simulerats och utvärderats på dygns- och timsskala. Olika metoder har använts på de olika skalorna. För de längre skalorna (år, månad) har data aggregerats och medelvärdesbildats till års- eller månadsvärden, som därefter plottats i kartform (årsmedelvärden) eller som årsmedelcykel (månadsmedelvärden). För de kortare skalorna (dygn, timmar) har tidsserier jämförts dels i termer av empiriska percentiler, dels en uppsättning statistiska standardmått som översiktligt beskrivs i det följande.

Låt n beteckna antalet värden i de båda tidsserier som ska jämföras samt x_i och y_i värdena för tidssteg i . Definiera medelvärdena $\bar{x}$ och $\bar{y}$ som

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{och} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (1)$$

Då kan korrelationskoefficienten r_{xy} uttryckas som

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

En variant på korrelationskoefficienten är Spearmans rangkorrelation. I denna används i (2) inte själva värdena utan deras rang i stigande ordning, d.v.s. det minsta värdet får rang 1, det näst minsta rang 2, o.s.v.

Några vanliga mått på överensstämmelse mellan observerade och simulerade data är MAE (*Mean Absolute Error*), definierat som

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|}{n} \quad (3)$$

och RMSE (*Root Mean Square Error*), definierat som

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (4)$$

Ett besläktat mått som ofta används inom hydrologin är NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency index*; Nash och Sutcliffe, 1970), definierat som

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

där x i detta fall betecknar observerad vattenföring och y simulerad vattenföring. Måttet, som ibland även kallas R^2 på grund av dess likhet med definitionen av R^2 inom statistik, ger ett generellt mått på anpassningen mellan simulerade och observerade flöden och straffar överlag mer få stora än många små avvikelser. Notera att NSE antar värdet 0 om medelvärdet av det observerade flödet ger lika bra resultat som den simulerade tidsserien.

Som komplement till NSE används ofta måttet RE (*Relative Error*), även kallat volymfel, som beskriver vattenbalansen för simuleringen. Ett positivt värde innebär en systematisk överskattning av vattenföring i modellen och ett negativt värde betyder en underskattning. RE definieras som

$$RE = \frac{y_{sum} - x_{sum}}{x_{sum}} \quad (6)$$

där

$$x_{sum} = \sum_{i=1}^n x_i \quad och \quad y_{sum} = \sum_{i=1}^n y_i \quad (7)$$

(även i (6) och (7) betecknar x observerad och y simulerad vattenföring).

5 Utvärdering av nederbörd

I detta avsnitt jämförs de olika datakällorna. Det bör påpekas att dessa inte är oberoende av varandra, t.ex. använder MESAN radarobserverad nederbörd och både MESAN och PTHBV använder sig av stationsdata för temperatur och nederbörd. Produkterna är således per konstruktion mer eller mindre starkt kopplade. Syftet med utvärderingen kan således inte vara validering mot någon "sanning" utan är i stället karakterisering av skillnader och analys av dessa skillnader med avseende på inverkan på hydrologisk modellering.

Den undersökta tidsperioden valdes till 2006-03-09 till 2010-01-31. Den undre gränsen beror på att radarprodukten inte finns tidigare än detta, och den övre gränsen beror på att tillgänglig radardata vid tidpunkten för jämförelsen slutade detta datum.

I avsnitt 4.1-4.3 jämförs de griddade produkterna sinsemellan (PTHBV, MESAN, Radar) på tidsskalor år, månad och dygn och i avsnitt 4.4 jämförs MESAN och Radar med automatstationsdata på 1 h skala.

5.1 Årsmedelnederbörd

I Figur 3 presenteras kartor över årsnederbörden för de olika produkterna, interpolerat till PTHBV-griddet. Notera att det är samma färgskala i alla kartor.

För PTHBV varierar årsmedelnederbörden mellan c:a 500 och 1500 mm under perioden (Figur 3). De lägsta mängderna finns främst i norra Norrland, inre Norrland samt södra Östersjökusten. De högsta mängderna finns i fjällkedjan och i västra Götaland. Den rumsliga fördelningen i MESAN är överlag likartad, dock med generellt lägre värden. De främsta skillnaderna mellan PTHBV och MESAN är att MESAN har dels avsevärt högre nederbörd i nordostligaste Norrland samt lokalt i inre Svealand, dels lägre nederbörd i norra fjällkedjan. Dessa skillnader kan tydligt kopplas till årsmedelnederbörden för Radar. Denna uppvisar väldigt hög nederbörd i nordostligaste Norrland och lokalt i inre Svealand, samt låg nederbörd i norra fjällkedjan. Allmänt syns skarpa gränser i övergången mellan olika radarer och stora lokala variationer. Det bör påpekas att dessa effekter vid ackumulering av radarnederbörd över långa tidsperioder är väl kända. Systematisk över- eller underskattning av nederbördsintensitet p.g.a. de osäkerheter och felkällor som finns (avsnitt 3.4) får stort genomslag över långa perioder. Radarobserverad nederbörd är inte avsedd för denna typ av analyser; syftet här är främst att visa på den tydliga kopplingen till MESAN. Dessutom kan, trots de uppenbara avvikelserna från övriga källor,

noteras att radardatan visar på mestadels rimliga nivåer för årsmedelnederbörden och en i åtminstone vissa avseenden representativ rumslig fördelning.

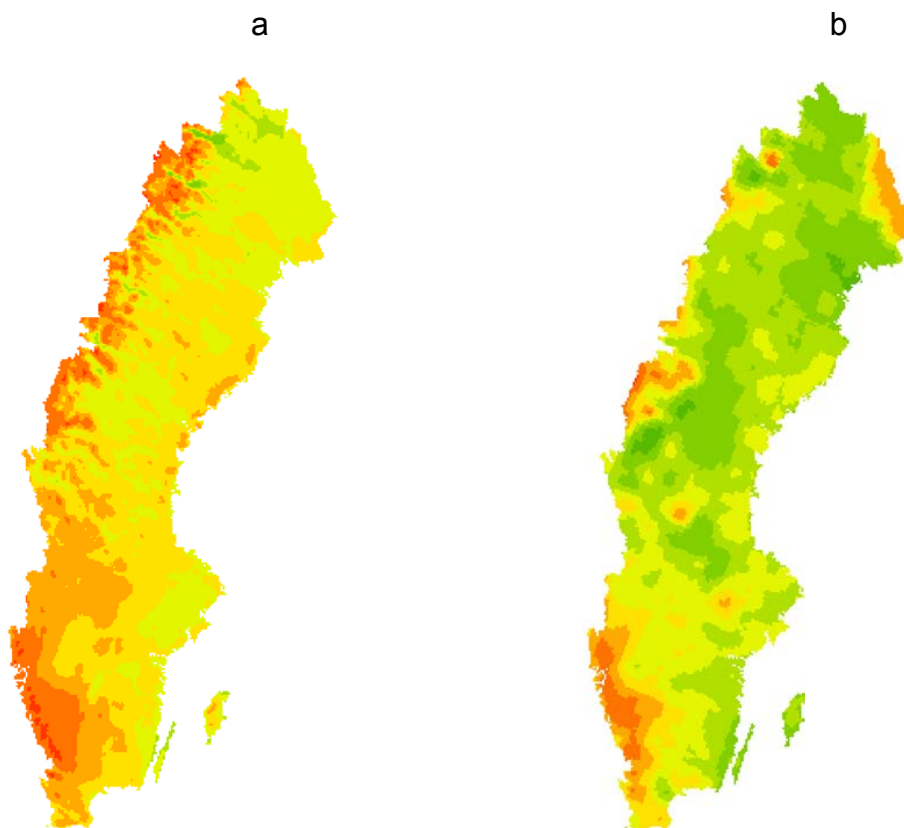
5.2 Månadsmedelnederbörd

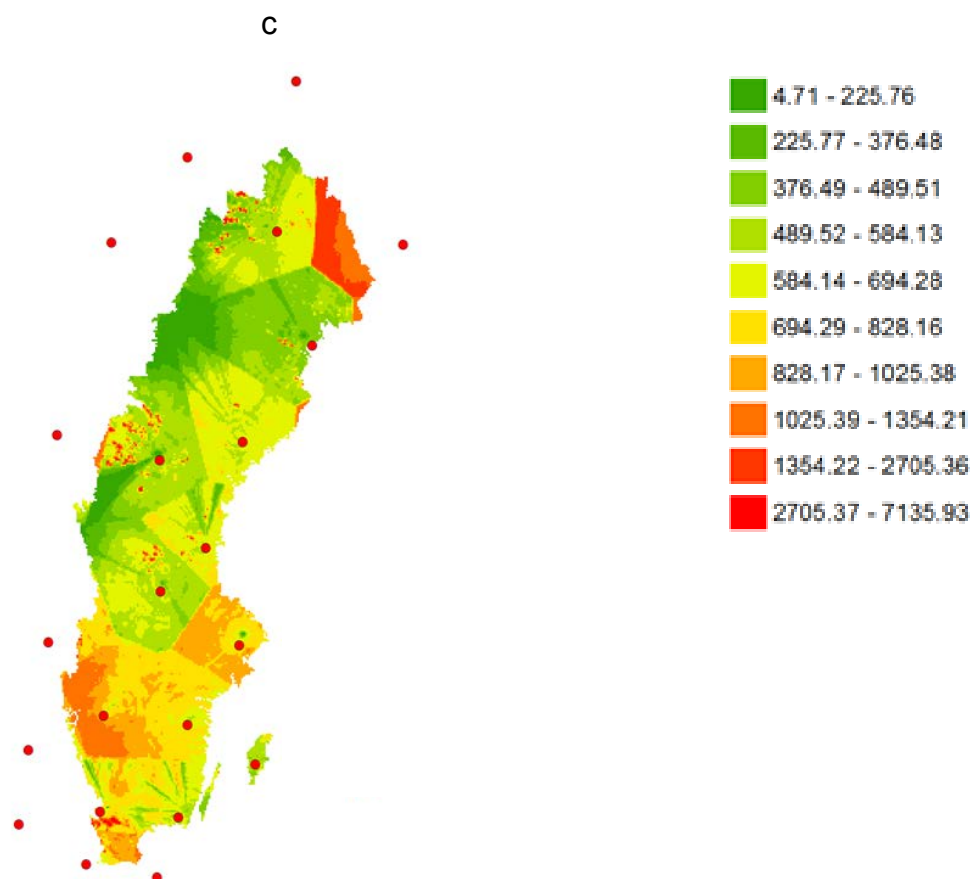
För jämförelse av månadsmedelnederbörd delades Sverige upp i Svealand, Götaland och Norrland enligt följande (se även Figur 1a):

- Götaland: Allting under RT90-X-koordinat 6540000.
- Svealand: Allting mellan RT90-X-koordinater 6540000 och 6880000.
- Norrland: Allting över RT90-X-koordinat 6880000.

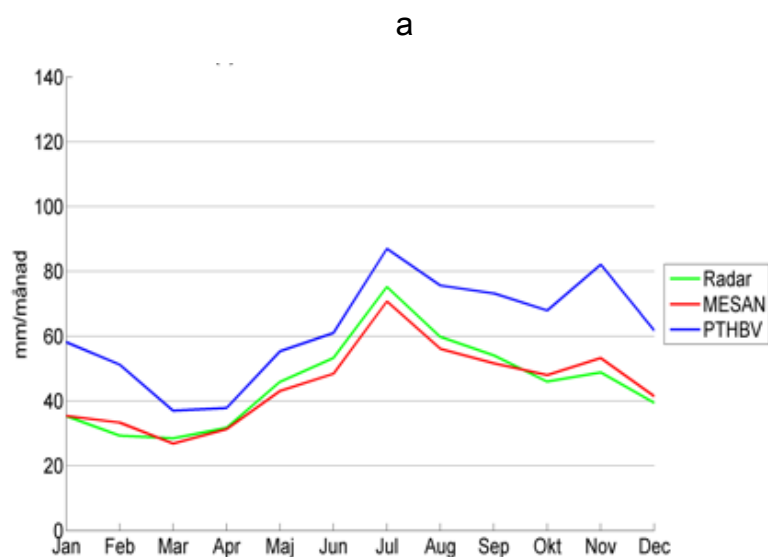
För Norrland ligger MESAN och Radar nära varandra under hela året, med ett minimum på c:a 30 mm i februari-mars och ett maximum på c:a 75 mm i juli (Figur 4a). PTHBV följer i stort sett samma mönster, men ligger konstant högre med c:a 10 mm under våren och upp till 20-30 mm under höst och vinter. Ett skäl till de högre värdena för PTHBV är den korrektion som görs för mätförluster (avsnitt 3.1). Att skillnaden är som störst vintertid kan bero på stora förluster, och motsvarande korrektion, vid snöfall.

