

# FLÖDESMODELLERING I MIKE URBAN BASERAD PÅ HÖGUPPLÖST X-BANDRADAR DATA

## FLOW SIMULATION IN MIKE URBAN BASED ON HIGH-RESOLUTION X-BAND RADAR DATA



*Lisa Olsson*

*Hoppets gränd 28 A, 903 34 Umeå. Epost: olssonlisa.m@gmail.com*

### Abstract

In recent years, X-band radar has emerged as a tool to improve the input data to rainfall-runoff modelling in urban catchments thanks to its high spatial and temporal resolution compared to other radars used for precipitation measurements. An X-band radar was installed in a pilot project run by VA SYD and LTH, ten kilometres east of Lund in the southernmost Sweden during July and August 2018. In this master thesis project these data were used as input data to a MIKE urban wastewater pipe system model over Lund, developed to control the inlet flow to Källby WWTP in Lund. The goal of the study was to conclude whether the X-band radar data could provide acceptable flow predictions compared to measured values of the same period. The results showed that the X-band radar data captured flow peaks that the rain gauge misses, that dense rainfall above the radar itself may attenuate the signal and that after low intensity rainfalls the radar data simulated flow peak occurs earlier than the measured. Overall, the radar has a potential to improve modelling results– if proper bias adjustment is obtained and the risk of underestimated flows after a heavy rain is minimized.

### Sammanfattning

Under senare år har X-bandradarn kommit som ett verktyg för att förbättra indata till avrinningsmodellering inom urbana miljöer, tack vare sin höga upplösning i tid och rum. I ett pilotprojekt som drevs av VA SYD och LTH installerades en X-bandradar tio kilometer öster om Lund. Under juli och augusti 2018 samlades data in och dessa data användes i detta examensarbete som indata till en MIKE urban spillvattenmodell över Lund, framtagen för att styra inflödet till Källby reningsverk. Målet med studien var att fastställa huruvida X-bandradardata kunde producera acceptabla flödesuppskattningar jämfört med uppmätta värden för samma period. Resultaten visade att X-bandradarn kan fånga flödestoppar som missas med regnmätardata; att kraftigt regn ovanför radarn kan försvaga signalen och att efter lågintensiva regnväder inträffar flödestoppar tidigare med radardata än vad som uppmätts. Generellt har radarn potential att förbättra modelleringen – om tillräcklig biasjustering görs och om risken för underskattade flöden efter kraftiga regn minimeras.

*Key words:* X-band radar; MIKE URBAN; modellering; rainfall-runoff; online control

## Introduktion och bakgrund

Ett förändrat klimat med fler och kraftigare regnhändelser (SMHI, 2017) ökar också risken för översvämningar i avloppsnätet, inte minst i områden med kombinerade system där regnvattenpåverkan är hög (Svenskt Vatten, 2016). Förtätning av urbana miljöer är en annan bidragande faktor till ökad belastning på avloppsnätet; tidigare genomsläppliga ytor blir hårdgjorda och fler hushålls kopplas på. (Semadeni-Davies m.fl., 2008). Lund är en växande stad, med just förtätning som en uttalad strategi för att möta en ökad efterfrågan på bostäder (Lunds kommun, 2016). En konsekvens av detta är att Källby reningsverk i södra Lund kommer att läggas ner för att göra plats åt bland annat bostäder. På platsen planeras i stället ett utjämningsmagasin, varifrån spillvattnet ska pumpas till Sjölundas reningsverk i Malmö. Lunds avloppsnät är till största del separerat, men påverkas ändå av regn och VA SYD vill kunna kontrollera vilka volymer som ska transporteras till Malmö. Kraftiga, skyfallsliknande regn, med stor påverkan på spillvattennätet, är dock svåra att förutse och mäta. Ett sätt att få bättre data är med hjälp av en X-bandradar. Denna producerar högupplöst nederbördsdata i tid och rum som sedan kan användas som indata till vädermodeller (Hernebring och Mårtensson, 2013). Tekniken för att förutspå skyfall med hjälp av X-bandradar har testats många gånger (t.ex. CASA, utan årtal; EnviDan, utan årtal; RainGain, 2012; Goormans och Willems, 2013) och öster om Lund installerades 2018 Sveriges första X-bandradar med detta syfte (South m.fl., 2019).

Det svenska projektet Future City Flow (FCF) syftar till att utveckla verktyg för att introducera

modern styrteknik till befintliga avloppssystem (Sweden Water Research, utan årtal), och inom ramen för detta projekt byggdes en spillvattenmodell upp över Lund. Modellen byggdes i modelleringsprogrammet MIKE urban, med syfte att kunna användas för realtidsstyrning. Denna artikel sammanfattar en studie av hur denna modell fungerade med indata från X-bandradaren.

Studie utfördes som ett examensarbete (Olsson, 2019) och syftade till att utvärdera nederbördsdata från en lokal X-bandradar som indata till en MIKE urban-modell, jämfört med data från regnmätare. Detta för att undersöka om noggrannheten av flödesuppskattningarna av inkommande vatten vid Källby reningsverk kan förbättras och om dessa utdata är tillräckligt noggranna för att användas vid en realtidsstyrning.

