



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

Högupplösta nederbördsprognoser för hydrologisk riskbedömning

FORSKNING

MSB:s kontaktpersoner:
Barbro Näslund-Landenmark, 010-240 5050
Håkan Marcusson, 010-240 5229

Publikationsnummer MSB1071 – januari 2017
ISBN 978-91-7383-726-2

Förord

Denna rapport sammanfattar arbetet inom forskningsprojektet *Högupplösta nederbördsprognoser för hydrologisk riskbedömning* (under projektiden även benämnt det något bredare och mer rättvisande *Intensiv nederbörd och hydrologisk risk*). Projektet har genomförts som ett samarbete mellan SMHI, SGI och Karlstads Universitet (KAU). Rapportens huvudförfattare är Jonas Olsson (SMHI), Charlotte Cederbom (SGI) och Tonje Grahn (KAU).

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Förkortningar och begrepp	7
1. Bakgrund	8
2. Frågeställningar	10
3. Forskning och resultat	11
3.1 Observationer av intensiv nederbörd	11
3.2 Prognoser för intensiv nederbörd	16
3.3 Hydrologiska konsekvenser av intensiv nederbörd	17
3.3.1 Slamströmmar	17
3.3.2 Nationell simulering av snabba flödesvariationer	18
3.3.3 Avrinning i städer	19
3.4 Ekonomiska konsekvenser av intensiv nederbörd	20
3.4.1 Delstudie 1: Regnrelaterade översvämningsskador: Försäkrade skador på bostad och inventarier	20
3.4.2 Delstudie 2: Effekter av tidsvarierande faktorer på regnrelaterade försäkrade skador på bostäder till följd av översvämning	22
3.5 SMHIs prognos- och varningstjänst	23
3.5.1 Utvärdering för bedömning av slamströmsrisk	23
3.5.2 Operationellt test av 1-h vattenflödesprognoser	26
4. Slutsatser och diskussion	29
4.1 Praktisk nytta av projektets resultat	29
4.1.1 Observationer och prognoser av nederbörd	29
4.1.2 Nationella 1-h vattenflödesprognoser	29
4.1.3 Tillämpning för slamströmmar	30
4.1.4 Ekonomiska konsekvenser	30
4.2 Förslag för framtiden	30
Litteraturlista	34
Framtaget inom projektet	34
Övriga referenser i rapporten	34
Bilaga 1: Kristinehamnsregnet 2014	36
Bilaga 2: Hallandsregnet 2014	37
Bilaga 3: Malmöregnet 2014	38
Bilaga 4: Hallsbergsregnet 2015	40

Sammanfattning

SMHI, SGI och KAU har under 2011-2015 genomfört forskningsprojektet *Intensiv nederbörd och hydrologisk risk*. Projektets övergripande syfte var att utveckla vår kapacitet att kvantifiera och riskbedöma hydrologiska effekter av skyfall (intensiv korttidsnederbörd). Detta syfte har åstadkommit genom att t.ex.:

- Ta fram nya data med detaljerad (i tid och rum) nederbörd. Radarobservationer har kombinerats med stationsdata för att ta fram en ny databas. Data från en stor mängd skyfall har analyserats för att öka vår kunskap. Nya mätningar har gjorts för att kvantifiera den orografiska effekten (nederbördens beroende av altitud).
- Utvärdera detaljerade nederbördsprognoser. Olika typer har studerats för att kvantifiera osäkerheterna i tid och rum vad gäller skyfallsprognoser samt att utvärdera deras användbarhet för hydrologisk prognosering.
- Utveckla och testa verktyg för detaljerad simulering av vattenflöden. Den hydrologiska modellen HYPE har anpassats och utvärderats för simulering på 1-timmets tidssteg. Sverigemodellen S-HYPE har testats operationellt under sommaren 2015.
- Optimera nyttan av SMHIs befintliga system för varningsinformation för kommuner med slamströmsproblematik. Kunskapsläget och hanteringen av SMHIs varningsinformation i svenska kommuner med potentiell slamströmsproblematik studerades för att få en bild av förbättringsbehov och behov av kunskapsspridning i landet.
- Genomföra en mer tekniskt inriktad detaljstudie i Åre kommun i syfte att kunna ge input av mer teknisk art till SMHIs varningsinformation på en plats som drabbas frekvent av slamströmmar.
- Analysera den ökande trenden i försäkringsskador och hur denna ökning är relaterad till intensiv nederbörd och socio-ekonomisk tillväxt. Vidare har det utvärderats hur befintliga data kan användas för att ta fram kostnadsfunktioner för att värdera skador på bostäder till följd av regn, på objekts-, lokal och regional nivå.

Projektets huvudsakliga slutprodukter är följande:

- Nederbördsdatabasen HIPRAD (v. 1.0)
- Den hydrologiska modellen 1-h S-HYPE (v. 1.0)
- Hydrologiska prognoser: ny kunskap om behov och möjligheter samt förslag på utveckling av nuvarande prognosystem
- Metodik för ekonomisk analys och kostnadsfunktioner för regnrelaterade skador

- Förslag på fortsatt arbete hos kommuner och myndigheter för att förebygga och minska negativa konsekvenser av slamströmmar
- Artiklar, rapporter, m.m.

Det är vår tro och förhoppning att dessa produkter kommer till praktisk nytta för att förbättra samhällets förmåga att hantera skyfall och dess konsekvenser.

Förkortningar och begrepp

(nederbörds-)cell	Ett litet område med hög nederbördsintensitet, kan uppträda enskild eller inbäddad i ett större nederbördsområde med lägre intensitet.
ensembleprognos	Ett antal lika sannolika prognoser baserade på små skillnader i starttillstånd.
fluvial översvämning	Översvämning i ett vattendrag orsakad av nederbörd eller snösmältning som infiltrerar under en längre tid.
griddade data	Data som observeras och/eller tillgängliggörs i ett rutnät (grid) med viss upplösning.
HARMONIE/HarmonEPS	Meteorologiska väderprognosmodeller som används vid SMHI.
HIPRAD	Griddad databas med nederbörd över Sverige baserad på väderradar. Den ursprungliga versionen har upplösningarna 4×4 km ² och 1 timme.
hydraulisk modell	Datormodell som främst används för att detaljerat beskriva lokala vattenflöden i t.ex. kanaler och rörsystem.
hydrologisk modell	Datormodell som främst används för att beskriva hur nederbörd och snösmältning omvandlas till vattenflöde i sjöar och vattendrag.
HYPE (S-HYPE)	Hydrologisk modell som används för hydrologisk simulering och prognosering vid SMHI (S-HYPE är den Sverige-täckande versionen).
KNEP	Korta NEDerbördsPronoser, nowcasting-modell som används vid SMHI.
konvektiv nederbörd	Nederbörd skapad av uppvärmning vid markytan och efterföljande stigning/avkylning av fuktig luft.
MetCoOp	Samarbete mellan de meteorologiska instituten i Sverige och Norge.
nowcasting	Prognosering av nederbörd genom att förflytta radarbilder framåt i tiden.
orografisk effekt	Nederbördens beroende av altitud; nederbörden ökar normalt med ökande altitud.
pluvial översvämning	Lokal översvämning skapad av nederbördsintensitet som överskrider förmågan till infiltration/avledning.
PTHBV	Griddad databas med nederbörd över Sverige baserad på stationsdata (4×4 km ² , 1 dygn).
slamström	Snabb massrörelse i vilken en kombination av lös jord, sten, organiskt material, luft och vatten mobiliseras som en lös sörja.
skadefunktion	Uttryck som används för att uppskatta en skadas omfattning (också kallat sårbarhetsfunktion).
varaktighet	Tiden från ett regns start till dess slut.
återkomsttid	Den tidsperiod under vilken en specifik händelse i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång.

1. Bakgrund

Översvämningar orsakade av stora nederbörds mängder är ett återkommande problem i Sverige, som dessutom förväntas öka i takt med klimatförändringen. I vissa fall är översvämningen en följd av långvarigt regnande från stora nederbördsområden (t.ex. fronter) som leder till långsamt stigande vattenflöden (s.k. fluviala översvämningar). I andra fall handlar det om korta, intensiva skurar vars volym inte hinner infiltrera eller dräneras utan den ansamlas på markytan i ett snabbt förlopp (pluviala översvämningar). Denna sistnämnda typ av händelser, som oftast uppträder sommartid i samband med lokal konvektion, drabbar särskilt urbana områden, med stor andel hårdgjord yta, samt områden med kraftig lutning och/eller tunna jordar. Risken för skador på byggnader och infrastruktur är betydande.

Intensiv, lokal nederbörd är emellertid mycket svår att prognosera just eftersom det är ett så småskaligt fenomen. Dagens meteorologiska prognosmodeller har inte tillräckligt hög rumslig upplösning för att fullständigt beskriva t.ex. lokal konvektion. Dessutom är de atmosfäriska processerna komplexa och delvis ofullständigt kända. I syfte att förbättra träffsäkerheten i nederbördsprognoser sker kontinuerlig utveckling av ny metodik, t.ex. genom att använda radarobserverad nederbörd för att bättre beskriva nederbördssituationen vid prognostillfället och under de närmaste timmarna framåt.

Vad gäller vattenflödesprognoser (d.v.s. översvämningrisk) utfärdas dessa idag operationellt en gång dagligen med ett tidssteg på 1 dygn. Prognoserna görs med en hydrologisk modell som använder temperatur och nederbörd som indata. Eftersom tidssteget är 1 dygn måste prognoserad nederbörd ackumuleras över dygnet till ett dygnsmedelvärde. För utdragen frontnederbörd kan dygnsmedelvärdet vara någorlunda representativt för den verkliga nederbörden, men för korta, intensiva händelser är dygnsmedelvärdet inte representativt. Därför kan pluviala översvämningar normalt inte förutsägas i dagens prognosystem.

Slamströmmar är en form av snabb massrörelse i vilken en kombination av lös jord, sten, organiskt material, luft och vatten mobiliseras som en lös sörja som rinner nedför sluttningen. De orsakas ofta av intensivt ytvattenflöde, som i sin tur orsakats av kraftig nederbörd eller kraftig snösmältning, och som leder till erosion och mobilisering av lösa jordar och stenar i branta släntar. Slamströmmar orsakar årligen dödsfall och enorma materiella skador runt om i världen. I Sverige har flera slamströmmar inträffat de senaste decennierna som resulterat i betydande skador på bebyggelse och infrastruktur. Ett exempel är slamströmmen i Mörviksravinen, Åre, den 5 juni 2003 som bland annat orsakade översvämning, kollaps av delar av kanalen genom samhället och bortspolning av vägtrummor. Det finns ett behov av att kunna förebygga negativa konsekvenser av slamströmmar även i Sverige, trots att det inte är en lika vanligt förekommande naturolycka som i många andra länder. SMHI:s

varningssystem är ännu inte utformat så att det tar hänsyn till eller kan varna specifikt för kortvariga, intensiva skyfall eller väderhändelser i kombination med markförhållanden som kan ge upphov till slamströmmar, även om den förbättrade upplösningen i tid och rum i kombination med deras hydrologiska modell teoretiskt möjliggör det.

Regn-relaterade översvämningar förväntas öka i framtiden, som en konsekvens av förändringar av både klimatet och samhället (t.ex. städers förtätning). Som en konsekvens förväntas också samhällsliga och privata förluster att öka. Strategier för att hantera och förebygga oönskade konsekvenser behöver tas fram. Från inträffade händelser kan vi få kunskap om konsekvenser och sårbarheter vilken kan utgöra ett underlag för riskanalyser av framtida osäkra och oönskade händelser. I Sverige har informationen om skadors monetära värden varit knapphändig. Detta har gjort det svårt att genomföra ekonomiska analyser av potentiella scenarier och utvärdera ekonomisk effektivitet av åtgärder i ett samhällsperspektiv. En aktivitet inom projektet har varit att identifiera risk-indikatorer med ekonomisk inverkan som i sin tur kan användas för att ta fram skadefunktioner anpassade till en svensk kontext. Det slutliga målet är att kunna beskriva olika scenarier i monetära termer och därmed underlätta för ekonomisk analys av förebyggande åtgärder.