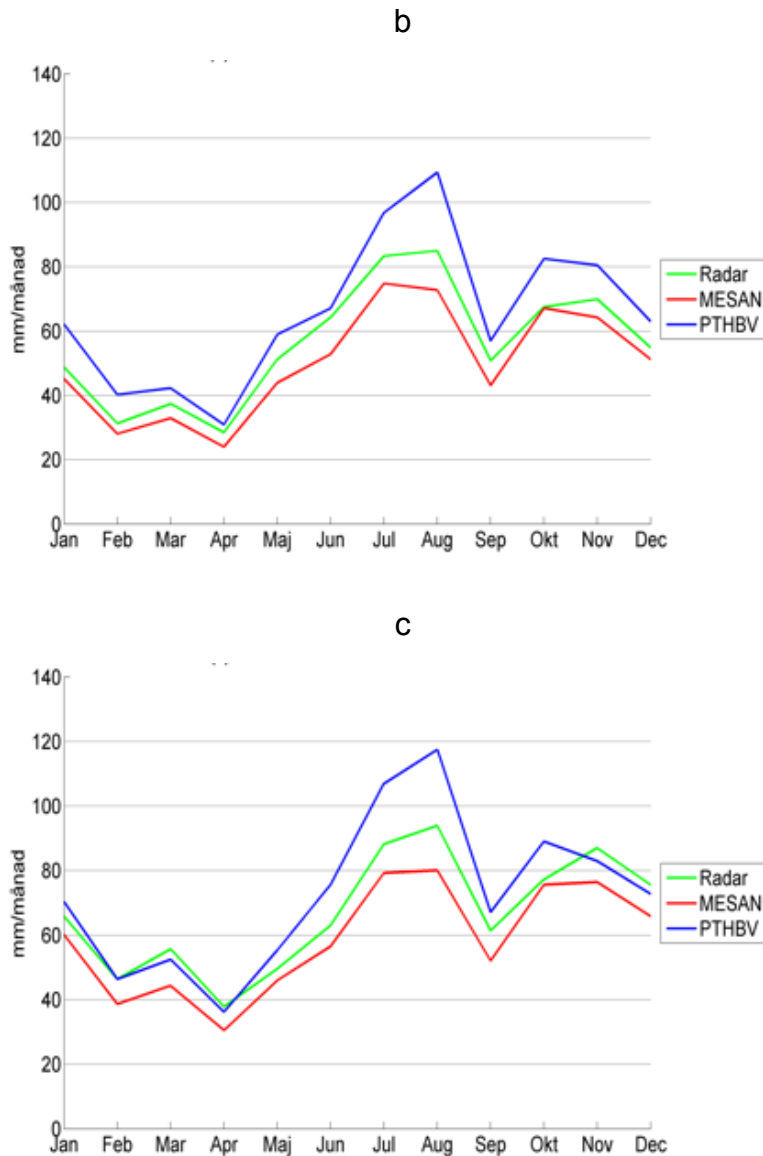
Även för Svealand har PTHBV genomgående den högsta månadsmedelnederbörden, men i detta fall är skillnaden som störst under sommarmånaderna juli-augusti. Skillnaden mellan MESAN och Radar är något större än i Norrland med konstant något högre värden för Radar.





Figur 3. Årsmedelnederbörd för PTHBV (a), MESAN (b) och Radar (c). Röda punkter i (c) anger positionen av radarerna.





Figur 4. Månadsmedelnederbörd för Norrland (a), Svealand (b) och Götaland (c).

För Götaland är situationen likartad den för Svealand. PTHBV ligger dock nära Radar under hela vinterhalvåret, men MESAN genomgående något lägre.

Totalt sett verkar således jämförelsen av månadsmedelnederbörd främst avspegla den korrektion för mätförluster som görs i PTHBV. Det är intressant hur väl Radar överensstämmer med PTHBV, med hänsyn taget till korrektionerna av den senare. Trots de rumsliga avvikelserna för årsmedelnederbörd i Radar (Figur 3) blir månadsnederbörden realistisk efter att ha utjämnats över större regioner. Detta indikerar att den nederbördsjustering som görs för Radar (avsnitt 3.4) fungerar väl på regional skala.

5.3 Dygnsnederbörd

Tidskorrelationen r_{xy} mellan produkternas dygnsvärden undersöktes per gridpunkt och resultaten presenteras i Figur 5. MESAN och radar har ganska hög korrelation för de områden som täcks väl av radardatan. PTHBV och Radar har däremot en generellt lägre korrelation på grund av deras oberoende mätmetoder. PTHBV och MESAN är överlag ganska starkt korrelerade med varandra (Figur 5c), vilket är på grund av att de är baserade på samma

stationsdata. Det är sämre korrelation mellan produkter i områden där det är svårt att få tillförlitlig nederbördsdata, i synnerhet Skanderna i västra och nordvästra delen av Sverige.

Notera att det i Figur 5a och c framträder ett ”rutmönster”. Dessa rutor är MESAN-griddet som ger sig tillkänna – trots att alla produkter interpolerats till PTHBV-griddet så kommer två PTHBV-rutor som ligger i samma MESAN-gridrutor att ha samma värde. Man kan även notera att man i korrelationskartorna där radarprodukten ingått kan se skarpa gränser från radarsignalerna.

För radarprodukten testades hypotesen att nederbördsdata i en utvald gridruta är mer tillförlitlig ju kortare avstånd den har till en radarstation. Detta verkar rimligt, då radarsignalen p.g.a. jordens krökning ökar i höjd över marken ju längre bort från stationen den befinner sig. Detta innebär att den kommer att få svårare och svårare att fånga nederbördsmönster ju längre bort från radarstationen strålen befinner sig.

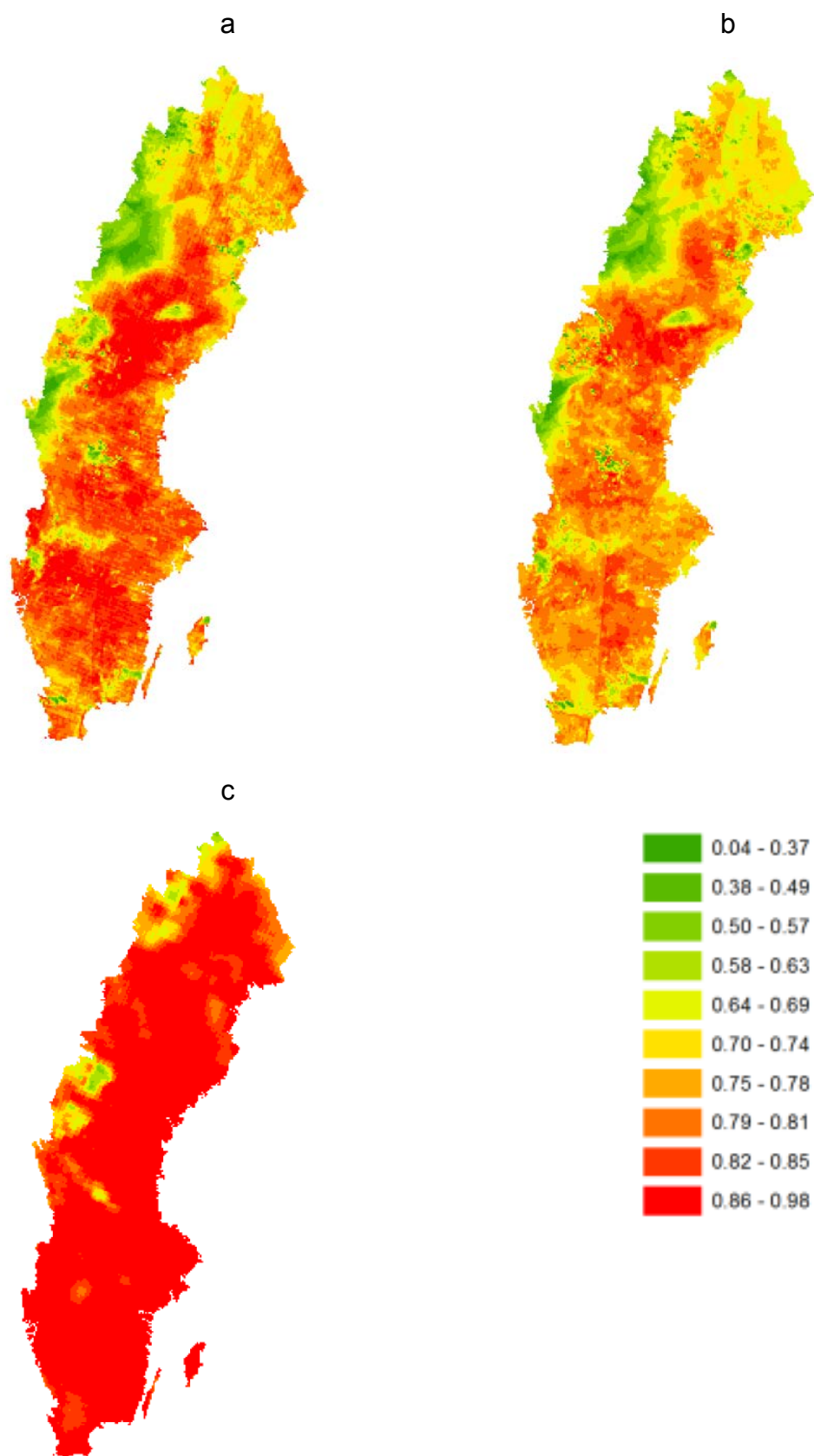
I Figur 6 plottas för varje gridruta i radarprodukten tidskorrelationen till PTHBV som en funktion av avstånd till närmsta radarstation. För gridrutor med mer än 150-200 km till närmsta radarstation syns en tydlig nedgång i korrelation till PTHBV-data. Notera att det enligt Figur 1b endast är ett litet område i nordvästra Sverige som har ett avstånd till närmsta radar som överstiger 200 km.

5.4 1-h nederbörd

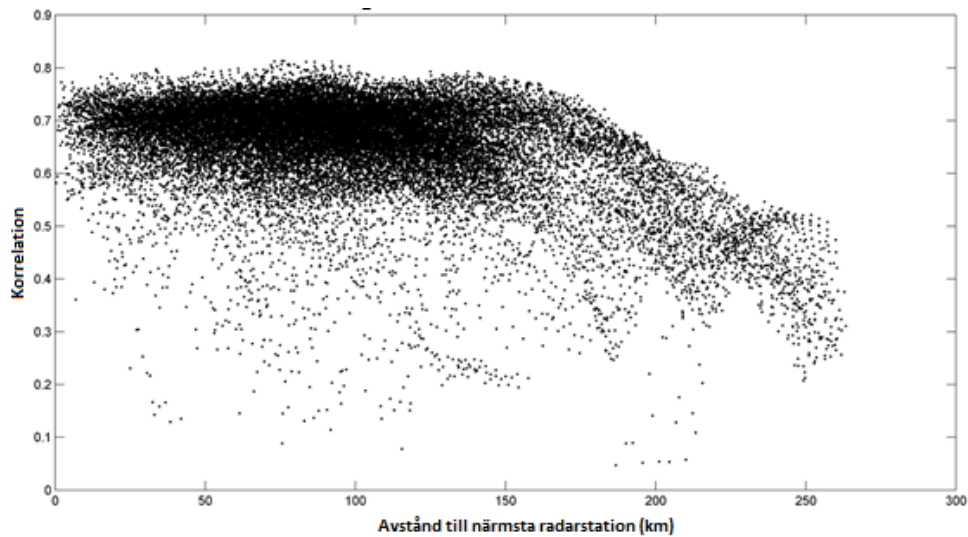
Nederbördsdata på 1 h upplösning från MESAN och Radar (som blivit granskad och korrigerad enligt avsnitt 3.4) och PTHBV-radar validerades med nederbördsdata från automatstationer. Tidsserier från c:a 100 automatstationer (se Figur 1a) fanns tillgängliga.

Figur 7 visar diagram över RMSE och Spearmans rangkorrelation mellan 1-h nederbördsdata från de griddade produkterna och från automatstationerna. För varje automatstation så har nederbördsdata från den gridruta som stationen ligger i använts. Varje x-koordinat i figuren motsvarar en automatstation.

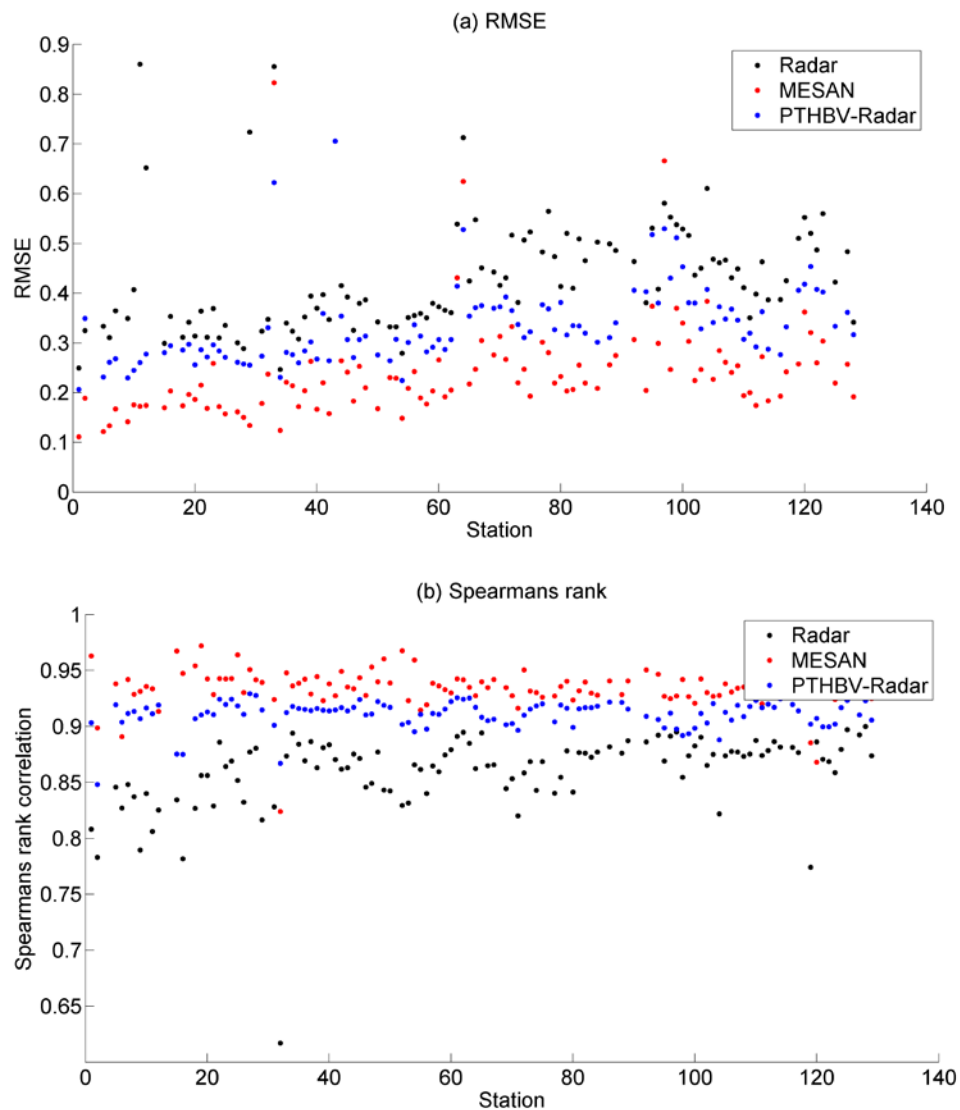
Radardatan presterar generellt sämre för både RMSE och Spearmans rangkorrelation. Bäst presterar MESAN, vilken kan förklaras med att denna produkt använder sig av automatstationerna direkt och resultatet är därför mer eller mindre trivialt. PTHBV-radar hamnar i mitten av de andra produkterna, troligtvis på grund av att den använt en del information från stationer (dagliga värden) samt en del av informationen från radar (fördelningen över dygnet). Korrektionen av radardatan med hjälp av automatstationerna har gjorts i medel för varje radars område, vilket resulterar i ett svagare beroende mellan radar och stationsdatan.