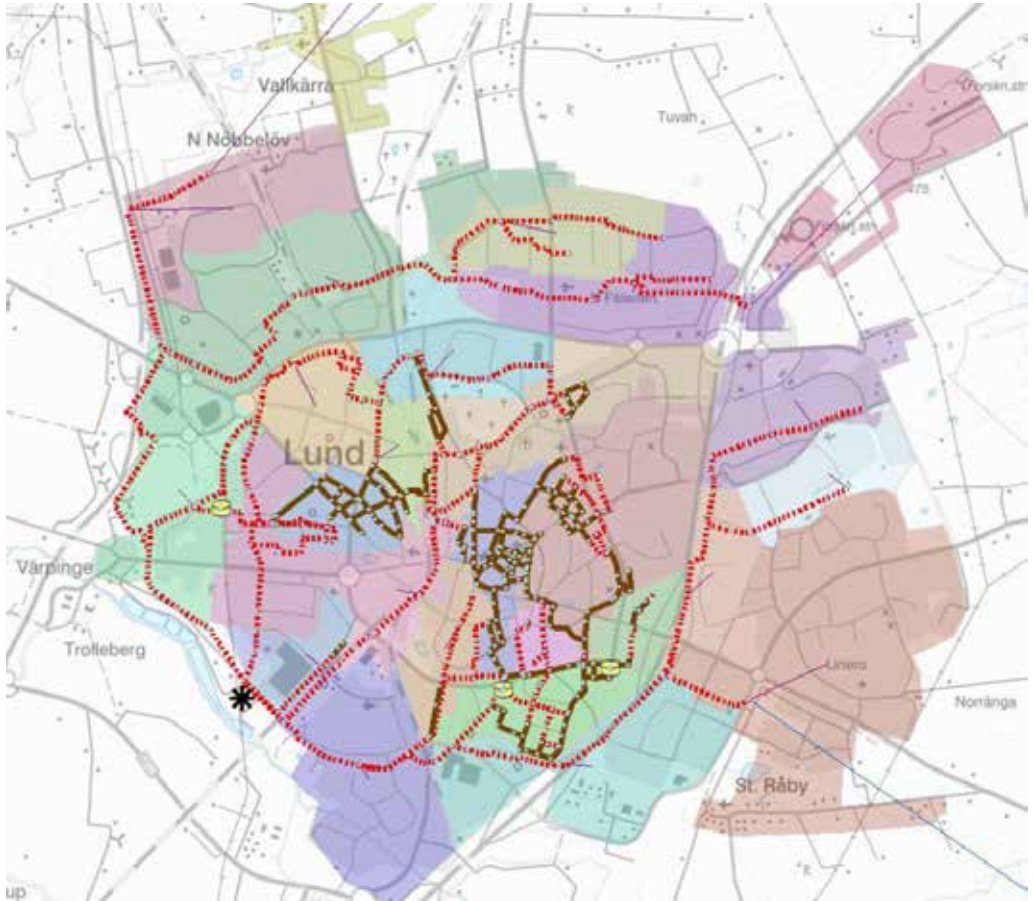
## Material och metod

### *X-bandradar*

En radar gör kontinuerliga mätningar i tid och rum, och nederbördsdata beräknas bland annat baserat på en reflektivitetsfaktor (Nielsen m.fl., 2013). En antenn roterar och sänder ut elektromagnetiska pulser, där frekvensen varierar mellan olika typer av radar. När pulsen träffar ett mål reflekteras en signal med förändrad frekvens. Hos denna signal mäts amplitud, fas och propagering. Amplituden beror på den regndroppe som utsignalen träffade, och används för att bestämma reflektivitetsfaktorn  $Z$  (WMO, 2014). Den vanligaste typen av meteorologisk radar är C-bandradar (Pedersen, 2009). Kännetecknande för X-bandradarn är till exempel den höga upplösningen i tid och rum. Den har dock kortare räckvidd och är mer utsatt för försvagning av signalen än C-bandradarn

**Tabell 1:** Typiska värden för X-bandradar och C-bandradar. Observera att värdena varierar med modell, inställningar och kalibrering.

	X-band	C-band
Våglängd	3 cm	5 cm
Tidslig upplösning	1 – 5 min	5 – 10 min
Rumslig upplösning	100 – 1000 m	250 – 2 000 m
Observationsradie	60 km	240 km
Mätradic	30 – 60 km	100 – 130 km



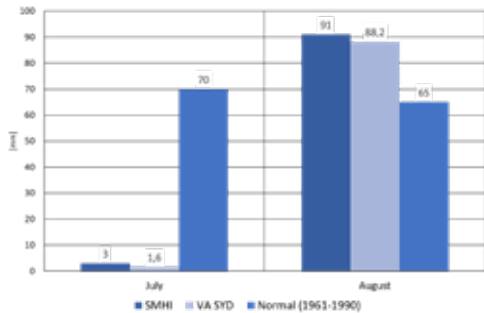
**Figur 1.** Översikt över Lunds spillvattennät representerat i den förenklade modellen.