2. Frågeställningar

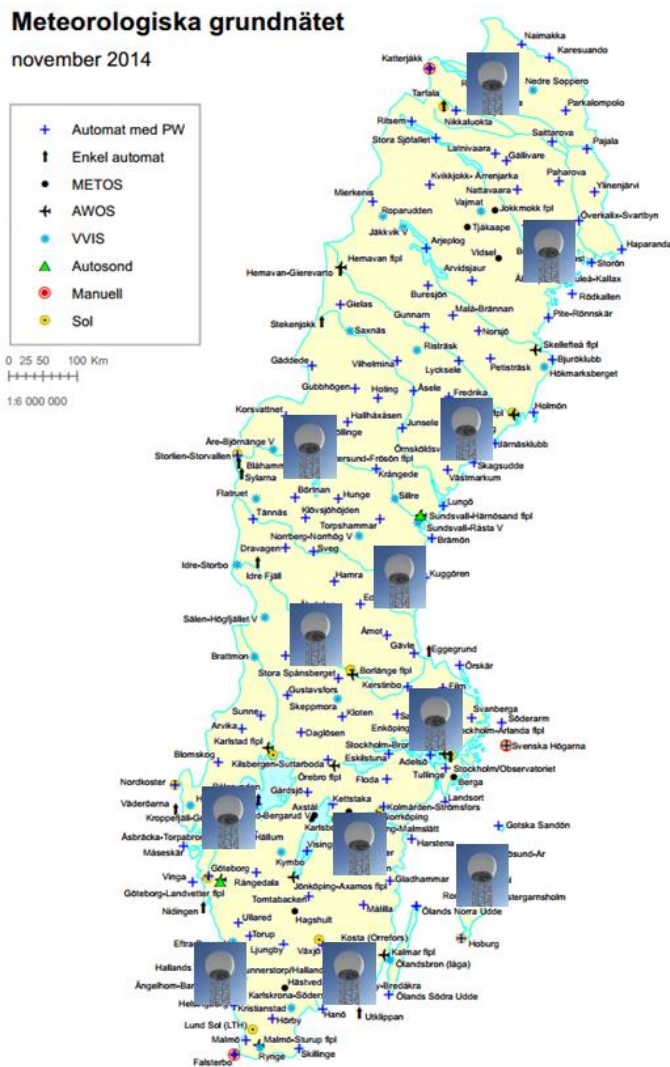
Inför och under projektet identifierades ett antal frågeställningar som aktiviteterna inom projektet skulle syfta till att besvara.

- Kunskap: Hur kan olika mätutrustning (t.ex. radar och automatstationer) kombineras för att optimalt beskriva intensiva regnområden och dess variation i tid och rum? Vad är typiskt för intensiva regntillfällen vad gäller regnområdenas storlek, varaktighet och förändring över tid? Sker de intensivaste regnen främst i vissa delar av landet? Finns det relevanta kunskapskällor och aktörer i Europa när det gäller förebyggande arbete med slamströmmar? Hur ser nederbördsmönstret ut i Åre i det avrinningsområde som drabbas frekvent av slamströmmar? Är det god överensstämmelse mellan SMHIs nederbördsmätningar som görs i väder- och radarstationer en bit därifrån och mätningar som görs på plats när det gäller kortvarig, intensiv nederbörd?
- Beredskap: Vilken träffsäkerhet har dagens regnprognoser m.a.p. intensiv nederbörd? Hur kan olika datakällor och prognosprodukter kombineras för olika hydrologiska tillämpningar? Vilket mervärde skulle kunna erhållas av tätare vattenflödesprognoser än dagens dygns-baserade system? Hur är kunskapsnivån bland svenska kommuner som potentiellt har problem med slamströmmar Hur agerar de vid varningar som utfärdas av SMHI? Finns det någon utvecklingspotential när det gäller användandet av SMHIs varningsinformation för att förebygga negativa konsekvenser av slamströmmar?
- Kostnadsanalys: Kan kostnader för skador orsakade av intensiv nederbörd beskrivas genom skadefunktioner med utvalda förklarande faktorer? Kan regn- och flödesprognoser utnyttjas bättre för att öka nyttan av varningar i specifika tillämpningar och situationer? Kan planering och beslutsstöd på t.ex. kommunal nivå förbättras genom verktyg för riskbedömning kopplad till intensiv nederbörd?

3. Forskning och resultat

3.1 Observationer av intensiv nederbörd

Observationer av intensiv nederbörd kräver att mätningarna utförs med ett kort tidssteg, så att kortvariga extrema nederbördsintensiteter kan fångas. Tillgängliga datakällor inom SMHI är nätverken av automatstationer och radarer (Figur 1). Automatstationerna (c:a 140 st.) mäter med ett 15-min tidssteg och har varit i drift sedan 1996. Radarerna mäter nederbörd med upp till 5 min tidsupplösning, har varit i drift sedan 2000 och den bearbetade slutprodukten är i form av ett 2×2 km² grid över Sverige.

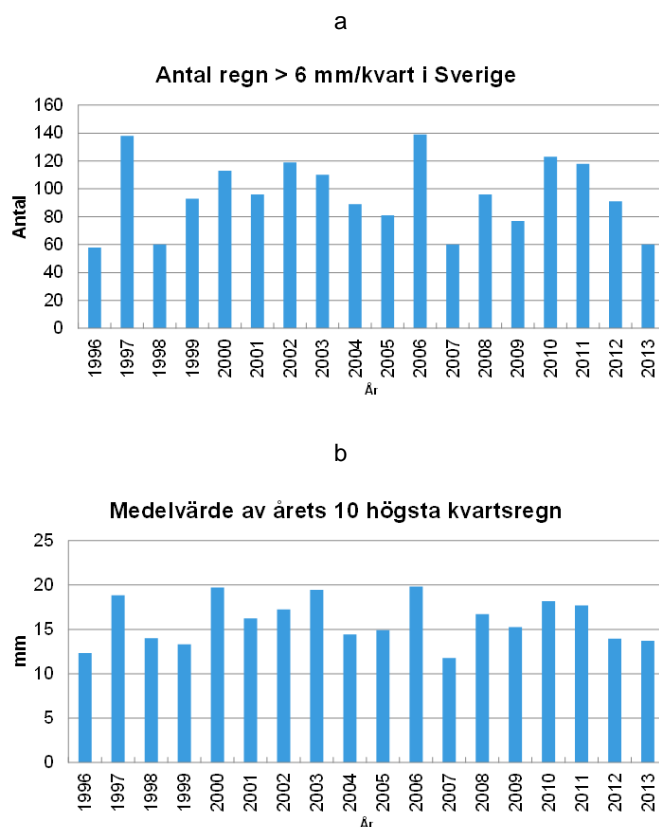


Figur 1. SMHIs nät av meteorologiska stationer och radarer.

De båda datakällorna kan sägas komplettera varandra. Stationerna har en hög noggrannhet m.a.p. nederbördsintensitet men nätet är relativt glest och mycket nederbörd missas naturligtvis. Radarerna, å andra sidan, har full rumslig

täckning men avsevärt lägre noggrannhet vad gäller intensitet, framför allt för ackumulationer över längre perioder. Detta beror dels på osäkerheter i det samband mellan "radarekostyrka" och nederbördsintensitet som måste användas, dels på att falska ekon uppstår t.ex. i speciella meteorologiska situationer och när föremål blockerar radarsignalen. Inom projektet har mycket arbete lagts på granskning och korrektion av nederbördsobservationerna, både från stationer och från radar. Detta har gjorts dels genom ren rimlighetskontroll, dels genom jämförelser med andra nederbördsdatakällor på dygnssteg.

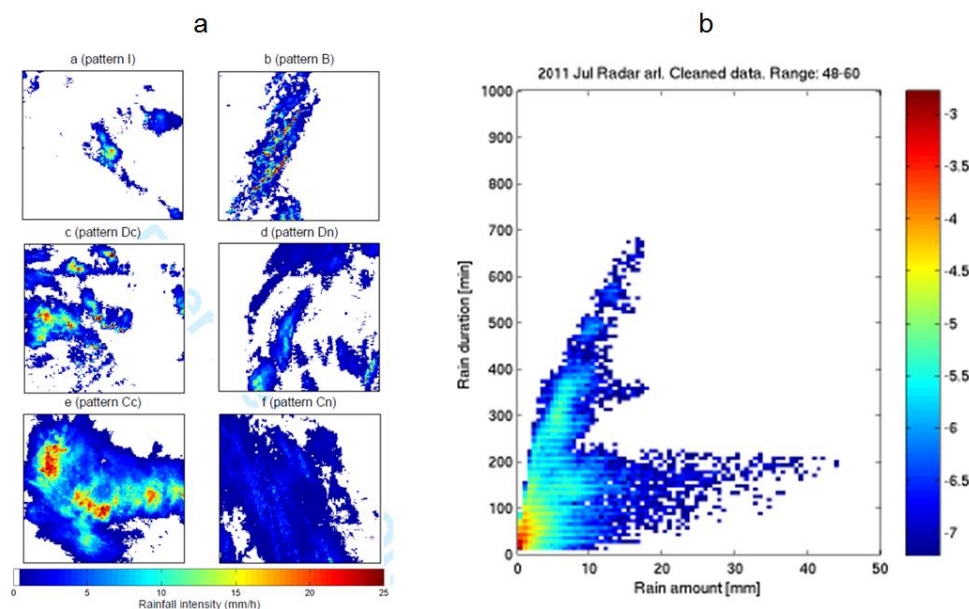
År 2013 gjordes en analys av stationsdata för att sätta de senaste årens förekomst av intensiv nederbörd i relation till tidigare år. Figur 2 visar att både antalet intensiva regn (Figur 2a) och intensiteten på de högsta (Figur 2b) i början av 2010-talet låg i nivå med tidigare år. Perioden är för kort för att dra slutsatser om långsiktiga trender i klimatet.



Figur 2. Analys av intensiva nederbördsfall i perioden 1996-2013.

Vidare plockades ur stationsdatabasen ut 48 oberoende fall av extrem korttidsnederbörd för specialstudier. Antalet tidigare undersökningar av nederbördssystem som genererar extrem korttidsnederbörd är lågt i Sverige och det finns stort behov av ökad kunskap. De 48 händelserna representerade ungefär regn med 10 års återkomsttid för olika varaktigheter mellan 1 och 24 h. För samtliga fall plottades radarbilder för att studera nederbördsintensitetens rumsliga utbredning och variation. Figur 3a visar typiska exempel på nederbördsområden som orsakar extrem korttidsnederbörd. Områdena av typ

a-c (Figur 3a) är främst kopplade till 1-3 h extrem nederbörd medan områdena d-f främst orsakar extremer på 12-24 h. Noterbart är dels hur litet området med verkligt hög intensitet kan vara, bara ett fåtal km², dels förekomsten av sammanhängande områden med kraftiga celler, som kan generera extrem nederbörd på alla varaktigheter (Figur 3a). Dessa egenskaper är avgörande för möjligheten till prognosering (se avsnitt 3.2). Se vidare Olsson m.fl. (2013).



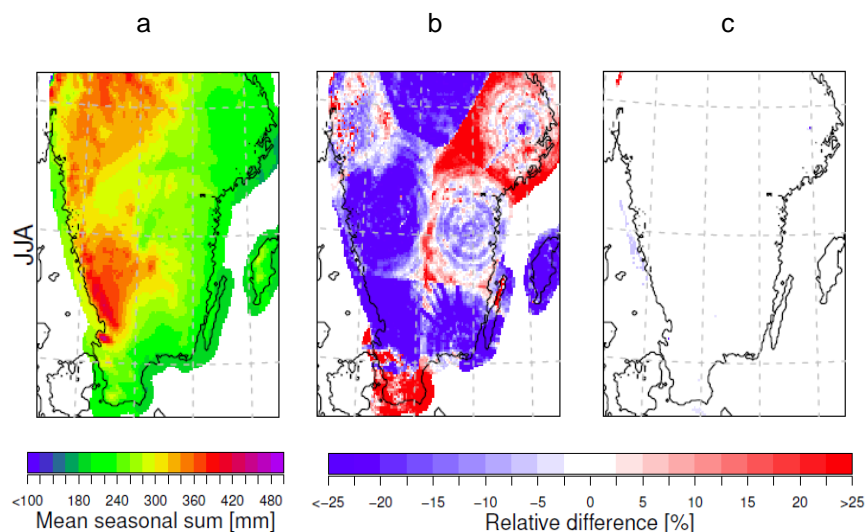
Figur 3. (a) Radarbilder som exemplifierar olika nederbördsmonster som kan skapa intensiv korttidsnederbörd: enskilda nederbördsceller, "regnband" samt uppsplittrade eller homogena områden med eller utan tydliga celler. (b) Regnmängd (x-axel) som funktion av varaktighet (y-axel). De båda "armarna" representerar storskalig (övre) samt småskalig (nedre) nederbörd. Från Olsson m.fl. (2013).