Figur 5. Tidskorrelation mellan MESAN och Radar (a), PTHBV och Radar (b) och PTHBV och MESAN (c).

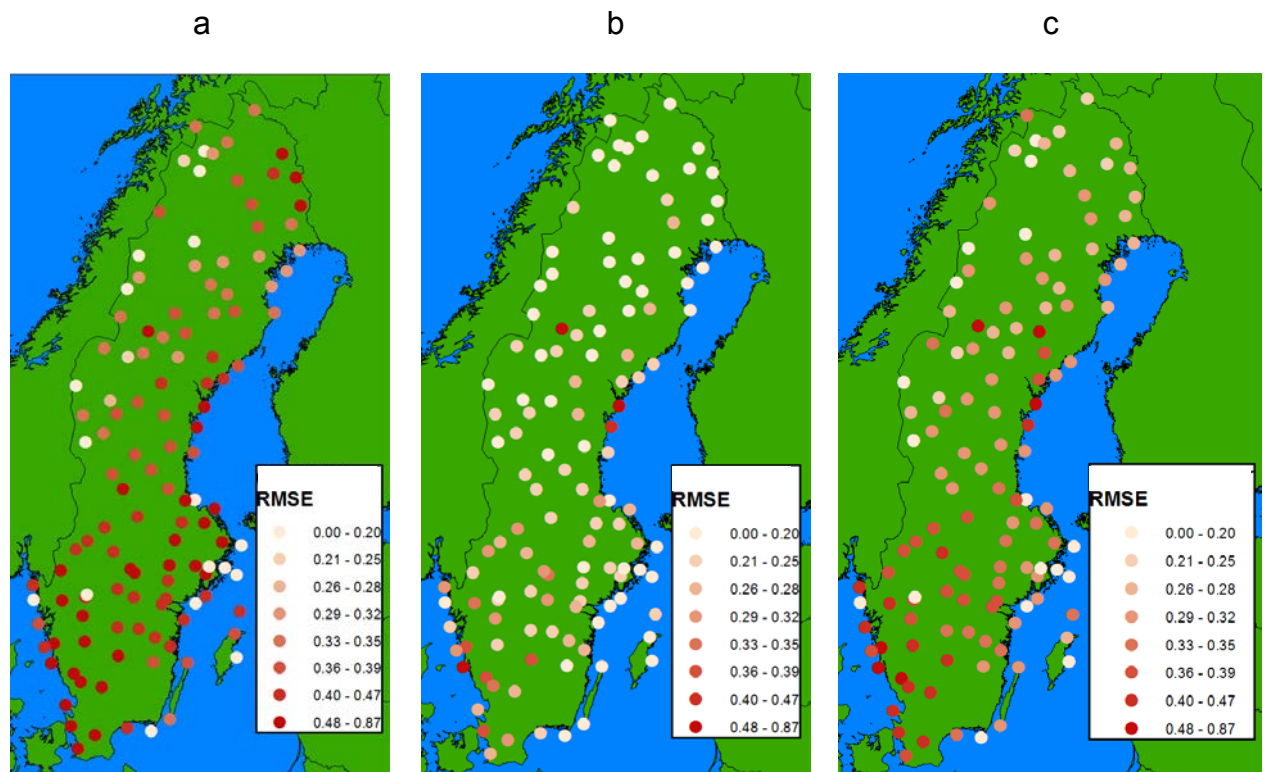


Figur 6. Korrelationen mellan radar och PTHBV som en funktion av avstånd till närmsta radarstation.



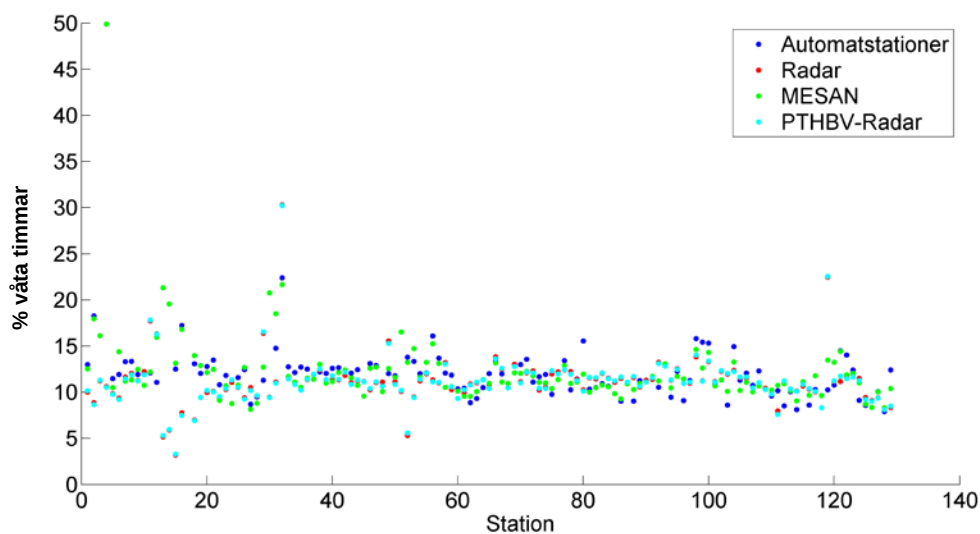
Figur 7. RMSE (a) och Spearmans rangkorrelation (b) för MESAN, Radar och PTHBV-radar med automatstationsdata som referens.

Den rumsliga variationen av RMSE visas i kartform i Figur 8. Nivåerna avspeglar värdena i Figur 7a. Ingen av källorna uppvisar något tydligt geografiskt beroende, särskilt inte MESAN, men för Radar och PTHBV-radar finns en svag tendens till större fel i söder än i norr. Fortsatta studier krävs för att verifiera att detta är systematiskt samt att utröna orsaken.

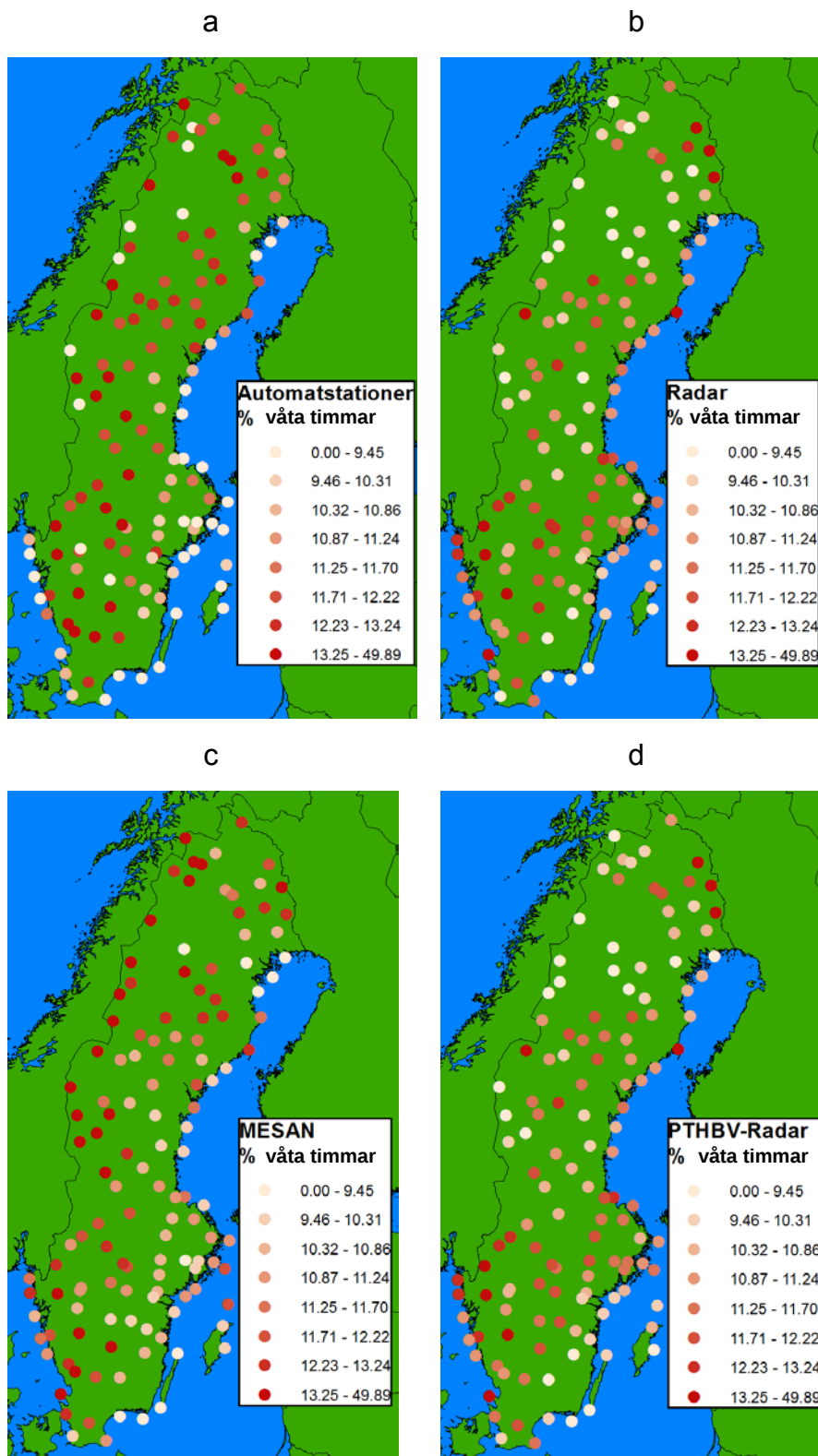


Figur 8. RMSE för Radar (a), MESAN (b) och PTHBV-radar (c) med automatstationsdata som referens.

Andel våta timmar, d.v.s. timmar med nederbörd >0 , togs fram för varje automatstation och tillhörande gridruta, vilket resulterade i Figur 9 och Figur 10. Automatstationerna har som medianvärde 12% våta timmar. De olika griddade produkterna har samtliga något lägre värden,



Figur 9. Andel våta timmar i de olika nederbördsprodukterna.



Figur 10. Andel våta timmar för automatstationer (a) samt den närmaste gridrutan till stationen för Radar (b), MESAN (c) PTHBV-radar (d).

11-11.5%, vilket är något förvånande eftersom de representerar rumsliga medelvärden. För enskilda stationer skiljer sig oftast de griddade produkterna inte mer än med ett par procentenheter från stationsdata, med undantag för vissa stationer då antingen de två radarbaserade produkterna (Radar och PTHBV-radar, vilka följer varandra nära; Radar-punkterna täcks ofta av PTHBV-radar-punkterna) eller MESAN skiljer sig från

automatstationerna. Totalt sett är överensstämmelsen god och det finns ingen tydlig systematik i hur de olika produkterna skiljer sig från automatstationerna. Inte heller det rumsliga mönstret av andel våta timmar visar någon uppenbar skillnad mellan automatstationer och de griddade produkterna, även om en del noterbara mönster kan skönjas (Figur 10). I automatstationsdata finns en tydlig tendens till en lägre andel våta timmar i kustområden; denna tendens är inte lika tydlig i övriga källor. Radar och PTHBV-radar visar på en förhållandevis låg andel våta timmar i fjällkedjan, men i MESAN är andelen förhållandevis hög. Såsom visades i Figur 3c har Radar förhållandevis låga nederbörds mängder i stora delar av fjällkedjan, och detta verkar avspeglas också i andelen våta timmar för Radar och PTHBV-radar.

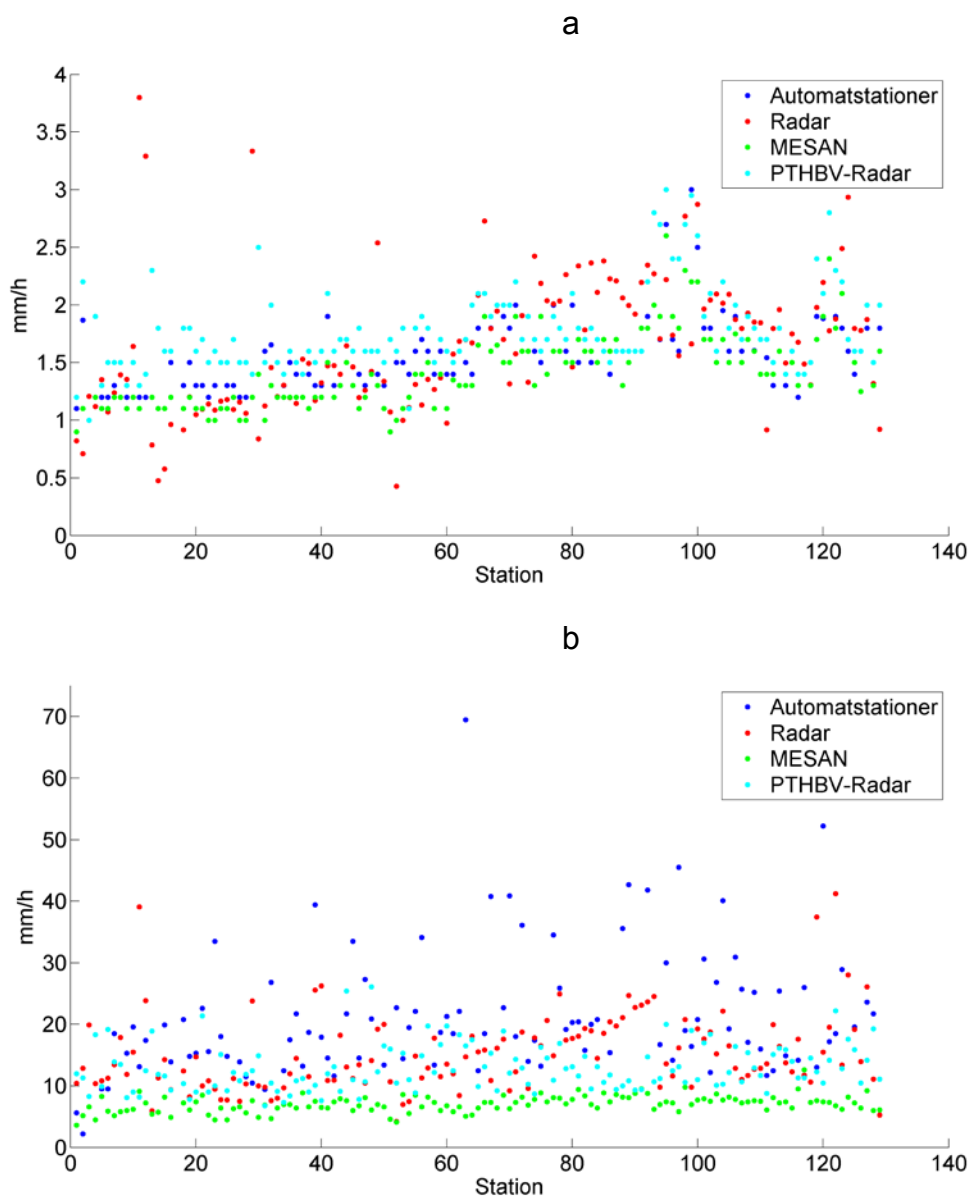
För att få en inblick i hur de olika källorna fångar extremnederbörd beräknades den 99:e percentilen (baserat på data inklusive torra dagar) samt det maximala värdet för varje automatstation samt tillhörande gridruta för de griddade källorna. Medianvärdena av dessa mått visas i Tabell 2. Det maximala värdet i automatstationer, 18.7 mm/h, motsvarar enligt Wern och German (2009) en återkomsttid på 5 år vilket ungefär överensstämmer med längden på den analyserade perioden (knappt 4 år). De lägre värdena i övriga källor avspeglar delvis den gradvisa rumsliga utjämningen från automatstationernas punktvärden till gridden för Radar (4 km²), PTHBV-radar (16 km²) och MESAN (121 km²), vilken leder till lägre maxima. Resultaten indikerar att den kontroll och rättning av data från automatstationer och radar som genomfördes (kapitel 3) fungerat överlag väl i den mån att de högsta accepterade värdena är av realistisk storleksordning. Den 99:e percentilen är likartad i de olika källorna (Tabell 2). De något högre värdena för Radar och PTHBV-radar indikerar en viss överskattning av höga men inte extrema 1-h intensiteter.

Tabell 2. Medianvärdet (mm/h) från samtliga stationer (gridrutor för de griddade produkterna) av den 99:e percentilen samt det maximala värdet av 1-h nederbörd.

Produkt	Percentil 99	Maximum
Automatstationer	1.5	18.7
Radar	1.6	13.6
MESAN	1.4	7.2
PTHBV-radar	1.7	12.1

Resultatet för de enskilda stationerna visar på stor spridning i den 99:e percentilen för Radar (Figur 11a). Denna spridning torde vara kopplad till den rumsliga heterogeniteten i årsmedelnederbörd och förekomsten av pixlar med systematisk över- och underskattning (Figur 3c). PTHBV-radar ligger ofta högt, dock visuellt utan tydlig koppling till Radar i samma station. Detta kan tyda på att dygnsvärdena i PTHBV i vissa stationer koncentreras till något för liten andel av dygnet i framtagandet av PTHBV-radar. Det maximala värdet i automatstationer uppvisar stor spridning mellan 2 och 70 mm/h (Figur 11b). Det förstnämnda synes orimligt lågt men kan vara orsakat av saknade data, särskilt under sommarperioderna. Vad gäller 70 mm/h är detta dubbelt så stort som 100-års 1-h nederbörden enligt Wern och German (2009) och dess rimlighet måste ifrågasättas även om det accepterats i den granskning som utfördes. Radar och PTHBV-radar uppvisar en likartad spridning emedan MESAN ligger tämligen konstant i intervallet 5-10 mm/h.

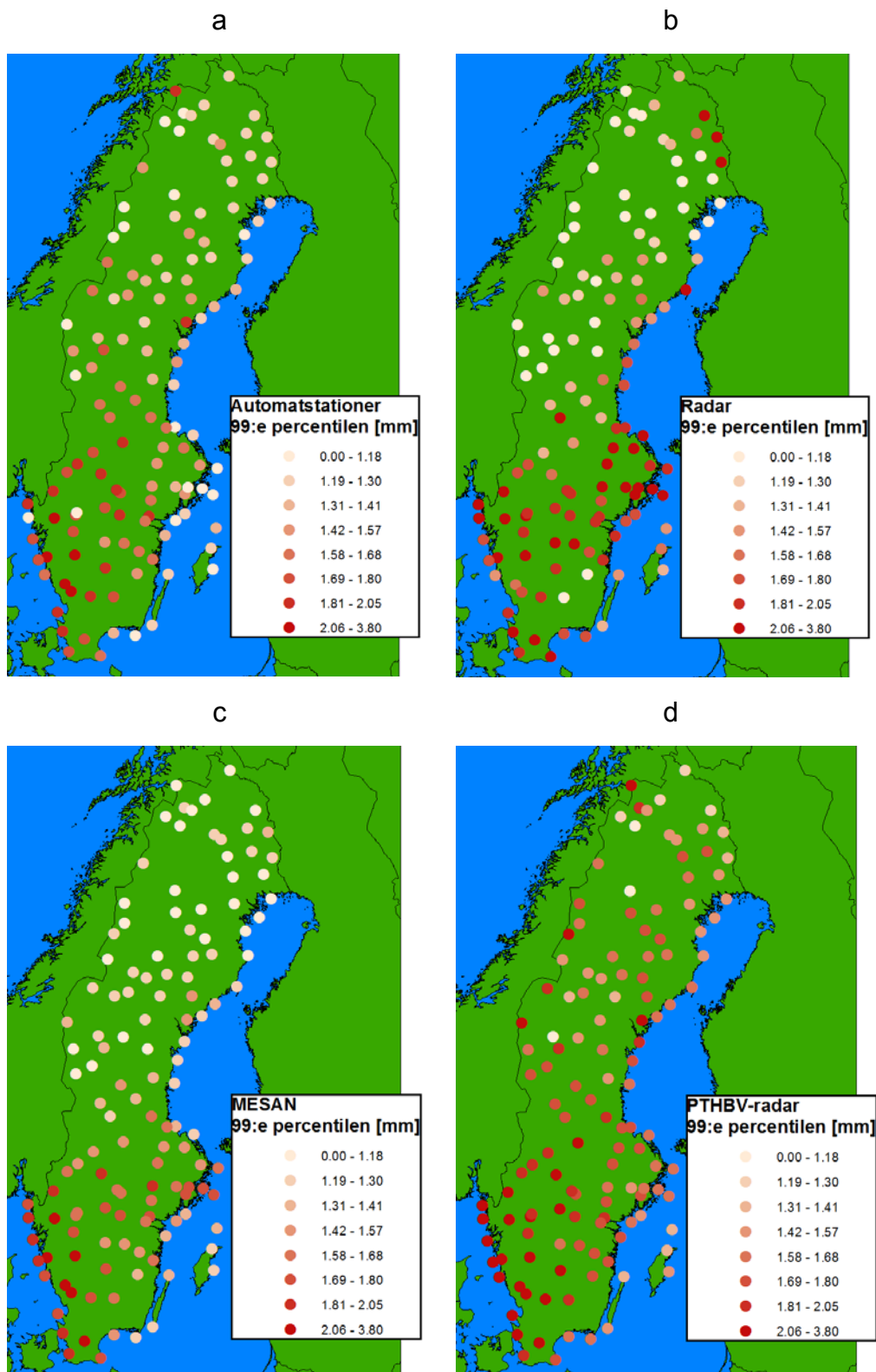
Den 99:e percentilen i automatstationerna har ett tämligen tydligt geografiskt beroende med högre värden i sydvästra Sverige än i resten av landet (Figur 12a). Radar uppvisar överlag samma mönster men högre värden dels i östra Svealand, dels nära gränsen mot Finland. Dessa områden uppvisar även hög årsmedelnederbörd (Figur 3c). Både MESAN och PTHBV-radar



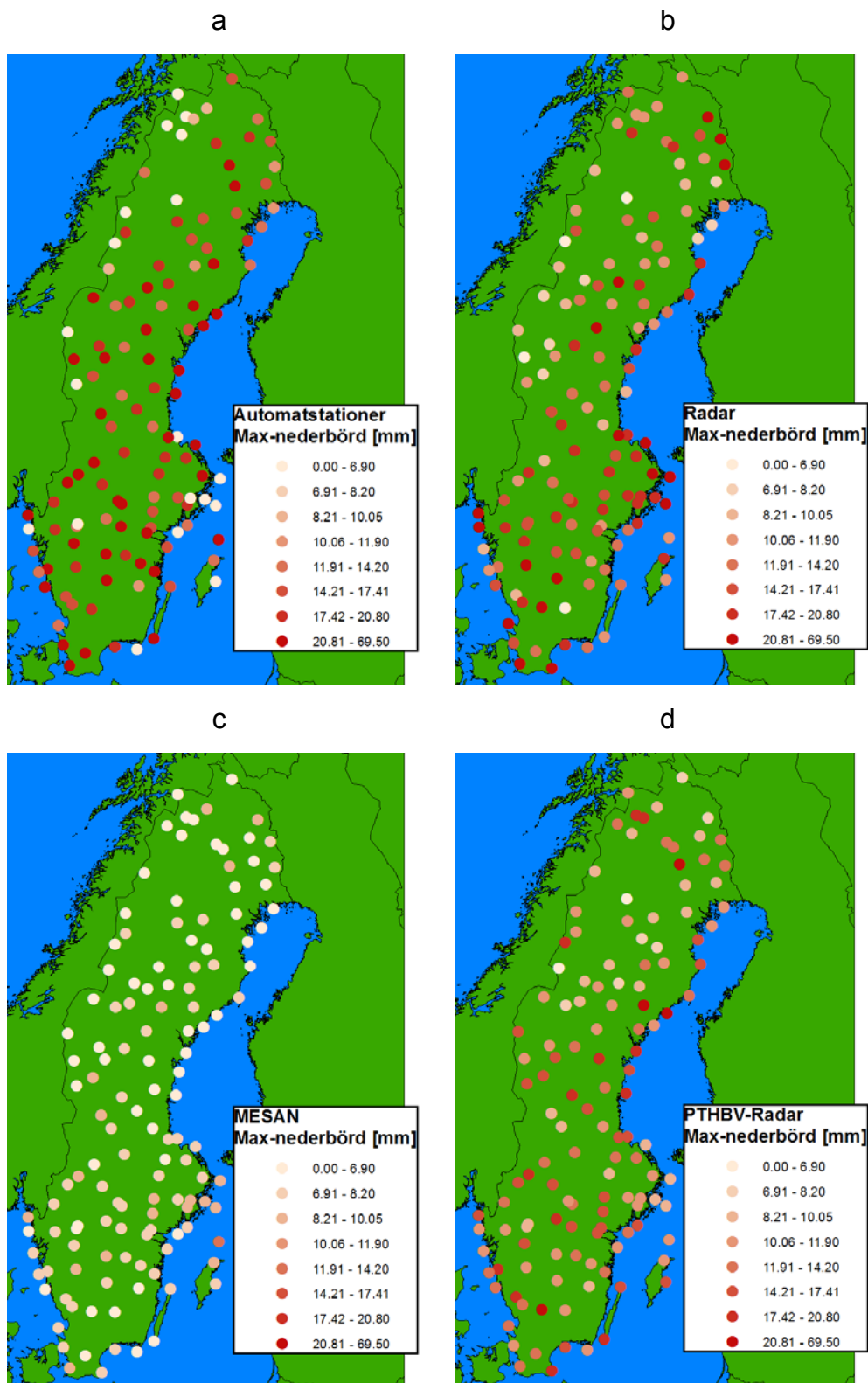
Figur 11. 99:e percentilen (a) och det maximala värdet (b) av 1-h nederbörd i automatstationer samt den närmaste gridrutan till stationen för de griddade produkterna.

avspeglar överlag mönstret för automatstationerna, dock är skillnaderna mellan norr och söder något kraftigare i MESAN och svagare i PTHBV-radar (Figur 12c och Figur 12d).