Även olika angrepp för att använda radardata för statistisk analys har utvecklats och testats. I Figur 3b har total mängd under en regnhändelse plottats mot regnets varaktighet över en längre period. En resulterande grafen innehåller två "armar" som avspeglar olika typer av regn. Den övre armen beskriver långvariga regn med låg till måttlig intensitet, skapade av storskaliga frontregn. Den nedre armen beskriver kortvariga skurar med hög intensitet, skapade av småskaliga nederbördsceller. Grafens utseende avspeglar alltså nederbörds klimatet och är potentiellt användbar för regional analys.

Radarbilderna överensstämmer ofta tillfredsställande med lokala nederbördsobservationer för enstaka händelser. Detta har inom projektet visats för t.ex. extrema nederbördshändelser i Jönköping 2013, Åre 2014 och Malmö 2014 (Hernebring m.fl., 2015) och bilder har använts i projektets ekonomiska analys (avsnitt 3.4). Men som nämnts ovan är ackumulerad nederbörd över långa perioder från radar påverkad av olika felkällor, vilket leder till att data inte är direkt användbart för hydrologisk simulering. En huvudsaklig aktivitet inom projektet har därför varit att ta fram och applicera en metodik för att justera radardata och p.s.s. ta fram en högupplöst (15-min) nationell griddad nederbördsdatabas för hydrologiska tillämpningar – HIPRAD (Berg m.fl., 2015). En sådan databas är en förutsättning för den utveckling mot tätare

nationella vattenflödesprognoser som beskrivs i avsnitt 3.3.2 och 3.5.2. Den metodik som tagits fram använder den nationella s.k. PTHBV-databasen med griddad ($4 \times 4 \text{ km}^2$) dygnsnederbörd som används för kalibrering av och simulering med vattenflödesmodeller på SMHI. PTHBV är baserad på dygnsobservationer av nederbörd från ca 700 stationer som interpolerats till ett grid genom att ta hänsyn till topografi och vindförhållanden.

I metoden skalas de ursprungliga radardata om inom ett glidande tidsfönster så att den ackumulerade nederbörden över längre perioder överensstämmer med PTHBV. I Figur 4 illustreras de systematiska skillnader mot PTHBV som finns i de ursprungliga radardata vad gäller sommarnederbörd i södra Sverige (Figur 4b) och den exakta överensstämelsen i HIPRAD efter justering (Figur 4c). I den resulterande produkten är tidsupplösningen ökad med en faktor 96 (1 dygn \rightarrow 15 min) jämfört med PTHBV och rumsupplösningen med en faktor 4 ($16 \text{ km}^2 \rightarrow 4 \text{ km}^2$).



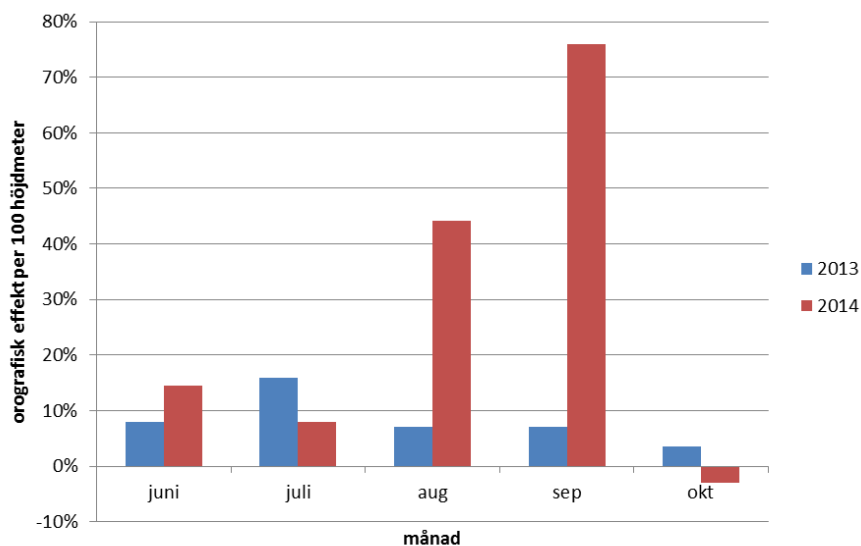
Figur 4. (a) Total observerad sommarnederbörd i södra Sverige, interpolerad från stationsdata. (b) Avvikelse från Figur 4a i okorrigerad radardata; sommarnederbörden har ett fel på ca $\pm 25\%$ (b) Avvikelse från Figur 4a i HIPRAD; efter korrektion överensstämmer radardata med stationsobservationerna.

Åre är den kommun i Sverige som troligen drabbas mest frekvent av slamströmmar i bebyggda områden och där spåren av tidigare slamströmmar är mest uppenbara i den bebyggda miljön. Samhället Åre är lokaliserat vid foten av Åreskutan, i nedre delen av Mörviksåns avrinningsområde. Vi placerade ut två nederbördsmätare på olika höjd och registrerade nederbördsintensiteten under juli till oktober 2013 och 2014 i avrinningsområdet. Uppmätt nederbördsdata har jämförts med de nederbördsdata som SMHI samlar via automatiska väderstationer och radarstationer en bit därifrån.

Våra fältmätningar av nederbörden i Mörviksåns under 2013 och 2014 visar att nederbördsmönstret skiljer sig åt de två åren. Under 2014 har fler kortvariga, intensiva nederbördstillfällen skett under augusti och september månad i jämförelse med året innan. Dessa tillfällen har företrädesvis registrerats i

mätaren nära toppen. Under oktober månad 2014 har dock mätaren nära dalbotten registrerat betydligt mer nederbörd. Variationen är också stor mellan uppmätt nederbördsmängd i Mörviksån och uppmätt nederbördsmängd i den närmast belägna permanenta väderstationen i Järpströmmen, vilket indikerar att nederbördsdata från Järpströmmen inte kan anses vara representativ för Mörviksån.

Vi har beräknat den genomsnittliga orografiska effekten i Mörviksån mellan våra två mätare (Figur 5). Den orografiska effekten innebär att mer nederbörd faller ut ju högre upp i terrängen man kommer då fuktig luft kyls av och vattenångan kondenserar. Den orografiska effekten varierar över tiden för en specifik plats eftersom den påverkas av de rådande väderbetingelserna; bland annat vindriktning, luftfuktighet och temperatur. Medelvärdet för den orografiska effekten efter 10 månaders mätning är $1,18 \pm 0,29$ vilket innebär ett snitt på 18% ökning i nederbördsmängd per 100 m med en hög standardavvikelse mellan kalendermånaderna. Punktstudier visar att variationen (standardavvikelsen) är ännu högre vid jämförelse mellan enskilda nederbördstillfällen som varar något eller några dygn. Vi har inte studerat den orografiska effekten för nederbördstillfällen kortare än ett dygn. Resultatet från våra beräkningar indikerar att när väderförhållandena i Åre är som de var under augusti och september 2014 så behöver man ta höjd för en mycket kraftig orografisk gradient i Mörviksåns avrinningsområde då man prognostiserar nederbördsmängden.



Figur 5. Beräknad orografisk effekt under 2013 och 2014.

Nederbördsdata från våra mätstationer i Mörviksån har även jämförts med data från SMHIs nyligen framtagna databas HIPRAD. I jämförelsen som gjorts används data från de grid-rutor som täcker de båda SGI-stationerna. Totalt sett verifierar den begränsade jämförelsen av nederbördsdata från mätstationerna och HIPRAD databasen de lokala mätningarna, och de indikerar att HIPRAD kan användas för att studera enskilda nederbördshändelser. De indikerar också

att månadsnederbörden som registrerats i mätstationen i dalen är en underskattning av den nederbördsmängd som föll under augusti och september 2014 i området. I så fall är medelvärdet för den orografiska effekten vi presenterar ovan för hög. En alternativ tolkning av månadsjämförelsen är att den nederbörd som föll under augusti och september 2014 dominerades av konvektionsdriven nederbörd som föll mycket lokalt vid toppen och att mätstation 1 hamnade i regnskugga på läsidan av Åreskutan. I så fall är den beräknade orografiska effekten de här två månaderna viktiga indikatorer på de stora variationer som råder på platsen. Vi har i nuläget inte tillräckligt underlag för att förkasta eller verifiera något av tolkningsalternativen, men konstaterar att variationerna i beräknad orografisk effekt är stora mellan enstaka nederbördshändelser även om man bortser från data från aug och sep 2014.

3.2 Prognoser för intensiv nederbörd

Det finns ett flertal olika typer av prognosmodeller som kan användas för att förutäga intensiv nederbörd. Man kan skilja mellan tre huvudtyper, vilka samtliga har studerats i olika skeden av projektet:

- Atmosfärmodell: Numerisk modell som på basis av fysikaliska lagar förutsäger atmosfärens utveckling från ett givet starttillstånd.
- Ensemblemodell: Atmosfärmodell som baserat på starttillståndets osäkerhet förutsäger olika tänkbara framtida utvecklingar.
- Nowcasting-modell: Modell som utgår från radarobservationer och extrapolerar nederbördsområden framåt i tiden.

Under projektets löptid driftsattes SMHIs nya högupplösta prognosystem som bygger på atmosfärmodellen HARMONIE (t.ex. Seity m.fl., 2011) och utvecklas tillsammans med norska vädertjänsten inom samarbetet MetCoOp. Den höga rumsliga upplösningen ($2.5 \times 2.5 \text{ km}^2$) möjliggör att den småskaliga atmosfäriska process som skapar lokalt intensiv nederbörd (konvektion) kan beskrivas, vilket inte varit fallet i tidigare prognostyper. Dessa prognoser har testats för operationella 1-h vattenflödesprognoser (avsnitt 3.5.2).

I en studie undersöktes träffsäkerheten hos en nowcasting-modell m.a.p. extrem korttidsnederbörd. Modellen, som heter KNEP (Korta NederbördsPrognoser; Ridal m.fl., 2011), skapar prognoser som styrs av radarobservationer under de första timmarna, för att därefter övergå till en atmosfärmodell. I studien utvärderades KNEP-prognoser för de 48 extremhändelserna beskrivna i avsnitt 0. Det måste understrykas att denna typ av händelser är synnerligen svåra att förutsäga, p.g.a. sin lokala natur (avsnitt 3.1), och frågan var egentligen ifall de kunde förutsägas överhuvudtaget. Resultaten visade att c:a 20% av händelserna kunde förutsägas med ungefär rätt intensitet och på rätt tid och plats i de prognoser som utfärdades 3 timmar innan händelsen. Viss förutsägbarhet fanns även 8 timmar innan regnhändelsen men 1 dygn i förväg fanns i prognoserna ingen tydlig signal. Ofta fanns dock intensiv nederbörd prognoserad i närheten av den rätta platsen och/eller strax före/efter den rätta tidpunkten. Om man tillåter viss felmarginal ökar träffsäkerheten således.

Ett naturligt sätt att angripa problemet med tidsmässig och rumslig osäkerhet är att använda ensembleprognoser. Från de olika framtida utvecklingarna kan sannolikheten, eller det kan också kallas risken, beräknas för olika händelser, t.ex. en viss nederbördsintensitet vid en viss tidpunkt på en viss plats. Dessa sannolikheter kan då avspegla det faktum att den intensiva nederbörden lika gärna kan komma att inträffa på X km avstånd från den aktuella platsen eller Y timmar före/efter den aktuella tidpunkten.

Inom projektet har fallstudier av två olika varianter av ensembleprognoser genomförts. Den ena heter GLAMEPS (från European Centre for Medium-range Weather Forecasting, ECMWF) och simulerar 50 olika utvecklingar (s.k. medlemmar) i varje prognoser. Utvärdering för sommaren 2013 visade på en blandad träffsäkerhet; den väldigt lokala åskskuren i Jönköping 2013-08-26 missades men det mera storskaliga extremregnet i Göteborg dagen efter var väl prognoserat. Den andra varianten som studerats heter HarmonEPS och är en ensemblevariant av modellen HARMONIE. Denna användes för att studera Malmö-händelsen 2014-08-31 (avsnitt 3.3.2).

3.3 Hydrologiska konsekvenser av intensiv nederbörd

3.3.1 Slamströmmar

Slamströmmar (eng. *debris-flows*) definieras som en form av snabb massrörelse i vilken en kombination av lös jord, sten, organiskt material, luft och vatten mobiliseras som en lös sörja som rinner nedför sluttningen (Cruden och Varnes, 1996). De orsakas ofta av intensivt ytvattenflöde, som i sin tur orsakats av kraftig nederbörd eller kraftig snösmältning, och som leder till erosion och mobilisering av lösa jordar och stenar i branta slänter (Figur 6). Slamströmmar kan också startas av nästintill vattenmättade ytliga jordskred i branta sluttningar.