Den maximala 1-h nederbörden uppvisar totalt sett ett svagt geografiskt beroende (Figur 13). I automatstationsdata sticker några områden med låga värden ut, dels i fjällkedjan, dels vid östra svealandskusten. För Radar syns även för det maximala värdet höga värden vid finska gränsen och i östra Svealand; för övrigt en tämligen jämn rumslig fördelning. För MESAN och PTHBV-radar syns inget geografiskt beroende.



Figur 12. 99:e percentilen av 1-h nederbörd i automatstationer (a) samt den närmaste gridrutan i Radar (b), MESAN (c) och PTHBV-radar (d).



Figur 13. Det maximala värdet av 1-h nederbörd i automatstationer (a) samt den närmaste gridrutan i Radar (b), MESAN (c) och PTHBV-radar (d).

6 Utvärdering av vattenföring

Ett alternativt sätt att validera kvaliteten på tillgänglig data är att använda den som drivdata i en hydrologisk modell och jämföra modellens simulerade vattenföring med observerad vattenföring. Under antagandet att den hydrologiska modellen och dess parametervärden fungerar väl så blir modellens utdata endast en funktion av drivdata, och detta ger då ett mått på datakällornas kvalitet. I detta projekt användes HYPE (Lindström m.fl., 2010) som hydrologisk modell. HYPE körs normalt på tidssteget ett dygn, men till detta projekt användes en HYPE-version (1.0.1) som kan köras på kortare tidssteg. Till detta projekt valdes tidssteget 1 h. Det ska understrykas att denna validering är mycket begränsad och i huvudsak ska ses som en demonstration av möjligheten att använda HYPE för flödessimulering med hög tidsupplösning.

6.1 Område och data

Som testområde valdes ett mindre område i södra Sverige. Området är c:a 8 km² stort, består huvudsakligen av jordbruksmark och den dominerande jordarten är lera. Området är lämpligt som studieobjekt dels p.g.a. avrinningens snabba respons på nederbörd, dels eftersom det finns en vattenföringsstation i utloppet som registrerar flöde med hög tidsupplösning (1 h användes i denna studie). Mera information om området finns i Rönnberg (2012).

Området modellerades genom indelning i ett antal delavrinningsområden (polygoner), vart och ett med en unik kombination av markanvändning och jordart. HYPE kräver indata för temperatur och nederbörd för varje polygon som utgör området. Dessa indata skapades på samma sätt som MESAN-data interpolerades till PTHBV-griddet (se avsnitt 3.6 för detaljer). Till exempel, om man vill få nederbördsdata från PTHBV tar man fram vilka PTHBV-gridrutor som skär respektive polygon och adderar sedan ihop de viktade värdena (Figur 14a). Vattenföringsserien sträcker sig från 2004-11-01 till 2010-08-20 och karakteriseras av plötsliga och korta flödestoppar (Figur 14b).

Som en del av den hydrologiska utvärderingen ville vi jämföra HYPE-simuleringar på 1-dygnssteg (1-d) med simuleringar på 1-timmessteg (1-h). Indata för 1-d HYPE utgjordes av nederbörd och temperatur från PTHBV (avsnitt 3.1).

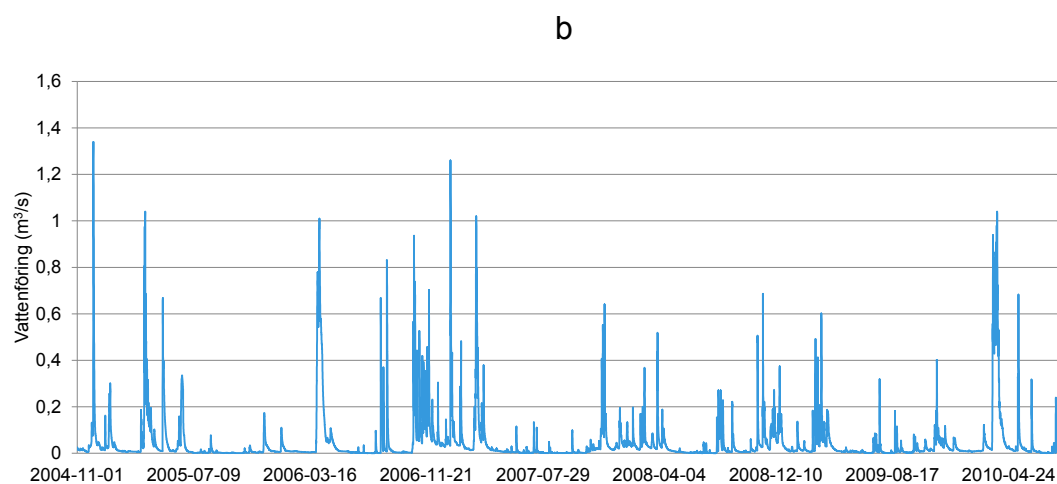
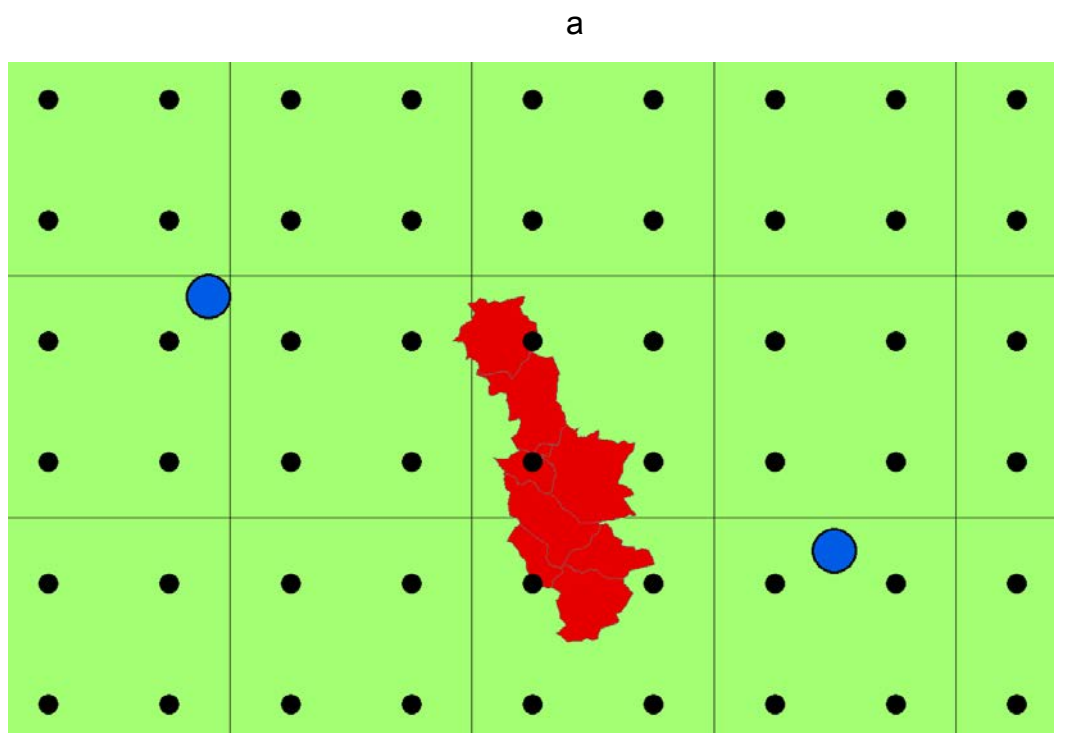
För 1-h HYPE simuleringarna användes fyra olika nederbörds-källor (1-h tidssteg):

- Station: Data från närmaste automatstation, belägen c:a 15 km från området, som omskalats för att överensstämja med dygnsvärden för området från PTHBV (enligt i princip samma procedur som användes vid framtagandet av PTHBV-radar, avsnitt 3.5). Samma indata användes i samtliga delavrinningsområden.
- MESAN: Se avsnitt 3.3.
- Radar (korrigerad): Se avsnitt 3.4.
- PTHBV-Radar: Se avsnitt 3.5.

För de tre sistnämnda källorna viktades indata till individuella serier för varje delavrinningsområde enligt proceduren ovan.

Tillgänglig period med data från samtliga nederbörds-källor, och vattenföring på 1-h steg, var 2006-03-09 till 2010-01-31. I Figur 15 visas nederbörden från de olika källorna under perioden. En tydlig skillnad i variabilitet är uppenbar. Stationsdata avspeglar egenskaperna hos lokal nederbörd med höga, kortvariga intensiteter (Figur 15a) medan MESAN representerar mera rumsligt utjämnad nederbörd (Figur 15c). De båda varianterna av radardata ligger emellan dessa båda ytterligheter.

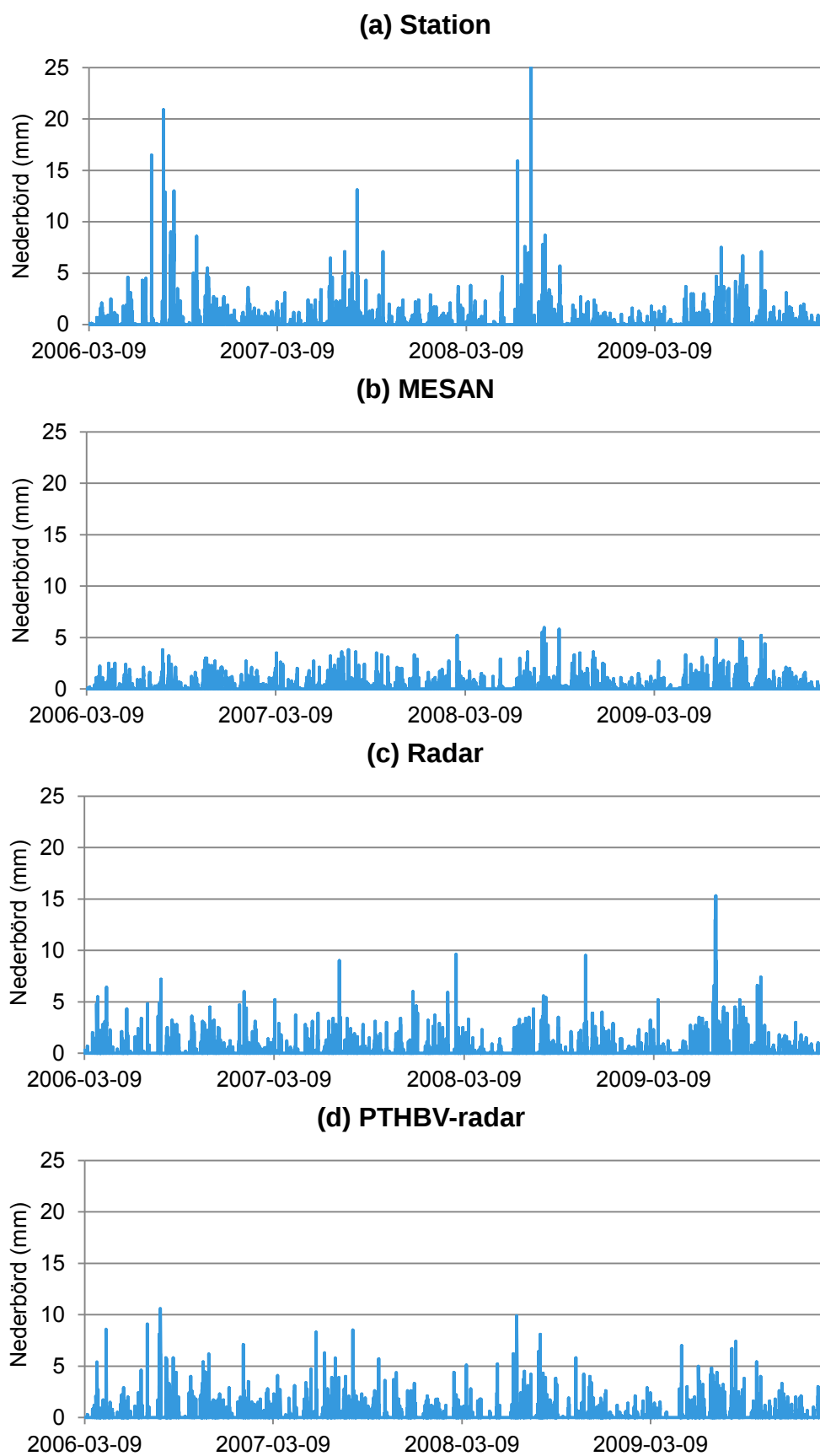
Tabell 4 visar att Radar har c:a 10 mm/månad mer nederbörd än övriga källor. Station och PTHBV-Radar borde teoretiskt ha samma värde, eftersom båda omskalats mot PTHBV, men



Figur 14. Testområdet (röd polygon) i förhållande till PTHBV-griddet (ljusgröna rutor), radarpunkter (svarta prickar) samt MESAN 11km-punkter (blå punkter) (a), samt 1-h vattenföring i utloppet (b).

Tabell 3. Beskrivande statistik för de olika 1-h nederbördsställorna.

Källa	Månadsmedel (mm/mån)	Maximum 1-h (mm/h)	Våta timmar (%)	Std.avvikelse (mm)
Station	47	25.4	11.0	0.39
Radar	59	15.3	11.2	0.40
MESAN	48	6.0	10.0	0.30
PTHBV-radar	51	10.6	9.1	0.37



Figur 15. Nederbörd i testområdet under simuleringsperioden från stationsdata (a), Radar (b), MESAN (c) och PTHBV-radar (d).

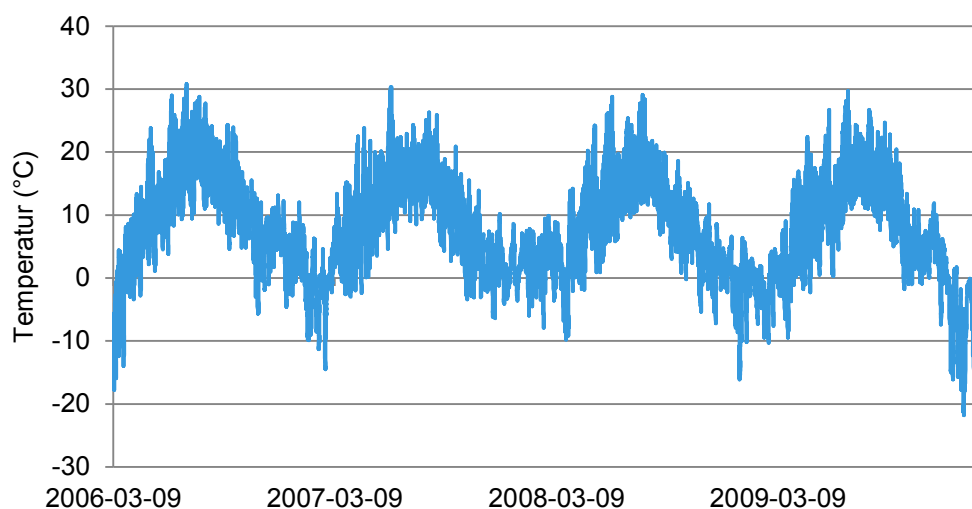
eftersom procedurerna i praktiken var något olika finns en mindre skillnad. Som Figur 15 visade finns stor skillnad i maximalt 1-h värde. Värdena kan jämföras med den extremvärdesanalys av automatstationsdata som gjordes i Wern och German (2009). Enligt denna motsvarar värdet för Station, 25.4 mm/h, en återkomsttid på c:a 20 år vilket alltså är sällsynt och saknar motsvarighet i övriga källor. Detta kan antas visa på osäkerheten i att kombinera lokal korttidsnederbörd från annan plats, även relativt närbelägen, med griddad dygnsnederbörd i området i fråga. Vad gäller. Värdet för Radar (15.3 mm/h) motsvarar c:a 2 års återkomsttid och värdet för PTHBV-Radar (10.6 mm/h) c:a 1 år enligt Wern och German (2009).

I termer av andel regn, d.v.s. andel timmar med nederbörd > 0 , är källorna tämligen likvärdiga ($\sim 10\%$) (Tabell 3). Standardavvikelsen avspeglar överlag det visuella intrycket från Figur 15, dock är den något högre för Radar än för Station.

För att kunna driva HYPE på 1-h tidssteg behövdes temperaturdata på denna tidsupplösning. Två datakällor studerades: närmaste automatstation (Station, se Figur 16) och MESAN. En jämförelse visade mycket hög korrelation (0.99) och ingen systematisk skillnad mellan källorna.

Följande kombinationer av indata användes vid simulering med HYPE:

- 1-d steg: P – PTHBV, T – PTHBV
- 1-h steg: P – Station, T – Station
- 1-h steg: P – MESAN, T – MESAN
- 1-h steg: P – Radar, T – MESAN
- 1-h steg: P – PTHBV-Radar, T – MESAN



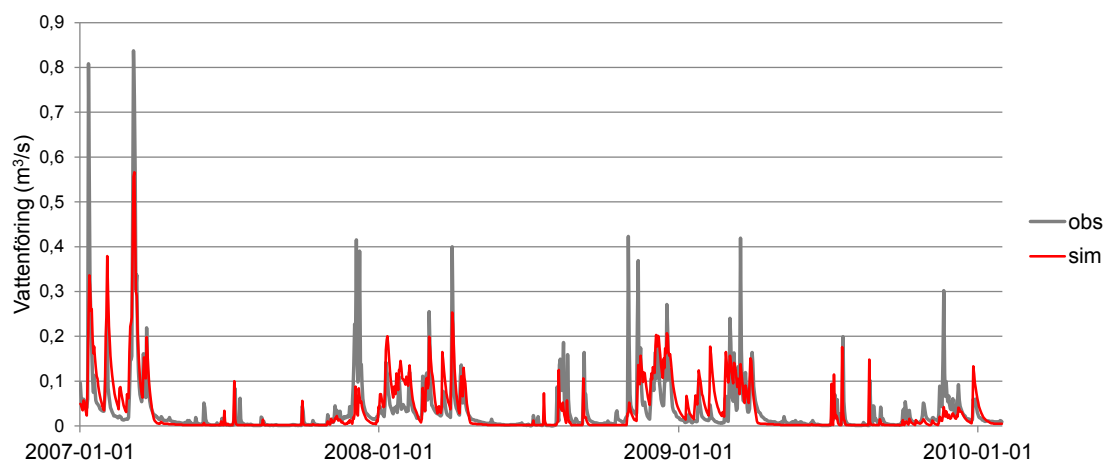
Figur 16. Temperatur i testområdet under simuleringsperioden från källa Station.

6.2 Simulering med HYPE-modellen

För simuleringen fanns en uppsättning av HYPE för testområdet tillgänglig, som tagits fram och använts i tidigare sammanhang. Denna var kalibrerad för simulering på dygnssteg och denna kalibrering användes också för simuleringen i denna studie.

För simulering på tidssteg gjordes först en kontroll av vilka av modellens parametrar som är tidsstegsberoende. Värdena av dessa parametrar – snösmältningshastighet, potentiell avdunstning, maximal perkolation samt fem recessionsparametrar – för dygnssteg måste skalas om med en faktor 24 för att bli applicerbara på tidssteg. Utöver denna omskalning kalibrerades 12 parametrar manuellt för att få förbättrad anpassning till 1-h vattenföringsdata. Vid denna kalibrering användes nederbörd och temperatur från Station som indata. Endast fyra års kalibreringsperiod kan tyckas vara lite, men det bör understrykas att antalet 1-h tidssteg för denna 4-årsperiod motsvarar en $24 \cdot 4 = 96$ årsperiod vid tidssteg 1 dygn.

Simuleringsperiodens första 10 månader (mars-december 2006) antogs som uppvärmningsperiod under vilken HYPE-modellens olika magasin och flöden ställer in sig på rätt nivåer. Den resterande delen av perioden (januari 2007 – januari 2010) användes för utvärdering av simuleringarna. Figur 17 visar observerad vattenföring på dygnssteg samt den simulering med PTHBV-indata som används som referens. Flödesdynamiken är överlag väl beskriven men en systematisk underskattning av flödestopparna är uppenbar. En förbättrad beskrivning av topparna kan vara möjlig genom ytterligare kalibrering, men för denna studie antogs denna existerande kalibrering vara tillräcklig.



Figur 17. Observerad vattenföring (på dygnssteg) samt simulerad vattenföring med PTHBV indata.

Statistiska utvärderingsmått redovisas i Tabell 4. För referenssimuleringen är NSE=0.49 och RE visar på en svag överskattning (3.7%) av det ackumulerade flödet. Kalibreringen av 1-h HYPE med indata Station utvärderades i första hand på dygnssteg, d.v.s. de resulterande timvärdena på vattenföring medelvärdesbildades till dygnsvärden. Den slutliga kalibreringen gav ett något lägre värde på NSE (0.44) än PTHBV, men enbart ett marginellt volymfel och något mindre värden på MAE och MSE. Därför antogs kalibreringen vara tillräcklig. Visuellt förbättrades beskrivningen av höga flödestoppar något jämfört med situationen i Figur 17.

Tabell 4. Statistisk utvärdering av simuleringarna. För 1-h simuleringarna betyder tidssteg 1-d att 1-h värdena medelvärdesbildats till 1-d värden innan utvärderingen.

P-källa	PTHBV	Station		MESAN		Radar		PTHBV-radar	
T-källa	PTHBV	Station		MESAN		MESAN		MESAN	
Tidssteg	1-d	1-h	1-d	1-h	1-d	1-h	1-d	1-h	1-d
NSE	0.49	0.28	0.44	0.48	0.57	-0.78	-0.75	0.45	0.56
RE	0.037	-0.005	-0.005	0.001	0.001	0.88	0.88	0.34	0.34
MAE	0.025	0.024	0.022	0.022	0.021	0.044	0.043	0.024	0.022
RMSE	0.053	0.062	0.052	0.053	0.046	0.098	0.092	0.055	0.046

Utvärderingen på 1-h tidssteg har per definition samma RE-värde som på 1-d tidssteg, men i termer av övriga mått försämrar överensstämmelsen med observationerna (Tabell 4). Ingen djupare analys av dessa skillnader har utförts, men en generell förklaring bör vara de större variationerna av vattenföring på 1-h skala vilka är svårare att beskriva med modellen än den mera utjämnade 1-d vattenföringen. Det kan påpekas att Rönnberg (2012) med en mera

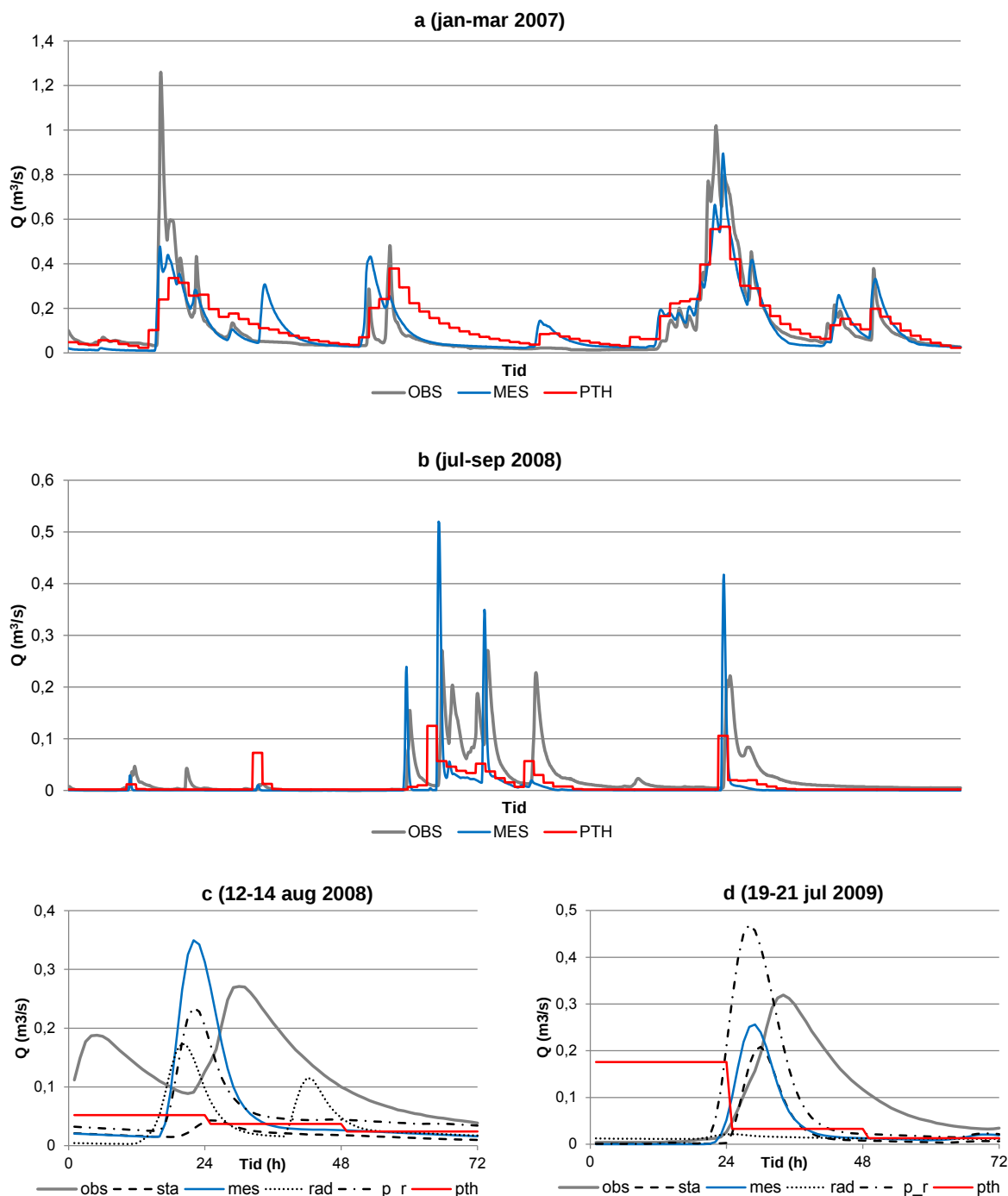
noggrann kalibrering av 1-h HYPE för området, och med fokus på högt 1-h NSE-värde, uppnådde NSE=0.6 på 1-h tidssteg (dock till priset av ett större volymfel, c:a -0.12).

Med nederbörds-källa MESAN förbättrades samtliga utvärderingsmått jämfört med källa Station (Tabell 4), trots att kalibreringen alltså gjordes för källa Station. Detta kan bero på att MESAN-data bättre beskriver de lokala förhållandena eftersom källa Station är baserad på en automatstation c:a 15 km från testområdet, såsom tidigare diskuterats (avsnitt 6.1). Flödestoppar är något bättre simulerade än med källa Station. Det kan noteras att MESAN-simuleringen är tydligt bättre än PTHBV-simuleringen vid utvärdering på dygnssteg, vilket indikerar att simulering av vattenföring på 1-h basis kan förbättra noggrannheten jämfört med dygnsbasis, såsom också Rönnberg (2012) visade.