Jordmaterialet i slamströmmen kan variera i storlek från lera upp till massiva block, material som har en starkt eroderande verkan längs strömfåran och som deponeras när bäckravinen flackar av. Ofta dras buskar och träd med i slamströmmen och förödelsen nedströms kan bli mycket stor. Slamströmmar orsakar årligen dödsfall och enorma materiella skador runt om i världen.

En översiktlig litteraturgenomgång visar att det finns forskning och praktisk erfarenhet i Europa att nyttja när det gäller utformning av varningssystem för slamströmmar. För att utforma ett tillförlitligt och robust varningssystem för slamströmmar så krävs antingen (i) detaljerade geotekniska indata i kombination med detaljerade nederbördsdata, alternativt (ii) högupplösta korttidsprognoser för nederbörd kombinerat med väldefinierade tröskelvärden för vattenföring i strömfåran. De korta ledtider som slamströmmar är förknippade med utgör en stor utmaning när det gäller att utforma ett tidigt varningssystem samt för utformning av prognosverktyg för nederbörd och vattenföring.



Figur 6. Bäckravin med spår av tidigare slamströmmar. Observera allt löst material på sidorna som kommer dras med vid nästa slamström och kan orsaka skador på bebyggelse nedströms. Foto: Mattias Andersson, SGI.

3.3.2 Nationell simulering av snabba flödesvariationer

För att simulera snabba flödesvariationer efter extrem korttidsnederbörd krävs ett kort tidssteg i vattenflödesmodellen. Inom projektet har SMHIs nationella modell S-HYPE, som hittills körts på dygnssteg, utvecklats för körning på 1-h tidssteg. HYPE (*Hydrological Predictions for the Environment*; Lindström m.fl., 2010) är en hydrologisk modell för integrerad simulering av flöden och omsättning av vatten och näringsämnen. Den ger möjligheter för att beräkna faktorer knutna till vattenresurser och vattenkvalitet, men också annan hydrologisk information med mycket hög geografisk detaljeringsgrad. I S-HYPE har HYPE satts upp för hela Sverige indelat i c:a 36 700 delavrinningsområden med en genomsnittlig storlek på drygt 10 km².

Preliminära körningar av S-HYPE med 1-h tidssteg visade att det fungerar rent tekniskt och ger ett rimligt resultat men att bättre anpassning till observerade flöden bör kunna uppnås. En genomgång av alla modellens processbeskrivningar har genomförts för att identifiera vilka som påverkas av ett ändrat beräkningssteg och således kan kräva modifikationer. Modellens parametrar kunde delas in i tre klasser: 1/ oberoende av tidssteg, 2/ direkt skalbara mot tidssteg, 3/ i behov av omkalibrering.

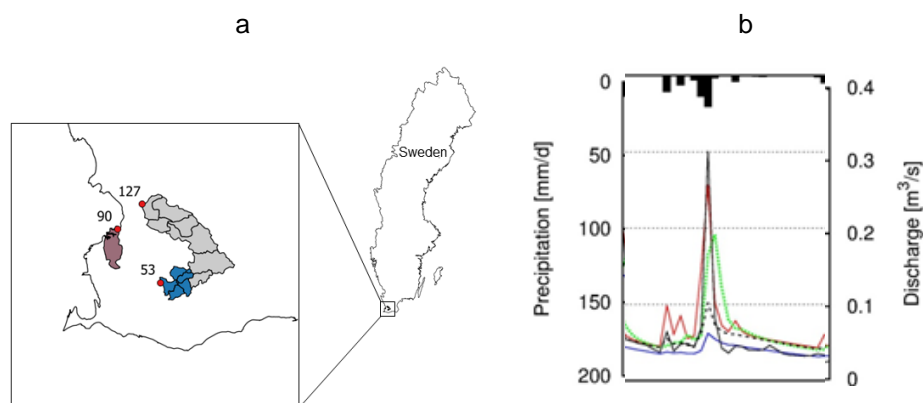
För en första kalibrering på 1-h tidssteg användes data från tre områden som drabbades av översvämningar under sommaren 2014: Halland, Kristinehamn och Malmö. HYPE-modeller för dessa tre områden extraherades ur S-HYPE och kalibrering gjordes mot uppmätta 1-h vattenflöden. Efter kalibrering studerades modellernas träffsäkerhet under översvämningstillfällena. Resultaten finns i Bilaga 1 (Kristinehamn) och Bilaga 2 (Halland).

3.3.3 Avrinning i städer

En huvudsaklig konsekvens av extrem korttidsnederbörd är översvämningar i stadsmiljö. Den stora andelen hårdjord yta gör att nederbörden snabbt transporteras till lågpunkter och när ledningsnätets kapacitet överskrids sker hastig uppdämning på markytan. För att detaljerat simulera denna typ av urban översvämning krävs en hydraulisk modell som beskriver vattenflöden både på marken och i ledningsnätet, och dessutom i båda riktningar kan omfördela vatten mellan dessa båda komponenter.

Inom projektet har ett alternativt angrepp studerats, utan hydraulisk modellering. I HYPE (avsnitt 3.3.2), kan bl.a. lokal avrinning beräknas. Eftersom avrinningsområden i HYPE är enbart schematiskt beskrivna (uppdelning i klasser beroende på jordart och markanvändning), och ledningsnät inte beaktas, kan inte någon detaljerad simulering av översvämmade områden göras. Emellertid kan den lokala avrinningen potentiellt signalera att översvämningrisk föreligger och således användas i varningssyfte. Inom projektet har HYPE utvecklats för förbättrad simulering i urban miljö. Detta har åstadkommit genom framtagandet av en uppsättning modellparametrar som beskriver urbana ytor. Dessutom har det testats att använda nya detaljerade urbana markanvändningsdata från *European Environment Agency (Urban Atlas; <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas>)* i HYPE för bättre områdesbeskrivning.

Utvecklingen har främst skett för två vattenflödesstationer i Skåne: Lund och Svedala (Figur 7). Vattenflödet i dessa båda stationer är tydligt påverkat av bidrag från tätorten, med hastiga flödesökningar efter intensiv nederbörd. Dessa flödesökningar var svåra att beskriva med existerande HYPE-modell men efter utvecklingen ovan visar preliminära resultat på en tydlig förbättring (Figur 7b; Tanouchi m.fl., 2015).



Figur 7. (a) Tre avrinningsområden som använts vid utveckling och test av urbana processer i HYPE: Svedala/Sege å (53), Lund/Höje å (127) och centrala Malmö (90). (b) Exempel på förbättrad beskrivning av flödestopp efter utveckling av HYPE för urbana ytor. Svart linje: observation, blå: ursprunglig HYPE, röd: urban HYPE.

En detaljerad fallstudie av den kraftiga översvämningen i Malmö 2014-08-31 har påbörjats inom projektet. Under dygnet föll över 100 mm regn varav merparten inom 4-6 h på morgonen den 31/8 (Hernebring m.fl., 2015). De

meteorologiska prognoser som utfärdades kvällen innan indikerade kraftig nederbörd i regionen (dock inte direkt över Malmö) men av för liten utbredning för att någon varning skulle utfärdas (se mera utförlig genomgång i Bilaga 3). I pågående fallstudie utreds vilken möjlighet som hade funnits att prognosera översvämningen med dels högupplösta meteorologiska ensembleprognoser (avsnitt 3.2), dels 1-h S-HYPE med förbättrad beskrivning av urbana ytor. Preliminära resultat visar på en markant förbättring av prognoserna.

En viktig fråga är hur grönytor påverkar konsekvenserna av intensiv nederbörd i den urbana miljön? För att besvara denna fråga kan förändringen av grönytor i tätorter studeras. Resultatet från en sådan studie kan i ett senare skede bland annat användas som en faktor i en tidsserieanalys av inträffade skador på bostadsbebyggelse. Denna delstudie vid KAU blev genomfört som ett examensarbete i GIS. För detaljer om metod och tillvägagångssätt se Davidsson (2014).

Fjärranalys med kontinuerlig och högupplöst registrering av bilder är väl lämpat för att studera förändringar på jordytan. Metoden som togs fram för att studera förändringen av grönytor bygger på förändringsanalys av satellitbilder. Metoden ger, med avseende på radians, svar på magnitud samt riktning för en eventuell förändring. Magnituden och riktningen används sedan för att identifiera tillkomna och avlägsnade grönytor. Metoden har utformats för att vara generell och har implementerats på Malmö tätort. Resultaten visar att det skett en successiv minskning av grönytor i Malmö tätort. Detta kan ha bidragit till att förvärra översvämningen i augusti 2014.

3.4 Ekonomiska konsekvenser av intensiv nederbörd

3.4.1 Delstudie 1: Regnrelaterade översvämningsskador: Försäkrade skador på bostad och inventarier

Syftet med delstudie 1 var att ta fram skadefunktioner på egendomsnivå och på lokal och regional nivå. Studien innehåller 2140 individuella skadeobservationer orsakade av totalt 49 regnhändelser i 13 olika kommuner under tidsperioden 2000-2013. Studien har undersökt möjligheten att använda radardata för att beskriva regnhändelsernas karakteristika. Radardata är ytterst värdefulla p.g.a. hög upplösning i både tid och rum. Tillförlitliga radardata är tillgängliga för Sverige från år 2000, vilket är orsaken till att regnrelaterade skador inträffade tidigare inte ingår i delstudien (för osäkerheter i radardata, se avsnitt 3.1). De radarbilder som använts visar aggregerad dygnsnederbörd, regnets rumsliga utbredning och fördelningen av nederbörd uppdelad i 3-timmars intervaller vilket avslöjar under vilken tid på dygnet regnet har inträffat. Aggregerad dygnsnederbörd vid de 49 skadehändelserna som ingår i studien varierar mellan 12 mm och 200 mm, vilket visar på att skador kan uppstå även vid små mängder nederbörd.

En litteraturstudie genomfördes för att hitta riskindikatorer identifierade av andra forskare och som förväntas ha inverkan på storleksordning och

omfattning av översvämningsskador. Tabell 1 ger en översikt över identifierade riskindikatorer. Kvantitativ information om dessa indikatorer med samma rumsliga och tidsmässiga upplösning som skadedatamaterialet var svårt att hitta. Detta ledde till att förenklingar behövde göras på bekostnad av detaljnivå och användbarhet.

Tabell 1. Riskindikatorer identifierade genom vetenskapliga publikationer.

Vattennivå i/vid byggnad	Kapacitet på VA-system	Populationsdensitet
Regnmängd	Hårdgjorda ytor	Förebyggande åtgärder
Regnintensitet	Kontakt med förorenat vatten	Antal skador
Regnets rumsliga fördelning	Byggnadskaraktistika (byggmaterial, antal våningar, källare, användning)	Skadekostnad

Fem olika skadefunktioner skattades med varierande resultat. En väldigt generell skadefunktion för att skatta aggregerade skadekostnader för skador på hem och bostad anses kunna användas i följande form för ett enskilt regntillfälle

$$\exp(13.261 + 1.072 * \text{INTENSIVT REGN} + 0.004 * \text{ANTAL SKADOR}) \quad (1)$$

eller, summerad över flera intensiva regn under en period

$$\exp(13.261 + 1.072 * \text{INTENSIVT REGN} + 0.004 * \text{ANTAL SKADOR}) \quad (2)$$

Antaganden kring vissa inputfaktorer måste dock göras av användaren och kräver att denna har lokal och empirisk kännedom om översvämningsskador så att realistiska antaganden kan göras. Dessa inputfaktorer är antal regn, hur många av dessa som ska anses vara intensiva ($1,072 * 1$ vid intensivt regn, $1,072 * 0$ vid icke-intensivt regn), samt antal skador på bostad till följd av dessa regn. För detaljer kring skadefunktionen, se modell 2 i Grahn 2015a. Stöd till inputfaktorer till funktionen kan hittas i tabell i Grahn 2015a där min, max, median och medelvärden för de observationer som ingått i studien är presenterade. Genom att ansätta ett spann av värden kan intervall för skadeeffekter på bostadsområden tas fram. Det kan fungera som beslutsstöd (t.ex. i kostnads-nyttoanalys) vid anpassnings- och åtgärdsarbete men även för att kommunicera översvämningsskador till andra aktörer.

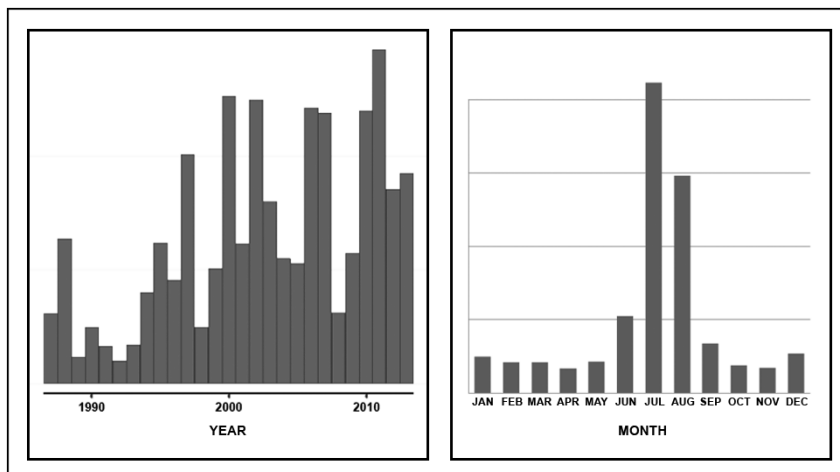
Angående skattningar av skador på inventarier och byggnadsskador på individuell byggnadsnivå så kan dessa skadefunktioner inte användas med goda resultat i nuläget. Orsaken till detta är att de faktorer vi misstänker är av betydelse för skadornas storlek inte har kunnat kvantifieras och därmed har deras effekt inte kunnat skattas och statistiskt säkerställas. Analys av individuella skador antyder dock att när regn har inträffat dagen innan rapporterad skada så genererar det något lägre försäkringsutbetalningar. Detta gäller ersättningar både för skadade inventarier och för byggnadsskador. Effekten är inte stor men vittnar möjligen om att regn dagen innan potentiellt har en ”varningseffekt” som leder till högre beredskap hos bl.a. bostadsägare och därmed begränsar skadorna. Bostadsägares preferenser och beteende m.a.p. hantering av översvämningsskador bör utredas mer noggrant.

Regn av högre intensitet ökar antalet skador ersatt av försäkringsbolag men påverkar inte medelkostnadens storlek nämnvärt. Skadedatamaterialets noggrannhet vad gäller rumslig specifikation av skador behöver förbättras för att till fullo utnyttja den spatiala informationen som radarbilder erbjuder. Det framgår tydligt av delstudien att mer platsspecifik information om topografi, ytavrinning, kapacitet på dagvattensystem, mängd hårdgjorda ytor och byggnadskarakteristika behövs för att genomföra kvantitativa analyser av skadeomfattning.

3.4.2 Delstudie 2: Effekter av tidsvarierande faktorer på regnrelaterade försäkrade skador på bostäder till följd av översvämning

a

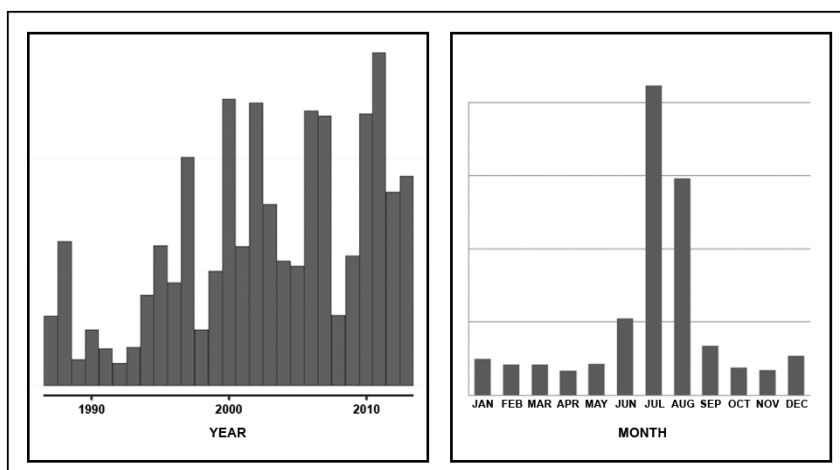
b



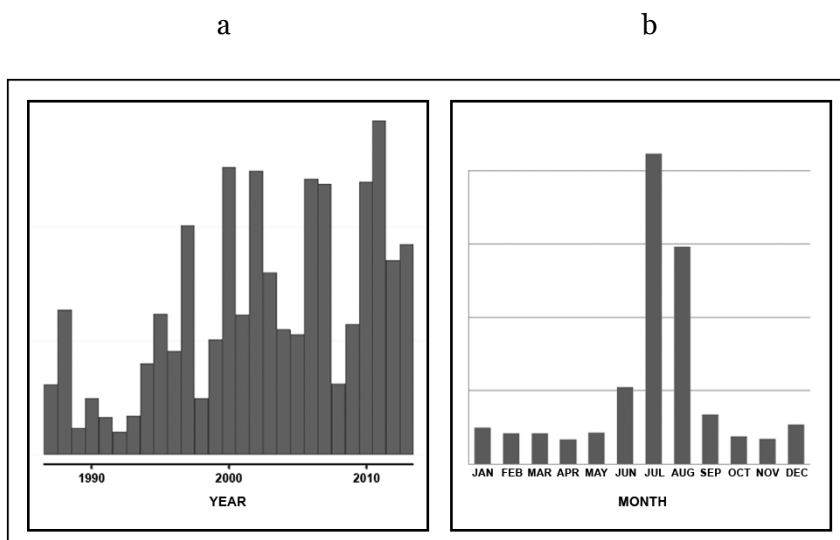
Figur 8a visar utvecklingen av försäkrade skador ersatt av Länsförsäkringar till följd av översvämning under åren 1987-2013.

a

b

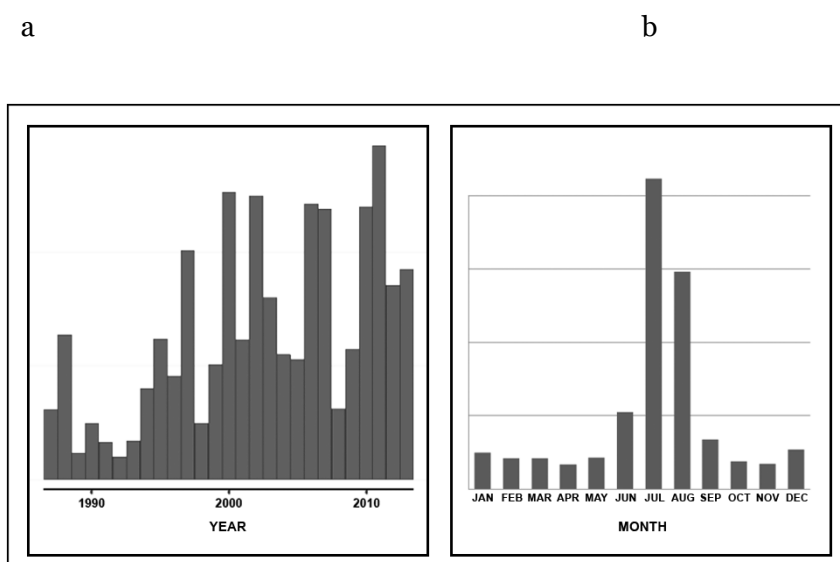


Figur 8b visar att det är under månaderna juli och augusti övervägande flest skador ersätts vilket också är den perioden då intensiva regn, med sina snabba händelsesförlopp, är vanligt förekommande.



Figur 8. (a) Årlig utveckling av ersättningar från Länsförsäkringar till följd av översvämning, 1987-2013. (b) Försäkringsersättningar per månad. De exakta värdena på y-axlarna är skyddade; avsikten är att visa relativa skillnader mellan år (a) och månader (b). Från Grahn 2015a.

Delstudie 2 analyserar den ökning av antal utbetalda försäkringsersättningar som kan utläsas av



Figur 8a. Syftet är att kunna säga något om varför vi ser en sådan ökning och hur man ska förhålla sig till detta i riskhantering av översvämningar i ett framtida perspektiv. Studien inkluderar både socioekonomiska faktorer och nederbördsdata i en och samma analys genom att inkludera information om antal fall av extremt regn (>6mm per 15 min), BNP per capita samt storleken

på befolkning och bostadsbestånd på länsnivå i Sverige. Analysen studerar effekter av tidsvarierande faktorer på antal översvämningsskador och är ingen regional studie utan använder regionala variationer för att dra generella slutsatser i ett nationellt perspektiv. Regn- relaterade översvämningsskador på bostäder kännetecknas av många små skador som ensamma inte har stor samhällsekonomisk inverkan. Ackumulerade över tid och i ett framtida perspektiv, där intensiva regn förväntas inträffa mer frekvent, och med förväntad samhällsutveckling, har dessa skador potential att bli en stor belastning. I Sverige täcks skador på hem och bostad i nuläget av hem och villa försäkringar. Detta är ingen självklarhet i andra Europeiska länder som t.ex. Danmark, Tyskland och Nederländerna. Stora ökningarna i översvämningsskador kan påverka försäkringsbarheten av egendom och pris på försäkringstjänster även i Sverige.

Vi har i Sverige ett stort behov av att bygga nya bostäder för att möta efterfrågan på bostäder de kommande årtiondena. Störst är efterfrågan i storstäder där sårbarheten för översvämning redan är hög. Exploatering av stadsnära områden och ett ökande bostadsbestånd är en av de stora utmaningarna för regnrelaterad riskhantering i Sverige. Av de riskindikatorer som analyserades i delstudie 2 är ökning i bostadsbeståndet den faktor som har haft störst inverkan på den bevittrade ökningen av försäkringsutbetalningar. Vidare antyder studiens resultat att risken för skador på hem och bostad är mer känslig för förändringar i antal inträffade extrema regnfall än ekonomisk tillväxt. Skulle antal regn större än 6 mm per 15 min öka med två händelser i ett län ett givet år skulle medelvärdet på antal försäkrade skador, enligt analysen, öka med 21 procent. Det är dock viktigt att understryka att flera riskfaktorer med en förväntad inverkan på skadebilden inte har kunnat kvantifieras och sammanfogas med skadedata. Detta är platsspecifika riskindikatorer, t.ex. undermark-installationer, topografi, byggnadsspecifika karakteristiska och andel hårdgjord yta. Arbetet med att ta fram förändringsdata vad gäller hårdgjorda ytor på lokal och regional nivå borde prioriteras för att kunna avgöra hur dessa förändringar i grönytor/hårdgjorda ytor påverkar det svenska samhällets sårbarhet vid regn och skyfall.

3.5 SMHIs prognos- och varningstjänst

3.5.1 Utvärdering för bedömning av slamströmsrisk

Vi har med hjälp av en intervjustudie analyserat hur SMHIs nuvarande varningsinformation för höga vattenflöden och intensiv nederbörd används i de kommuner som har slamströmsproblematik. Syftet med undersökningen var att få en bild av hur SMHIs varningsinformation tillämpas, vilka ytterligare funktionaliteter som skulle kunna öka dess nytta, och i förlängningen ge kommuner bättre möjlighet att skydda sig mot slamströmmar.

Ett tidigt varningssystem bör vara ”människor-centrerat” och innefatta kunskap om riskerna, processer för analys och övervakning, kommunikation av varningar samt den lokala förmågan att agera på varningarna. Uttrycket ”end-to-end” varningssystem används för att betona att varningssystem måste

spänna över alla steg från upptäckt av fara till samhällets agerande. SMHI:s varningstjänst inbegriper inte alla steg och benämns därför som varningsinformation. Vi fokuserar främst på de två sistnämnda kriterierna i den här intervjustudien.

Vi valde ut de tio kommuner, som vi bedömer har störst potentiell slamströmsproblematik i nuläget, och ställde ett antal frågor som rör deras nyttjande av SMHIs varningsinformation. Med slamströmsproblematik menar vi att det finns både förutsättning för slamström samt potentiella konsekvenser inom bebyggda områden om en slamström inträffar.