Simuleringen med nederbörds-källa Radar gav kraftigt försämrade utvärderingsmått (Tabell 4). Detta beror till stor del på den överskattade totala nederbörd i Radar som indikerades i Tabell 3, vilken leder till generellt överskattade flöden. Den PTHBV-kalibrerade radarprodukten PTHBV-radar ger en relativt sett god noggrannhet, snarlik den för MESAN i termer av NSE, MAE och MSE. Rent visuellt är beskrivningen av toppflöden något bättre med PTHBV-radar som indata än med MESAN. PTHBV-radar-simuleringen uppvisar dock ett positivt volymfel på 34%, att jämföra med t.ex. 3.7% för PTHBV-simuleringen. Detta är något förvånande, men Tabell 3 visade en högre medelnederbörd för PTHBV-radar än Station och MESAN. Eventuellt kan proceduren för att ta fram PTHBV-radar utvecklas för att säkerställa överensstämmelse mellan källorna. En annan faktor kan vara att tidssteget i simuleringen påverkar vattenbalansen.

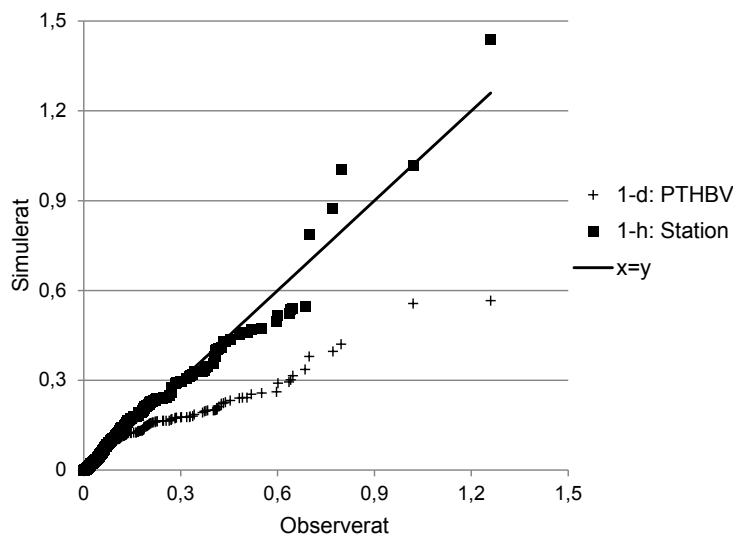
Några generella illustrationer på skillnaderna mellan simulering på 1-d och 1-h tidssteg visas i Figur 18. Figur 18a visar 1-h vattenföring under en 3-månaders vinterperiod. Inga korta, intensiva nederbördstillfällen verkar ha förekommit under perioden utan flödena torde ha skapats främst av långvariga, utbredda regn och/eller snösmältning. I detta fall blir simuleringarna likartade, även om skillnader finns som kan bero på både indata och kalibrering. Under en sommarperiod med några lokala regnskurar blir skillnaderna större i och med att nederbörden blir mera koncentrerad i tiden på 1-h upplösning vilket ger snabba flödesökningar i 1-h HYPE (Figur 18a). Dock är både flödesökningen och recessionsförloppet för hastigt i 1-h HYPE, vilket ger för höga och för kortvariga toppar. En mera detaljerad kalibrering kan potentiellt förbättra modellens noggrannhet i detta avseende. Fenomenet ses också i Figur 18c, som zoomar in den högsta toppen under sommarperioden och visar resultaten från samtliga indatakällor. Det kan noteras att källa Station i detta fall verkar helt missa regnet. Figur 18d, slutligen, visar samma bild för det högsta sommarflödet under simuleringsperioden. I detta fall verkar källa Radar ha kraftigt underskattat regnet, men efter kalibrering mot PTHBV blev det i stället överskattat.

Figur 18c och d illustrerar flödesdynamiken inom ett dygn i testområdet. Den 20/7 2009 ökar flödet från nästan 0 m³/s till drygt 0.3 m³/s mitt på dagen, för att sedan minska till 0.1 m³/s vid dagens slut (Figur 18d). Det är således en stor skillnad mellan den maximala vattenföringen under dygnet (0.32 m³/s) och medelvattenföringen under dygnet (0.20 m³/s). Ett ytterligare sätt att illustrera skillnaden mellan 1-h och 1-d simulering på är att jämföra dygnsmaxima av 1-h vattenföring (för 1-d simulering blir detta värde detsamma som dygnsmedelvattenföringen). Observerad och simulerad frekvensfördelning kan jämföras genom att för båda tidsserierna sortera dygnsmaxima i stigande ordning och plotta korresponderande värden mot varandra (d.v.s. det högsta observerade dygnsmaximat plottas mot det högsta simulerade, det näst högsta mot det näst högsta, o.s.v.).



Figur 18. Observerad (obs) och simulerad 1-h vattenföring i testområdet under en vinterperiod (a), en sommarperiod (b) och två höga sommarflöden (c, d). Legenden för simulerade flöden motsvarar nederbörds-källa i Tabell 4.

Ett exempel på en sådan s.k. kvantilplott visas i Figur 19. I 1-d simuleringen med PTHBV underskattas alltså ofrånkomligen dygnsmaxima av 1-h vattenföring; de högsta observerade värdena på 1-1.5 m³/s motsvaras i PTHBV-simuleringen av knappt 0.6 m³/s. I 1-h simuleringen med källa Station är överensstämmelsen god. Detta betyder inte att toppvärdena inträffar vid rätt tidpunkt, men att modellen har en dynamik som ger simulerade flöden en realistisk amplitud.



Figur 19. Kvantilplott som jämför frekvensfördelningen av maximal 1-h vattenföring under ett dygn i observerad och simulerade tidsserier. Linje motsvarar perfekt överensstämmelse.

7 Sammanfattande slutord

Studien har illustrerat skillnader mellan de olika griddade källorna till högupplöst nederbördsinformation. MESAN finns direkt tillgängligt på 1-h tidssteg, men ackumulerad nederbörd är generellt lägre än i PTHBV och den rumsliga upplösningen (11×11 km) är en faktor 10 lägre än den genomsnittliga storleken på ett avrinningsområde i dagens version av S-HYPE (drygt 10 km²). Även efter granskning och rättning har radarobserverad nederbörd tydliga artefakter och är inte direkt tillämpbara för hydrologisk simulering över längre perioder på nationell skala. Att ”hårdkalibrera” radardata mot PTHBV till produkten PTHBV-radar gav överlag lovande resultat, både vad gäller överensstämmelse med lokal nederbörd (från automatstationer) och noggrannheten i simulerad vattenföring.

Avsikten är att utveckla PTHBV-radar, främst genom noggrannare granskning och rättning av radardata innan själva disaggregeringen av PTHBVs dygnsvärden utförs. Kan kvaliteten på radardata säkerställas finns även möjligheten att tillåta en justering av PTHBVs dygnsvärde, t.ex. vid tydliga signaler på lokala skurar mellan PTHBVs stationer. En annan möjlighet kan vara att generera PTHBV på kortare tidssteg än dygn, vilket kräver analyser av både tillgängligt stationsunderlag och tillämpbarhet av underliggande antaganden och utvecklade samband. Vidare är nya högupplösta analysprodukter under utveckling vilka också är potentiellt användbara i hydrologiska sammanhang.

Testerna med HYPE illustrerade potentiellt mervärde av simulering på 1-h tidssteg i mindre avrinningsområden. En beskrivning av hur vattenföring varierar över dygnet verkar kunna leda till inte bara en bättre uppskattning av dygnets maximala vattenföring utan också själva dygnsvolymerna, jämfört med simulering på dygnssteg. Det måste dock understrykas att testet främst var en demonstration av 1-h simulering. En mera omfattande studie har påbörjats, i vilken inverkan av tidssteget på HYPE-modellens parametrering och kalibrering ska undersökas i mera detalj. Simulering på 1-h tidssteg kommer att genomföras för ett flertal områden.

Hydrologisk modellering på korta tidssteg är motiverat inte minst av möjligheten till tätare och mera detaljerade vattenföringsprognoser. Detta kräver dels indata i realtid för modellens initialisering, dels högupplösta meteorologiska prognoser. Analyser av olika tidssteg behövs m.a.p. förutom datatillgänglighet också t.ex. prognosnoggrannhet, exekveringstid och mervärde för slutanvändare. Även denna typ av aktiviteter har påbörjats och kommer förhoppningsvis att kunna rapporteras inom en inte alltför avlägsen framtid.

8 Tackord

Vi tackar varmt MSB och Formas för finansiering av studien. Många på SMHI har på olika sätt bidragit och vi vill särskilt tacka Karin Nyström, Lennart Wern, Lars Norin, Günther Haase, Jörgen Rosberg och Barbro Johansson för hjälp med framtagning, sammanställning och tolkning av data samt Peter Berg för hjälp med färdigställandet av rapporten.

9 Referenser

- Bergström, S. (1976) *Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments*. SMHI Reports Hydrology and Oceanography, nr. 7.
- Gandin, L.S. (1965) *Objective analysis of meteorological fields*. Israel Program for Scientific Translations, 242, Jerusalem.
- Häggmark, L., Ivarsson, K.-I., och P.-O. Olofsson (1997) *MESAN – Mesoskalig analys*. SMHI Reports Meteorology and Climatology, nr. 75.
- Iversen, T., Deckmyn, A., Santos, C., Sattler, K., Bremnes, J.B., Feddersen, H. och I.-L. Frogner (2011). Evaluation of 'GLAMEPS'—a proposed multimodel EPS for short range forecasting. *Tellus A*, 63:513–530.
- Johansson, B. (2002) *Estimation of areal precipitation for hydrological modelling in Sweden*. Ph.D. Thesis. Report No. A76. Earth Sciences Centre, Göteborg University.
- Johansson, B., Olsson, J., och G. Haase (2006) *Radarobservationer i HBV-modellen*. Elforsk rapport 06:14.
- Källén, E. (Ed.) (1996) *HIRLAM Documentation manual*, System 2.5, SMHI.
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M., och S. Bergström (1997) Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. *Journal of Hydrology*, 201:272-288.
- Lindström, G., Pers, C.P., Rosberg, R., Strömqvist, J. och B. Arheimer (2010) Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – A water quality model for different spatial scales. *Hydrology Research*, 41.3-4:295-319.
- Michelson, D. (2006) The Swedish weather radar production chain. *Proceedings of ERAD 2006*, pp. 382–385.
- Michelson, D.B. och J. Koistinen (2000) Gauge-radar network adjustment for the Baltic sea experiment. *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, 25: 915-920.
- Nash, J.E. och J. V. Sutcliffe (1970) River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10:282–290.
- Ridal, M., Lindskog, M., Gustafsson, N. och G. Haase (2011) Optimized advection of radar reflectivities. *Atmospheric Research*, 100:213–225.
- Rönnerberg, R. (2012) *Identifiering av fosfatföreskrifts käll- och flödesfördelning i ett litet jordbruksområde*. Examensarbete vid Institutionen för Geovetenskaper, Luft-, Vatten- och Landskapslära, Uppsala Universitet.
- Wern, L. och J. German (2009) *Korttidsnederbörd i Sverige 1995-2008*. SMHI Meteorology Report nr. 139/2009.

SMHIs publiceringar

SMHI ger ut sju rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Report Meteorology and Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985
KLIMATOLOGI	2009

I serien HYDROLOGI har tidigare utgivits:

- 1 Bengt Carlsson (1985)
Hydrokemiska data från de svenska
fältforskningsområdena.
- 2 Martin Häggström och Magnus Persson
(1986)
Utvärdering av 1985 års
vårflödesprognoser.
- 3 Sten Bergström, Ulf Ehlin, SMHI, och Per-
Eric Ohlsson, VASO (1986)
Riktlinjer och praxis vid dimensionering
av utskov och dammar i USA. Rapport
från en studieresa i oktober 1985.
- 4 Barbro Johansson, Erland Bergstrand och
Torbjörn Jutman (1986)
Skåneprojektet - Hydrologisk och
oceanografisk information för
vattenplanering - Ett pilotprojekt.
- 5 Martin Häggström (1986)
Översiktlig sammanställning av den
geografiska fördelningen av skador främst
på dammar i samband med
septemberflödet 1985.
- 6 Barbro Johansson (1986)
Vattenföringsberäkningar i Södermanlands
län - ett försöksprojekt.
- 7 Maja Brandt (1986)
Areella snöstudier.
- 8 Bengt Carlsson, Sten Bergström, Maja
Brandt och Göran Lindström (1987)
PULS-modellen: Struktur och
tillämpningar.
- 9 Lennart Funkquist (1987)
Numerisk beräkning av vågor i
kraftverksdammar.
- 10 Barbro Johansson, Magnus Persson,
Enrique Aranibar and Robert Llobet
(1987)
Application of the HBV model to Bolivian
basins.
- 11 Cecilia Ambjörn, Enrique Aranibar and
Roberto Llobet (1987)
Monthly streamflow simulation in
Bolivian basins with a stochastic model.
- 12 Kurt Ehlert, Torbjörn Lindkvist och Todor
Milanov (1987)
De svenska huvudvattendragens namn och
mynningspunkter.
- 13 Göran Lindström (1987)
Analys av avrinningsserier för
uppskattning av effektivt regn.
- 14 Maja Brandt, Sten Bergström, Marie
Gardelin och Göran Lindström (1987)
Modellberäkning av extrem effektiv
nederbörd.
- 15 Håkan Danielsson och Torbjörn Lindkvist
(1987)
Sjökarte- och sjöuppgifter. Register 1987.
- 16 Martin Häggström och Magnus Persson
(1987)
Utvärdering av 1986 års
vårflödesprognoser.
- 17 Bertil Eriksson, Barbro Johansson,
Katarina Losjö och Haldo Vedin (1987)
Skogsskador - klimat.
- 18 Maja Brandt (1987)
Bestämning av optimalt klimatstationsnät
för hydrologiska prognoser.
- 19 Martin Häggström och Magnus Persson
(1988)
Utvärdering av 1987 års
vårflödesprognoser.
- 20 Todor Milanov (1988)
Frysförluster av vatten.
- 21 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz
Amelia Sandoval and Maria Elvira Vega
(1988)
Application of the HBV model to the
upper Río Cauca basin.