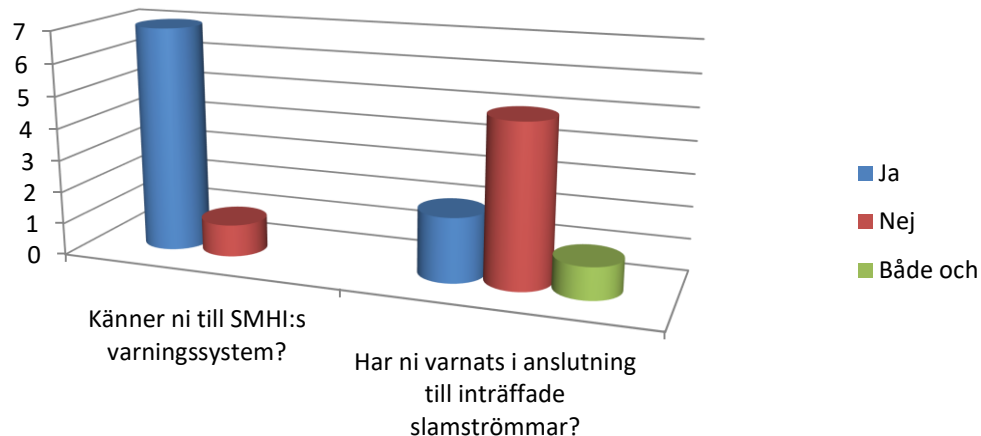
Under september-oktober 2014 skickade vi ut en kort enkät till de tio kommuner vi hade valt ut. De som inte svarade fick ett påminnelsemejl samt ett telefonsamtal. Uppföljningsfrågor ställdes för att förtydliga några av svaren som inkommit. Det kom in svar från åtta av kommunerna: Åre, Härjedalen, Jönköping, Torsby, Kramfors, Sundsvall, Leksand och Örnsköldsvik.

Frågorna som skickades ut och som följdes upp via telefonsamtal valdes ut i samråd med SMHI. Frågorna i den inledande enkäten var indelade i fem teman:

- Kunskap om slamströmmar
- Kunskap om SMHIs varningsinformation
- Kommunernas agerande vid varning
- Typ av uppföljning på agerandet inom kommunen
- Förbättringsbehov

Frågor valdes för att undersöka om kommunernas användning eller icke-användning av SMHIs befintliga varningsinformation hade att göra med kommunernas kunskap om slamströmmar eller brister i SMHIs varningsinformation, eller om det snarare var kommunernas rutiner och sätt att agera som var avgörande för huruvida varningsinformationen nyttjades eller ej. Vi ville också veta hur relevant kommunerna uppfattade varningsinformationen för slamströmmar samt hur systemet bättre skulle kunna fylla deras behov.

Intervjusvaren visar att de flesta kommunerna vi tillfrågat känner till problemet med slamströmmar och vet vilka väderbetingelser som orsakar en slamström (Figur 9). De flesta anser också att de känner till vilka områden som är speciellt utsatta i den egna kommunen. Det framkom dock via de inskickade enkätsvaren och via efterföljande telefonkontakt att ordet slamström är okänt för fyra av kontaktpersonerna. De känner till problem med ras och skred och i brist på kunskap om slamströmmar likställer de slamströmmar med ras och skred. I två av kommunerna är kunskapsnivån om slamströmmar och om områden som är speciellt utsatta i den egna kommunen mycket låg, trots att riskområden identifierats i MSBs översiktliga stabilitetskartering.



Figur 9. Exempel på intervjusvar.

Kunskap om SMHIs varningsinformation finns i alla kommuner utom eventuellt en, men det är endast i två av kommunerna som man med säkerhet använt sig av eller varnats via SMHIs varningsinformation i anslutning till en inträffad slamström. Orsaken till detta varierar mellan kommunerna. Bland annat lyfter man tidigare okunskap om varningsinformationen, avsaknaden av dokumenterade slamströmmar och lokala störtregn som inte prognostiseras. Åtminstone två av kommunerna saknar och efterfrågar varningar för lokal, intensiv nederbörd. Svaren på följdfrågorna visar att kommunerna i första hand fokuserar på de meteorologiska varningarna när det gäller risken för slamströmmar.

Samtliga kommuner har rutiner för hur man bör agera vid vädervarning. Det verkar dock vara en lång kedja av ansvar och endast en av kommunerna använder en checklista som tagits fram speciellt med tanke på snabba jordrörelser. Eftersom några av kommunerna har mycket låg kunskapsnivå om slamströmmar så är det tveksamt om deras nuvarande rutiner är relevanta när det gäller slamströmmar.

Tre av kommunerna upplever att de har tillräcklig kapacitet och tillräckliga resurser för att agera skadeförebyggande vid varningar från SMHI. Flertalet kommuner beskriver att de kan förbättra det skadeförebyggande arbetet och några kommuner lyfter att deras resurser är begränsade och dimensionerade för mindre händelser. Vi drar slutsatsen att det skadeförebyggande arbetet i kommunerna kan förbättras när det gäller slamströmmar och att viljan för detta finns hos flera kommuner.

Kommunernas insatser för att öka beredskapen i samhället då det finns risk för slamströmmar varierar. De kommuner som har låg kunskap om slamströmmar gör inte heller några beredskapshöjande insatser medan en kommun som har hög kunskapsnivå också gör insatser som är anpassade för bland annat slamströmmar. Samtliga kommuner samarbetar dock med andra kommuner när det gäller hantering och förebyggande arbete vid intensiv nederbörd.

Uppföljningen på agerandet inom kommunen varierar och åtminstone två av kommunerna gör ingen uppföljning av sitt agerande, vare sig då slamström sker eller vid intensiv nederbörd. Svaren från de kommuner som har gjort uppföljning indikerar att uppföljning är ett potentiellt förbättringsområde även inom dessa kommuner. Ytterligare förbättringsområden i kommunen är dokumentation av slamströmmar och intensiva nederbördstillfällen, även de mest medvetna kommunerna lyfter detta.

Alla kommuner ser nyttan av SMHIs varningsinformation. I kommentarerna till flera av frågorna, liksom i en av kommentarerna till den här specifika frågan (fråga 13), lyfts dock svårigheten med plötsliga, lokala skyfall och det faktum att SMHIs varningsinformation inte varnar för sådan kortvarig, intensiv nederbörd.

Konkreta förbättringsförslag som kommunerna själva lyfter när det gäller sin egen bevakning av varningssignalerna och sitt agerande vid varning är information direkt till telefonen samt förbättrad bevakning av höga vattenflöden. Fyra konkreta förbättringsförslag lämnas när det gäller SMHIs varningsinformation, bland annat rörande varningar för lokala, kraftiga skyfall och förtydligande av att slamströmmar är en potentiell konsekvens i vädervarningarna. Förslagen visar att det finns en förbättringspotential för SMHIs varningsinformation med avseende på effekten slamströmmar.

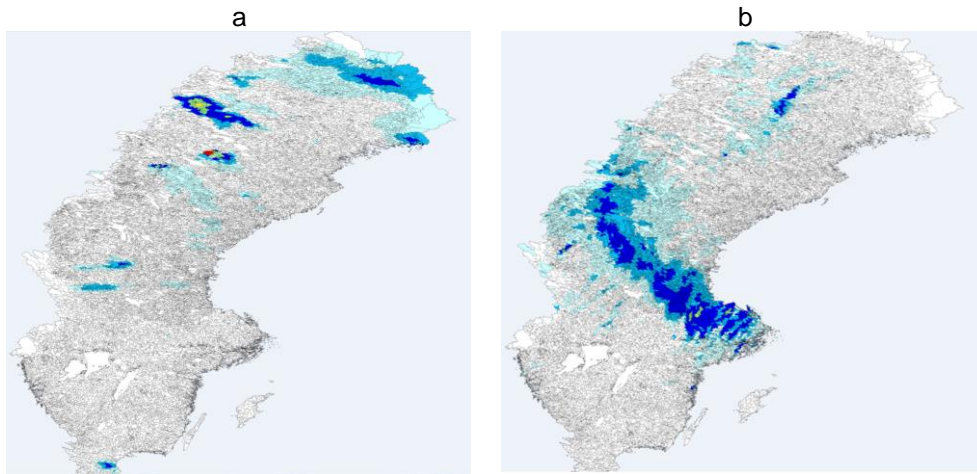
Fem av kommunerna anser att de har möjlighet att lämna feedback till SMHI på varningsinformationen, men endast två av kommunerna anger att de har gjort det och två av kommunerna anger att de inte haft anledning att göra det hittills. Hälften av kommunerna svarar dock ja på frågan om de skulle ha nytta av vattenflödesprognoser specifikt för slamströmskänsliga avrinningsområden i kommunen. Sammantaget indikerar svaren och kommentarerna att det finns en osäkerhet hos kommunerna när det gäller vilken typ av feedback man kan lämna till SMHI. Svaren indikerar också att kunskapsnivån om slamströmmar generellt är viktig för att kunna se förbättringsmöjligheter. De två kommuner som har mycket lågt kunskapsläge om slamströmmar vet inte heller om de skulle ha nytta av vattenflödesprognoser specifikt för slamströmskänsliga avrinningsområden.

När det gäller kommunernas förslag på hur långt innan varningen för höga vattenflöden måste ges i slamströmskänsliga områden så varierar förslagen från några dygn och några timmar, och en kommun lyfter att det aldrig är försent så länge varningen ges innan slamström inträffat. Svaren indikerar att kommunerna sinsemellan agerar olika vid vädervarningar och att de har olika syn på vad som behöver göras för att förebygga negativa konsekvenser av slamströmmar.

3.5.2 Operationellt test av 1-h vattenflödesprognoser

Under projektets sista år genomfördes ett test av att använda den framtagna 1-h S-HYPE modellen (avsnitt 3.3.2) i operationell drift. Testet skedde under sommaren 2014, ungefär perioden juni-augusti. Den förberedande operationella implementeringen innehöll ett antal moment, i vilka olika tidigare aktiviteter inom projektet kopplades samman:

- Att producera löpande 1-h prognoser med S-HYPE kräver att exekveringstiden i SMHIs prognosystem är kort nog så att all produktion är klar innan nästa prognos måste påbörjas. Detta testades på olika sätt och inga begränsningar befanns föreligga.
- Ett centralt moment i hydrologiska prognoser är initialiseringen, alltså att med de senaste observationerna av nederbörd och temperatur som indata köra fram modellen till ett optimalt starttillstånd inför prognosen. En rutin för löpande uppdatering av HIPRAD-databasen (avsnitt 3.1) utvecklades för detta ändamål (Figur 10a).
- Olika högupplösta temperatur- och nederbördsprognoser (avsnitt 3.2) kopplades in i prognosystemet och formatterades för automatisk generering av vattenflödesprognoser.
- För att skapa varningskartor krävs varningsgränser baserade på historisk statistik. För nederbörd användes korttidsnederbörd av olika återkomsttider rapporterade av Wern och German (2009). För vattenflöden kunde ingen fullständig statistik tas fram inom projektet, varför varningsgränser enbart grovt uppskattades.
- Ett antal prognosprodukter identifierades och implementerades. Dessa bestod främst av prognosdata (nederbörd och vattenflöde) i både kart- och sifferform. För förenklad överblick över nederbördsprognosen producerades förutom 1-h kartorna också en karta över maximal 1-h nederbörd under kommande dygn (Figur 10b).



Figur 10. Exempel på kartor med observerad och prognoserad 1-h nederbörd. (a) Realtidsuppdaterade observationer i HIPRAD. Denna visar var intensiv nederbörd nyligen förekommit. (b) Maximal 1-h nederbörd under kommande dygn i prognos. Denna visar var intensiv nederbörd förväntas framöver.

Tekniskt sett gick prognostestet på det hela taget bra. Prognoskörningarna skedde enligt plan och produkter skapades. Vissa problem uppstod emellertid med att vattenflödesprognoserna inte kunde genomföras samt att de uppskattade varningsgränserna inte var lämpliga. Vidare utveckling krävs.

En någorlunda detaljerad utvärdering av de nya nederbördsprognoserna gjordes för det kraftiga regnet över främst Närke helgen 5-6/9, vilket ledde till kraftiga översvämningar i främst Hallsberg. Enligt bilderna från HIPRAD (se Bilaga 4) drog ett regnområde in från sydväst över Hallsbergs-området under tidig eftermiddag 5/9 och låg därefter kvar fram till tidig morgon 6/9. Förutom ett konstant "bakgrundsregn" bildades kraftigare nederbördsceller med intensitet på upp till 20-25 mm/h. För själva Hallsbergs avrinningsområde visar radarsekvensen på en närmast konstant regnintensitet på 5-10 mm/h från kl. 14 den 5/9 till kl. 03 den 6/9, vilket skulle ge en total mängd på 70-140 mm under natten vilket väl motsvarar de uppskattningar på 110-120 mm som tidigare gjorts (t.ex. <http://www.expressen.se/nyheter/bilden-visar-kaoset--efter-regnovadret/>, <http://na.se/nyheter/hallsberg/1.3142754-rekordregn-enligt-smhi-s-matning>). Detta indikerar att HIPRAD väl kan kvantifiera extrema nederbördstillfällen.

Utvärderingen av nederbördsprognoserna (avsnitt 3.2) indikerade att HARMONIE väl kunde förutsäga de kommande nederbördsintensiteterna redan på e.m. den 4/9. Prognoserna under det utdragna förloppet varierade i träffsäkerhet och särskilt den senare halvan av regnet underskattades delvis. Den operationella prognosen underskattade generellt intensiteterna och KNEP underskattade kraftigt varaktigheten.