- 22 Mats Moberg och Maja Brandt (1988)
Snökartläggning med satellitdata i
Kultsjöns avrinningsområde.
Hydrologiska stationsnät
1992/Hydrological network. Svenskt
Vattenarkiv.
- 23 Martin Gotthardsson och Sten Lindell
(1989)
Hydrologiska stationsnät 1989. Svenskt
Vattenarkiv.
- 24 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz
Amelia Sandoval y Maria Elvira Vega
(1989)
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca
superior del Río Cauca.
- 25 Gun Zachrisson (1989)
Svåra islossningar i Torneälven. Förslag
till skadeförebyggande åtgärder.
- 26 Martin Häggström (1989)
Anpassning av HBV-modellen till
Torneälven.
- 27 Martin Häggström and Göran Lindström
(1990)
Application of the HBV model for flood
forecasting in six Central American rivers.
- 28 Sten Bergström (1990)
Parametervärden för HBV-modellen i
Sverige. Erfarenheter från
modellkalibreringar under perioden 1975 -
1989.
- 29 Urban Svensson och Ingemar Holmström
(1990)
Spridningsstudier i Glan.
- 30 Torbjörn Jutman (1991)
Analys av avrinningens trender i Sverige.
- 31 Mercedes Rodriguez, Barbro Johansson,
Göran Lindström, Eduardo Planos y
Alfredo Remont (1991)
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca
del Río Cauto en Cuba.
- 32 Erik Arnér (1991)
Simulering av vårflöden med HBV-
modellen.
- 33 Maja Brandt (1991)
Snömätning med georadar och
snötaxeringar i övre Luleälven.
- 34 Bent Göransson, Maja Brandt och Hans
Bertil Wittgren (1991)
Markläckage och vattendragstransport av
kväve och fosfor i Roxen/Glan-systemet,
Östergötland.
- 35 Ulf Ehlin och Per-Eric Ohlsson, VASO
(1991)
Utbyggd hydrologisk prognos- och
varningstjänst.
Rapport från studieresa i USA 1991-04-22-
-30.
- 36 Martin Gotthardsson, Pia Rystam och
Sven-Erik Westman (1992)
- 37 Maja Brandt (1992)
Skogens inverkan på vattenbalansen.
- 38 Joakim Harlin, Göran Lindström, Mikael
Sundby (SMHI) och Claes-Olof
Brandesten (Vattenfall Hydropower AB)
(1992)
Känslighetsanalys av Flödeskommitténs
riktlinjer för dimensionering av hel älv.
- 39 Sten Lindell (1993)
Realtidsbestämning av arealnederbörd.
- 40 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Vattenföring i Sverige. Del 1. Vattendrag
till Bottenviken.
- 41 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Vattenföring i Sverige. Del 2. Vattendrag
till Bottenhavet.
- 42 Svenskt Vattenarkiv (1993)
Vattenföring i Sverige. Del 3. Vattendrag
till Egentliga Östersjön.
- 43 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Vattenföring i Sverige. Del 4. Vattendrag
till Västerhavet.
- 44 Martin Häggström och Jörgen Sahlberg
(1993)
Analys av snösmältningsförlopp.
- 45 Magnus Persson (1993)
Utnyttjande av temperaturens persistens
vid beräkning av volymsprognoser med
HBV-modellen.
- 46 Göran Lindström, Joakim Harlin och
Judith Olofsson (1993)
Uppföljning av Flödeskommitténs
riktlinjer.
- 47 Bengt Carlsson (1993)
Alkalinitets- och pH-förändringar i Ume-
älven orsakade av minimitappning.
- 48 Håkan Sanner, Joakim Harlin and
Magnus Persson (1994)
Application of the HBV model to the
Upper Indus River for inflow forecasting
to the Tarbela dam.
- 49 Maja Brandt, Torbjörn Jutman och
Hans Alexandersson (1994)
Sveriges vattenbalans. Årsmedelvärden
1961 - 1990 av nederbörd, avdunstning
och avrinning.
- 50 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Avrinningsområden i Sverige. Del 3.
Vattendrag till Egentliga Östersjön och
Öresund.
- 51 Martin Gotthardsson (1994)
Svenskt Vattenarkiv.

- Översvämningskänsliga områden i Sverige.
- 52 Åsa Evremar (1994)
Avdunstningens höjdberoende i svenska fjällområden bestämd ur vattenbalans och med modellering.
 - 53 Magnus Edström och Pia Rystam (1994)
FFO - Stationsnät för fältforskningsområden 1994.
 - 54 Zhang Xingnan (1994)
A comparative study of the HBV model and development of an automatic calibration scheme.
 - 55 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Svenskt dammregister - Södra Sverige.
 - 56 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Svenskt dammregister - Norra Sverige.
 - 57 Martin Häggström (1994)
Snökartering i svenska fjällområdet med NOAA-satellitbilder.
 - 58 Hans Bertil Wittgren (1995)
Kvävetransport till Slätbaken från Söderköpingsåns avrinningsområde
 - 59 Ola Pettersson (1995)
Vattenbalans för fältforskningsområden.
 - 60 Barbro Johansson, Katarina Losjö, Nils Sjödin, Remigio Chikwanha and Joseph Merka (1995)
Assessment of surface water resources in the Manyame catchment - Zimbabwe.
 - 61 Behzad Koucheiki (1995)
Älvtemperaturers variationer i Sverige under en tioårsperiod.
 - 62 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Sänkta och torrlagda sjöar.
 - 63 Malin Kanth (1995)
Hydrokemi i fältforskningsområden.
 - 64 Mikael Sundby, Rikard Lidén, Nils Sjödin, Helmer Rodriguez, Enrique Aranibar (1995)
Hydrometeorological Monitoring and Modelling for Water Resources Development and Hydropower Optimisation in Bolivia.
 - 65 Maja Brandt, Kurt Ehlert (1996)
Avrinningen från Sverige till omgivande hav.
 - 66 Sten Lindell, Håkan Sanner, Irena Nikolushkina, Inita Stikute (1996)
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Latvia
 - 67 Sten Lindell, Bengt Carlsson, Håkan Sanner, Alvina Reihan, Rimma Vedom (1996)
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Estonia
 - 68 Sara Larsson, Rikard Lidén (1996)
Stationstäthet och hydrologiska prognoser.
 - 69 Maja Brandt (1996)
Sedimenttransport i svenska vattendrag exempel från 1967-1994.
 - 70 Svenskt Vattenarkiv (1996)
Avrinningsområden i Sverige. Del 4. Vattendrag till Västerhavet.
 - 71 Svenskt Vattenarkiv (1996)
Svenskt sjöregister. 2 delar
 - 72 Sten Lindell, Lars O Ericsson, Håkan Sanner, Karin Göransson SMHI
Malgorzata Mierkiewicz, Andrzej Kadlubowski, IMGW (1997)
Integrated Hydrological Monitoring and Forecasting System for the Vistula River Basin. Final report.
 - 73 Maja Brandt, Gun Grahn (1998)
Avdunstning och avrinningskoefficient i Sverige 1961-1990. Beräkningar med HBV-modellen.
 - 74 Anna Eklund (1998)
Vattentemperaturer i sjöar, sommar och vinter - resultat från SMHIs mätningar.
 - 75 Barbro Johansson, Magnus Edström, Katarina Losjö och Sten Bergström (1998)
Analys och beräkning av snösmältningsförlopp.
 - 76 Anna Eklund (1998)
Istjocklek på sjöar.
 - 77 Björn Bringfelt (1998)
An evapotranspiration model using SYNOP weather observations in the Penman-Monteith equation
 - 78 Svenskt Vattenarkiv (1998)
Avrinningsområden i Sverige. Del 2 Vattendrag till Bottenhavet.
 - 79 Maja Brandt, Anna Eklund (1999)
Snöns vatteninnehåll Modellberäkningar och statistik för Sverige
 - 80 Bengt Carlsson (1999)
Some facts about the Torne and Kalix River Basins.
A contribution to the NEWBALTIC II workshop in Abisko June 1999.
 - 81 Anna Eklund (1999)
Isläggning och islossning i svenska sjöar.
 - 82 Svenskt Vattenarkiv (2000)
Avrinningsområden i Sverige. Del 1. Vattendrag till Bottenviken.
 - 83 Anna Eklund, Marie Gardelin, Anders Lindroth (2000)

- Vinteravdunstning i HBV-modellen - jämförelse med mätdata
- 84 Göran Lindström, Mikael Ottosson Lofvenius (2000)
Tjäle och avrinning i Svartberget – studier med HBV-modellen
 - 85 Bengt Carlsson och Göran Lindström (2001)
HBV-modellen och flödesprognoser
 - 86 Josef Källgården (2001)
Snow distribution in a mountainous region. A remote sensing study.
 - 87 Johan Andréasson, Anders Gyllander, Barbro Johansson, Josef Källgården, Sten Lindell, Judith Olofsson, Angela Lundberg (2001)
Snötaxering med georadar - Bättre vårflödesprognoser med HBV-modellen?
 - 88 Deliang Chen, Barbro Johansson (2003)
Temperaturens höjdberoende – En studie i Indalsälvens avrinningsområde.
 - 89 Agne Lärke, Håkan Sanner, Anna Johnell (2003)
Utvärdering av SMHI:s prognos- och varningstjänsts verksamhet under flödena januari t o m mars 2002 i sydvästra Sverige
 - 90 Johan Jansson (2003)
Satellite data on snow cover in the HBV model. Method development and evaluation
 - 91 Charlotta Pers (2003)
BIOLA – BIOgeochemical LAke Model Manual
 - 92 Carl Granström (2003)
Utvärdering av SMHI:s prognos- och varningstjänsts verksamhet under flödet i området runt Emån juli 2003
 - 93 Carl Granström (2003)
Modell för prognos av tidpunkt och karaktär för islossningen i Torne älv.
 - 94 Maja Brandt och Gun Grahn, SMHI. Erik Årnfelt och Niclas Bäckman, Länsstyrelsen Östergötland (2004)
Anpassning av TRK-systemet från nationell till regional nivå samt scenarieräkningar för kväve – Tester för Motala Ström
 - 95 Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHI:s hydrologiska prognos- och varningstjänst under flödet i södra Lappland juli 2004.
 - 96 Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHI:s hydrologiska prognos- och varningstjänst under flödet i Småland juli 2004.
 - 97 Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHI:s hydrologiska prognos- och varningstjänst under flödet i nordvästra Lappland juli 2004.
 - 98 Tahsin Yacoub, Ylwa Westman, Håkan Sanner, Bernth Samuelsson (2005)
Detaljerad översvämningskarta för Eskilstunaån. Ett projekt inom KRIS-GIS
 - 99 Carl Granström (2005)
Utvärdering av SMHI:s hydrologiska prognos- och varningstjänst under vårfloden i fjällen juni 2005
 - 100 Tahsin Yacoub, Håkan Sanner (2006)
Vattenståndsprognoser baserade på översiktlig kartering. En fallstudie.
 - 101 Göran Lindström (2006)
Regional kalibrering av HBV-modellen
 - 102 Kurt Ehlert (2006)
Svenskt Vattendragsregister
 - 103 Charlotta Pers (2007)
HBV-NP Model Manual
 - 104 Barbro Johansson, Göran Lindström, Jonas Olsson, Tahsin Yacoub, Günter Haase, Karin Jacobsson, Anna Johnell, Håkan Sanner (2007)
Översvämningsprognoser i områden med ofullständiga data. Metodutveckling och utvärdering.
 - 105 Carl Granström, Anna Johnell, Martin Häggström (2007)
Utvärdering av SMHI:s hydrologiska prognos- och varningstjänst under höga flöden i sydvästra Sverige - nov 2006 till jan 2007
 - 106 Johan Andréasson, Sara-Sofia Hellström, Jörgen Rosberg, Sten Bergström (2007)
Översiktlig kartpresentation av klimatförändringars påverkan på Sveriges vattentillgång - Underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen”
 - 107 Berit Arheimer, Charlotta Pers (2007)
Kväveretention i svenska sjöar och vattendrag – betydelse för utsläpp från reningsverk
 - 108 Calle Granström, Martin Häggström, Sten Lindell, Judith Olofsson, Anna Eklund (2007)
Utvärdering av SMHI:s hydrologiska prognos- och varningstjänst under höga flöden i Götaland – juni och juli 2007
 - 109 Niclas Hjerdt, Markus Andersén, Christer Jonsson och Dan Eklund (2007)
Hydraulik i Klarälvens torrfåra vid tappningar från Höljes kraftverksdamm

- 110 Sara-Sofia Hellström, Göran Lindström (2008)
Regional analys av klimat, vattentillgång och höga flöden
- 111 Calle Granström, Linda Gren, Magdalena Dahlin, Sara-Sofia Hellström (2008)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under höga flöden under vårfloden 2008
- 112 Gitte Berglöv, Jonas German, Hanna Gustavsson, Ulrika Harbman, Barbro Johansson (2009)
Improvement HBV model Rhine in FEWS. Final report
- 113 Katarina Norén, Carl Granström, Roger Eriksson (2010)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under vårfloden i södra Sverige 2010
- 114 Katarina Norén, Carl Granström, Roger Eriksson (2010)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under vårfloden i Norrland 2010
- 115 Gunn Persson m.fl (2011)
Detaljerad översvämningskartering av nedre Torneälven



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 NORRKÖPING
Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01

ISSN 0283-7722