4. Slutsatser och diskussion

4.1 Praktisk nytta av projektets resultat

4.1.1 Observationer och prognoser av nederbörd

Den nya nationella databasen HIPRAD med högupplöst nederbörd framtagen genom att kombinera radar- och stationsdata (avsnitt 3.1) är mycket värdefull i ett stort antal tillämpningar som kan delas in m.a.p. den tidsperiod som är intressant:

- Historisk period. Analyser av HIPRAD kommer att ge ny kunskap om skyfall, t.ex. areella egenskaper, rörelser och regionala mönster. Potentiellt kan avsevärt utökad statistik om extremnederbörd tas fram, jämfört med existerande analyser. Detta kan i sin tur ge ett säkrare dimensioneringsunderlag för t.ex. skyfallskänslig infrastruktur. Data kan vidare användas för att rekonstruera inträffade översvämningar, vilket kan vara av intresse i exempelvis försäkringsfrågor. En viktig tillämpning av HIPRAD är för kalibrering och simulering av högupplösta vattenflödesmodeller (avsnitt 3.3.2).
- Realtid. I realtid kan HIPRAD ge en förbättrad s.k. situationsmedvetenhet jämfört med existerande produkter som finns tillgängliga vid hydrologisk prognosering. Genom att i realtid plotta HIPRAD på avrinningsområdesskala (Figur 10a) fås en direkt överblick över nyligen inträffade nederbördsmängder. Denna realtiduppdatering är också central för löpande initialisering av S-HYPE inför varje prognostillfälle.
- Framtid. Skyfallen förväntas öka i takt med klimatförändringen men dagens klimatmodeller har i allmänhet för grov rumslig upplösning (t.ex. $25 \times 25 \text{ km}^2$) för att kunna beskriva lokal intensiv nederbörd. En intensiv utveckling av mera högupplösta klimatmodeller pågår emellertid och för denna utveckling är det nödvändigt med högupplösta griddade historiska data att validera modellerna mot.

Den utvärdering och test av nya nederbördsprognoser som genomförts inom projektet har ökat förståelsen för olika produkters styrkor och svagheter. Resultaten är värdefulla för utvecklingen av högupplösta flödesprognoser.

4.1.2 Nationella 1-h vattenflödesprognoser

Utvecklingen och kalibreringen av HYPE-modellen för körning på 1-h tidssteg var nödvändiga steg mot mera högupplösta nationella vattenflödesprognoser. Anpassningen av HYPE för urbana avrinningsområden ger bättre förutsättningar att förutsäga lokala översvämningar i städer. De operationella tester av 1-h S-HYPE som genomfördes under sommaren 2015 lade grunden till att permanent införa 1-h prognoser i SMHIs prognos- och varningstjänst.

4.1.3 Tillämpning för slamströmmar

Vi har identifierat kunskapskällor i Europa som är till nytta både för svenska myndigheters arbete med prognosverktyg och vägledning för förebyggande hantering av slamströmmar samt för kommuner och andra aktörers generella kunskapsuppbyggnad och eventuellt framtida arbete med lokal varningsinformation för väderhändelser eller kompletta varningssystem för slamströmmar.

Resultatet från intervjustudien samt nederbördmätningarna i Åre har lett fram till ett förslag på målbild samt ett antal konkreta förslag på fortsatt arbete inom kommuner och centrala myndigheter samt förslag på ytterligare forskning och utveckling. Målbilden innebär att kommuner med potentiell slamströmsproblematik känner till farorna och förebygger negativa konsekvenser av slamströmmar som sker till följd av intensiv nederbörd på ett lämpligt sätt. Det innebär att centrala myndigheter har relevant kunskap och information om slamströmmar och vad som kan trigga dem, samt att informationen sprids till kommunerna på ett bra sätt. Erfarenheten och behoven som finns i kommunerna ligger till grund för myndigheternas kunskapsuppbyggnad och informationsinsatser.

4.1.4 Ekonomiska konsekvenser

Delprojektets resultat kan användas som stöd, tillsammans med annat underlag, vid riskutredningar gällande översvämningsskador på hem och bostäder.

Projektets resultat kan användas för att formulera och rikta nya forskningsprojekt för fortsatt utveckling av kvantitativ riskanalys av översvämningar i Sverige på lokal, regional och nationell nivå.

4.2 Förslag för framtiden

Systemet för att mäta nederbörd med radar bör fortsätta att utvecklas, t.ex. genom förbättrade algoritmer för att konvertera från radareko till nederbördsintensitet. En sådan utveckling skulle kunna leda till att radarbidraget viktas upp i framtagningen av HIPRAD, som därmed skulle kunna ge bättre information om nederbörden mellan stationerna i SMHIs nät. Såsom beskrivet i avsnitt 4.1.1 finns många potentiella tillämpningsområden för HIPRAD i både historisk tid, realtid och framtid. Denna potential bör utnyttjas. Vi föreslår specifikt att HIPRAD noggrant och systematiskt utvärderas mot oberoende högupplösta nederbördsdata, för att bedöma möjligheten att använda HIPRAD för statistisk extremvärdesanalys och uppdatering av dimensioneringsunderlag.

Vi föreslår att de produkter för högupplösta nederbörds- och vattenflödesprognoser som tagits fram och testats inom projektet vidareutvecklas och på (relativt kort) sikt börjar införas i SMHIs prognosverksamhet. Detta arbete inkluderar främst dels förbättringar av 1-h S-HYPE, inklusive framtagande av meningsfulla varningsgränser, dels produkter för visualisering på hög upplösning i tid och rum. Det måste påpekas att mera högupplösta vattenflödesprognoser medför ett flertal stora utmaningar för

prognostjänsten. En ökad detaljeringsgrad medför en ökad känslighet för osäkerheter i den meteorologiska prognosen, t.ex. vad gäller den exakta tidpunkten och platsen för intensiv nederbörd, vilka båda är mycket svåra att prognosera. Det krävs strategier för att hantera denna osäkerhet. Vidare kan tätare prognoser medföra ett behov av mera regelbunden uppsikt över läget jämfört med dagens 1-d prognoser.

En möjlig tillämpning av en väl fungerande 1-h S-HYPE kan vara en nationell skyfallskartering, där skyfallskänsliga områden identifieras och karakteriseras. Dessa kan vara t.ex. branta områden med tunna jordar, och inte minst städer och tätorter med stor andel hårdgjord yta. Den påbörjade utvecklingen av HYPE för urbana ytor bör fortsätta, t.ex. genom mera detaljerad delområdesindelning och jämförelser med andra angrepp och modeller för att bedöma skyfallskonsekvenser i städer. För denna utveckling krävs flera stationer för vattenföringsmätningar i utloppet från urbana avrinningsområden än vad som finns idag.

Det viktigaste resultatet från arbetet med ekonomiska konsekvenser är inte de direkta slutsatser som analyserats fram i de olika delstudierna utan hur tydligt det framgår att vi i Sverige blir begränsade i vårt riskhanteringsarbete på grund av brist på skadedata och tillämplighet av existerande data. Sverige ligger efter USA och många Europeiska länder vad gäller att kvantitativt analysera skador till följd av översvämning.

Det råder stor brist på enhetlig dokumentation av skador vid inträffade händelser i Sverige. Svenska skadedata är oftast dokumenterat i ett annat syfte än att fungera som underlag för framtagande av skadefunktioner eller för att på annat sätt ge beslutsstöd för att fatta effektiva beslut kring åtgärder och hantering av översvämningssrisker. Den dokumentation som finns har skett i sin kontext, t.ex. utredning av en enskild händelse inom en kommun eller inom försäkringsbolag för intern användning. Dokumentationen uppfyller syftena i sin kontext, men inget incitament finns att ta in andra aktörers behov med avseende på hur dokumentation genomförs. Ur ett forskningsperspektiv kan därmed tillgängliga data framstå som inhomogena, diskontinuerliga och osystematiskt insamlade. Det gör det svårt att sammanfoga skadeinformation med viktiga riskindikatorer som vi misstänker kan ha stor inverkan på omfattning av skador. Nuvarande information är framtaget i ett annat syfte än att skapa beslutsunderlag för effektivt åtgärds- och anpassnings arbete på lokal, regional och nationell nivå.

Vad gäller slamströmsproblematiken har projektet utmynnat i följande slutsatser.

1. Vi föreslår att kommuner med potentiell slamströmsproblematik, till exempel kommuner där MSB har identifierat att det finns ett angeläget utredningsbehov, skaffar sig en mer detaljerad bild av problematiken; det vill säga hur omfattande den är, hur riskbilden kan förändras med förändrad markanvändning i avrinningsområdet och vilka effekter förändringar i klimatet kan få.

2. Om risken för slamströmmar är överhängande så föreslår vi att kommunen gör en kostnads-nyttoanalys av geotekniska förebyggande lösningar. Om adekvata geotekniska lösningar finns på plats så reduceras, alternativt försvinner, behovet av varningsinformation för tillämpning mot slamströmmar.
3. Om kommunen väljer att inte vidta geotekniska lösningar så föreslår vi att man gör en handlingsplan för hur man ska förebygga och hantera slamströmmar som kan inträffa vid intensiv nederbörd. Ett exempel på handlingsplan finns framtagen av Åre kommun.
4. Oavsett om man vidtar geotekniska åtgärder eller om man väljer att förebygga och hantera eventuella slamströmmar vid varning för väderhändelser så föreslår vi att man genomför regelbunden uppföljning och utvärdering av: (I) de slamströmmar som inträffar och de konsekvenser de får; (II) de vädervarningar som man agerar på och vilka konsekvenser väderhändelserna får; (III) sitt eget agerande vid varningar för väderhändelser.
5. Vi föreslår att SGI i samarbete med MSB tar fram en vägledning för hur kommunerna kan förebygga och hantera slamströmmar, dels genom att vidta geotekniska åtgärder och dels genom att agera vid varning för väderhändelser.

Den här studien visar att kunskapsnivån varierar bland kommuner med potentiell slamströmsproblematik och att ytterligare kunskapsspridning behövs. Den visar också att det finns goda exempel och viktiga erfarenheter i vissa kommuner som bör spridas till fler kommuner.

Vi presenterar även ett antal funktionaliteter som skulle stödja det förebyggande arbetet mot slamströmmar:

1. En utvidgning av SMHIs varningssystem för väderhändelser så att varningar utfärdas även för kriteriet kortvarig, intensiv nederbörd. Konsekvensen slamströmmar bör finnas omnämnt för detta kriterium. Eftersom lämpligt tröskelvärde för nederbördsintensitet när det gäller slamströmmar omöjligt kan definieras för stora regionala områden med nuvarande brist på underlag så föreslår vi att man i ett första skede identifierar ett tröskelvärde baserat på statistik över andra konsekvenser. Det finns dock en pedagogisk finess med att nämna även slamströmmar som potentiell konsekvens av kortvarig, intensiv nederbörd eftersom det ökar medvetenheten och beredskapen även för den typen av naturolycka.
2. Mer högupplösta S-HYPE modeller för de avrinningsområden som är särskilt utsatta för slamströmmar och uppdaterar dem med mer specifik information om de lokala markförhållandena. Nuvarande prognosystem för höga vattenflöden är för trubbigt för att identifiera fara för slamströmmar specifikt. Med en högre upplösning och noggrannhet i några specifika områden skapas dock möjlighet för att samla in data och på sikt identifiera tröskelvärden som är direkt kopplade till slamströmmar.
3. För att de förstnämnda funktionaliteterna ska få god verkningsgrad så vore det önskvärt att SMHI förstärker sitt permanenta system av nederbörds- och vattenståndsmätare med några strategiskt placerade mätare i de

avrinningsområden som är mest utsatta för slamströmmar. Vi vill särskilt betona vikten av nederbördsrätmätare i de högt belägna delarna av avrinningsområdena. Fler nederbördsrätmätare i fjälltrakterna skulle dessutom möjliggöra en mer detaljerad analys av vilken orografisk effekt som råder vid olika väderbetingelser, vilket troligen skulle förbättra prognoserna för kortvarig, intensiv nederbörd och höga vattenflöden i de områdena betydligt.

Litteraturlista

Framtaget inom projektet

Berg, P., Norin, L., and J. Olsson (2015) Creation of a high resolution precipitation data set by merging gridded gauge data and radar observations for Sweden. *Journal of Hydrology*, doi:10.1016/j.jhydrol.2015.11.031.

Cederbom, C., Andersson, M., Kiilsgaard, R., and L. Van Well (2015) Slamström som konsekvens av väderhändelser. SGI Publikation 25, 68 pp.

Davidsson, D. (2015) Change detection of urban green spaces: Remote sensing for green space mapping. Examensarbete vid Karlstads Universitet.

Grahn, T. (2015a) Rain-related flood damages: Insured damages to residential property. *Journal of Disaster Risk Reduction*, submitted.

Grahn, T. (2015b) Analyzing effects of time-varying risk indicators upon insured rain-related flood losses. *Journal of Flood Risk Management*, in preparation.

Olsson, J., Simonsson, L., and M. Ridal (2014) Rainfall nowcasting: predictability of short-term extremes in Sweden. *Urban Water*, 11, Doi: 10.1080/1573062X.2013.847465.

Olsson, J., Södling, J., and F. Wetterhall (2013) High-resolution precipitation data for hydrological modelling: a preliminary study. SMHI Hydrology No 116, SMHI, 601 76 Norrköping, 28 pp (in Swedish).

Olsson, J., Bengtsson, L., Pers, B.C., Berg, P., Pechlivanidis, I., and H. Körnich (2016) High-resolution hydro-meteorological ensemble forecasting of high-impact weather: a case study in Malmö, Sweden. *Journal of Hydrology*, submitted.

Övriga referenser i rapporten

Cruden, D.M. and Varnes, D.J. (1996) Landslide types and processes. Special Report , Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247:36-75.

Hernebring, C., Milotti, S., Steen Kronborg, S., Wolf, T. and E. Mårtensson (2015) The cloudburst in Southwestern Scania 2014-08-31. *Journal of Water Management and Research* 71:85–99 (in Swedish).

Lindström, G., Pers, C.P., Rosberg, R., Strömquist, J., Arheimer, B. 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.

Ridal, M., Lindskog, M., Gustafsson, N., and Haase, G., 2011. Optimized advection of radar reflectivities. *Atmospheric Research*, 100, 213–225.

Seity, Y., P. Brousseau, S. Malardel, G. Hello, P. Bénard, F. Bouttier, C. Lac, and V. Masson, 2011: The AROME-France Convective-Scale Operational Model. *Mon. Wea. Rev.* 139, 976-991.

Tanouchi, H, Olsson, J., and A. Kawamura (2015) HYPE-model parameter identification for urban watersheds based on infiltration characteristics and geographic information: a preliminary study. Presentation at Hydrologidagen, 31 March, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden (in Swedish).

Wern, L. and German, J., 2009. Short-term precipitation in Sweden 1995–2008. *Meteorology Report no. 139/2009*. Norrköping, Sweden, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, SE-601 76 (in Swedish).

Bilaga 1: Kristinehamnsregnet 2014

Den 20 augusti 2014 föll ett kraftigt regn i Kristinehamnstrakten. Ganska mycket regn föll också några dagar tidigare. Nordväst om Kristinehamn ligger grundnätets vattenföringsstation Arnestorp. Dess avrinningsområde är 184 km². I Arnestorp observeras ett mycket högt flöde. Lika högt flöde uppmättes senast våren 2011. Inne i Kristinehamn har vi inga flödesobservationer.

HYPE har satts upp med ett tidssteg på 1h för området. Modellen baserades på S-HYPE version s-hype2012_1_2_1, men parametrarna har anpassats till det kortare tidsteget. Parameteranpassningen har gjorts på två sätt. Det gav en modelluppsättning där parametrarna skalats efter det nya tidsteget, och en andra modelluppsättning där vissa parametrar dessutom har kalibrerats om. Omkalibreringen gjordes för några stationer i Skåne, men då parametervärdena är kopplade till markanvändning och jordart kan de användas även i Värmland.

Modellerna för 1h tidssteg har simulerats med drivdatasetet HIPRAD (se avsnitt 3.1) för 2010-2014 med två års insvängning (2008-2009). Dygnsmodellen s-hype2012_1_2_1 simulerades i den operationella produktionen med SMHIs prognos kallad PMP.

Modellerna simulerade med HIPRAD (NSE för augusti-september 2014 mellan 0.47 och 0.57) fångar inte det kraftiga flödet i augusti 2014. Det observerade flödet är två till tre gånger så stort som det simulerade. Den omkalibrerade modellen ger i allmänhet högre flödestoppar än den skalade modellen, men den fångar ändå inte de två högsta topparna. Utloppet av Varnån genom Kristinehamn simulerar också regnet som en flödestopp av liknande storlek som flera andra under året. Här finns inga observationer att jämföra med.

Regnprognoserna till dygnsmodellen var mycket lägre (och en dag senare) än vad som senare observerades. Modellen förutsade därför heller ingen flödestopp. Först när flödet pågick och regnet var känt kunde modellen simulera ett högt flöde. Simulerat flöde (med observerat regn) var dock som redan påpekats mycket lägre än observerat flöde.

Bilaga 2: Hallandsregnet 2014

Den 17-18 augusti 2014 föll ett kraftigt regn över delar av Halland. Inom området ligger två av grundnätets vattenföringsstationer, Pepparforsen och Snapparp. Deras avrinningsområden är dock rätt stora (383.5 and 489 km²). I utkanten av regnområdet, där regnet hade en lägre intensitet, ligger en station, Hulubäcken, vilken har ett mindre avrinningsområde (4 km²).

HYPE har satts upp med ett tidssteg på 1h för dessa områden. Modellen baserades på S-HYPE version s-hype2012_1_2_1, men parametrarna har anpassats till det kortare tidsteget. Parameteranpassningen har gjorts på två sätt. Det gav en modelluppsättning där parametrarna skalats efter det nya tidsteget, och en andra modelluppsättning där vissa parametrar dessutom har kalibrerats om. Omkalibreringen gjordes för några stationer i Skåne, men då parametervärdena är kopplade till markanvändning och jordart kan de användas även i Halland.

Modellerna för 1h tidssteg har simulerats med drivdatasetet HIPRAD (se avsnitt 3.1) för 2010-2014 med två års insvängning (2008-2009). Dygnsmodellen s-hype2012_1_2_1 simulerades i den operationella produktionen med SMHIs prognos kallad PMP.

Alla områden och modeller simulerar regntillfället bra med HIPRAD (NSE för augusti-september 2014 mellan 0.79 och 0.98). Dock saknas observationer av flöde någon vecka just under flödestoppen. Den omkalibrerade modellen ger i allmänhet högre flödestoppar för sommarregn än den skalade modellen. Dessa stationer har inga större områden med stad/hårdgjorda ytor i sina avrinningsområden, därför är flödet i dessa områden relativt långsamt reagerande på ett kraftigt regn.

Simuleringarna med dygnsmodellen förutsade ett större regn med högt flöde en-två dagar innan det inträffade, men varken regn eller flöde var så stora som sedan uppmättes i de två centrala områdena (Snapparp och Pepparforsen). Simulerat flöde (med observerat regn) var också högre än observerat flöde för dessa två. För Hulubäcken som fick mindre regn, prognosiserades dagen innan ett mindre flöde vilket var i storlek med simulerat med observerat regn.

Bilaga 3: Malmöregnet 2014

Den 30-31 augusti 2014 föll ett kraftigt regn över Malmö stad med omnejd. I utkanten av området ligger två av grundnätets vattenföringsstationer, Svedala och Trolleberg. Deras avrinningsområden är 52 och 237 km². Båda stationerna har en mindre andel stad/hårdgjord yta inom sitt avrinningsområde. I centrala Malmö finns inga mätstationer inom grundnätet, men vi har ändå tittat på simuleringar från ett avrinningsområde där (kallat 90), vilket har en stor andel hårdgjord yta med snabb avrinning. Området är 38 km².

HYPE har satts upp med ett tidssteg på 1h för dessa områden. Modellen baserades på S-HYPE version s-hype2012_1_2_1, men parametrarna har anpassats till det kortare tidsteget. Parameteranpassningen har gjorts på två sätt. Det gav en modelluppsättning där parametrarna skalats efter det nya tidsteget, och en andra modelluppsättning där vissa parametrar dessutom har kalibrerats om. Omkalibreringen gjordes för några stationer i Skåne och Halland. Ytterligare två modelluppsättningar har används. Baserat på en vidareutveckling av S-HYPE för dagligt tidssteg som gjort bättre anpassad för att simulera flöden i städer skapades två modelluppsättningar; en där parametervärdena skalades efter tidssteget, och en annan där de tidigare omkalibrerade parametervärdena kombinerades med den nya urbananpassade modellen.

De fyra modellerna för 1h tidssteg har simulerats med drivdatasetet HIPRAD för 2010-2014 med två års insvängning (2008-2009). De har också simulerats med 24h-prognoser från ECMWF (den deterministiska prognosen), SMHI (ensemble prognoser med HarmonieALARO och HarmonieAROME). Totalt 23 prognoser för två prognostidpunkter har använts. Dygnsmodellen s-hype2012_1_2_1 simulerades i den operationella produktionen på SMHI med SMHIs prognos kallad PMP.

Inga av modellerna simulerar regntillfället bra med HIPRAD (NSE för augusti-september 2014 är negativa, relativ bias 30-300%). Sett över en längre tidsperiod (2010-2014) fungerar modellerna bättre (Tabell 1). Det intensiva regnet missar mätstationernas avrinningsområden, som istället får del av regn i utkanten av regnområdet. I både Svedala och Trolleberg har högre flöden uppmätts tidigare under augusti än vid Malmöregnet. I Svedala svarar området snabbt på regnet med stigande flöde, en viss andel stad/hårdgjord yta finns där nära mätstationen, som sedan långsamt avtar. Området mitt i Malmö stad (90) simulerar också ett snabbt stigande och därefter snabbt avtagande flöde. I Trolleberg däremot ökar och avtar flödet gradvis.

Den omkalibrerade modellen ger snabbare avklingning av flöde efter en flödestopp i Svedala än för den skalade modellen. Simuleringen i Trolleberg har förbättrats gentemot den skalade modellen genom att avdunstningen ökats. Skillnaderna mellan modellerna är dock inte stora. Den urbana modellen har förbättrad beskrivning av urbana/hårdgjorda ytor med snabba flöden. Denna modell ger generellt lägre avdunstning och högre flödestopp i områdena. Inne i Malmö stad (90) simuleras tio gånger högre flödestopp för Malmöregnet än med den skalade modellen. För modellen som kombinerat den urbana modellen och de omkalibrerade parametrarna är resultatet ungefär detsamma

som för den urbana modellen, förutom att flödet efter Malmöregnet i område 90 har halverats och är ”bara” fem gånger högre än för den kalibrerade modellen.

De deterministiska 24-h prognoserna på tim-tidssteg gav inte lika intensiva eller volymmässigt omfattande regn som senare uppmättes (dvs HIPRAD) i Svedala eller Trolleberg. Flödesresponsen följde prognostiserat regn i starttid, men var långsammare och mer utslätat än observerat flöde. Detta gäller alla fyra varianterna av modeller i dessa två områden. I Malmö stad (område 90) var det dock stor skillnad mellan de två modellerna baserade på den urbananpassade dygnsmodellen och de två andra modellerna. Som beskrivits ovan simulerades flödet i de urbanbaserade modellerna med mycket högre flödestoppar och snabbare flöde. Samma respons ses hos ensembleprognoserna. Det dock finns inte någon enstaka ensembleprognos-simulerat flöde som når upp till i efterhand simulerat maxflöde med HIPRAD.

Simuleringarna med dygnsmodellen förutsade den 29 augusti ett större regn med högt flöde den 31 augusti (dvs två dagar innan), men varken regn eller flöde var så stora som sedan uppmättes/simulerades med observationer. Detta gäller båda stationerna och Malmö stad (90). Regnet som föll redan den 30:e var inte med i prognoserna. Varningsnivå uppnåddes inte av prognosernas simulerade flöden. Efter att regnet observerats simulerade dygnsmodellen flöden av varningsnivåstorlek i Malmö stad (varningsnivå 2).

Tabell 1. Utvärderingsmått för fyra modelluppsättningar av S-HYPE på 1h tidssteg för 1 januari 2010 - 31 december 2014 för de två stationerna i Malmöområdet.

Subid\Station	Basmodell	NSE med skalade parametrar	NSE med omkalibrerade parametrar
53 Svedala	S-HYPE 1.2.1	0.73	0.70
53 Svedala	S-HYPE 2.0.0+urban	0.72	0.70
127 Trolleberg	S-HYPE 1.2.1	0.70	0.75
127 Trolleberg	S-HYPE 2.0.0+urban	0.72	0.73

Bilaga 4: Hallsbergsregnet 2015