(Thorndahl m.fl., 2017). Tabell 1 visar typvärden för några parametrar hos X-bandradarn respektive C-bandradarn.

För att nyttja X-bandradarns fulla potential krävs noggrann kalibrering och biasjustering. Dessa baseras vanligen på regnmätardata (Nielsen m.fl., 2013). Regnmätardata ses ofta som sanningen vid kalibrering och biasjustering av radardata, vilket kan vara problematiskt eftersom de bara ger en sann representation av den absolut närmaste omgivningen (Borup m.fl., 2016). Felaktig data på grund av bristande kalibrering och igensatta mätare är inte ovanligt (Thorndahl m.fl., 2017) och lyfts även fram som viktiga faktorer för en fortsatt utveckling av X-bandradaranläggningen i Dalby

(South m.fl., 2019). Det var i början av juli 2018 som Sveriges första X-bandradar för användning inom hydrologisk modellering installerades. Den placerades på toppen av Dalby vattentorn, några kilometer öster om Lund. Radarn var på plats under juli och augusti 2018, inom ramen för ett pilotprojekt genomfört av VA SYD, Lunds universitet, Sweden Water Research och SMHI. I april 2019 installerades radarn på nytt i Dalby, denna gången permanent.

Radarn är en Furuno WR-2100 X-bandradar, som simultant sänder och tar emot horisontella och vertikala pulser med en maxhastighet på 16 rpm. Detta genererar ungefär 60 MB data per minut, som måste bearbetas och lagras. Radarn scan-



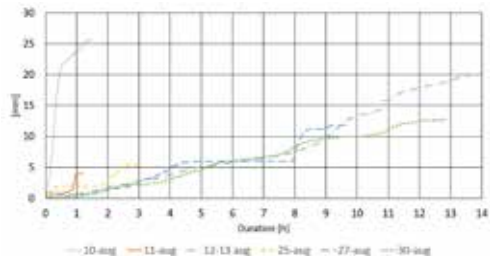
**Figur 2.** Ackumulerad månatlig nederbörd i Lund under juli och augusti 2018, jämfört med normalt.

nar i flera vinklar, där mät höjden ökar med vinkel och avstånd från radarn. De data som användes i denna studie mättes med 4 graders vinkel från horisontellt plan (scan-nivå 2). I Lund, ca 10 km från radarn motsvarar detta en mät höjd på nästan 700 m över marken. Radarns räckvidd är ungefär 60 km. Under testperioden skedde ingen lokal kalibrering av radarn, eftersom det bland annat kräver betydligt längre mätperioder än två månader (South m.fl., 2019). En enkel biasjustering gjordes dock utifrån på de data som fanns. Denna biasjustering baserades på radardata i förhållande till regnmätardata från flera av VA SYDs regnmätare i och runt Lund. En generell koefficient för hela VA SYDs område (0,25) samt en lokal koefficient för Lund (0,73) togs fram (Hedell och Kalm, 2019). För jämförelse vid flödessimuleringarna användes båda koefficienterna, vilket resulterade i två parallella indataset med radardata.

### Ledningsnätsmodell i MIKE URBAN

Lunds avloppsnät är till största delen ett separerat nät, med undantag för äldre och centrala delar där drygt 80 % av ledningarna är kombinerade. Dessa utgör ungefär 10 % av stadens totala ledningssträcka. Tack vare Lunds sluttande topografi rinner det mesta av avloppsvattnet med självfall (VA SYD, 2018).

Den modell som användes i studien togs fram av VA SYD och DHI och representerar avrinningsområdet till Källby reningsverk. Detta innefattar Lund stad, samt Dalby, Veberöd, Genarp och Stångby. Ledningsnätsmodellen var en förenklad



**Figur 3.** Översikt över regnhändelserna i augusti 2018.

modell, där endast Lund, Stångby och Dalby representerades med avrinningsområden och ledningsnät. Övriga områden inkluderades som cykliska spillvattenbelastningar. Hela avrinningsområdet var indelat i 29 delavrinningsområden, av vilka 27 täckte Lunds stad och de två andra representerade Stångby respektive Dalby. De var olika stora, från 10 till 386 hektar och med en permeabilitet från 70 % till 100 %. Modellen täckte inte in de separata dagvattenledningarna, utan beaktade enbart dagvatten som uppstod i avrinningsområdena kopplade till kombinerade ledningar. Permeabiliteten var därför ett mått på hur mycket avrinning som bidrog till spillvattenflödet in till Källby reningsverk, där 100 % permeabilitet innebar att allt dagvatten antogs avledas separat utan att bidra till spillvattenflödet.

Modellen designades för att kunna köra snabba beräkningar och därmed möjliggöra en framtida realtidskontroll över inkommande flöde till Källby (idag reningsverk, i framtiden utjämningsbassäng). Förutom att enbart huvudledningarna var representerade var även pumpar exkluderade, med undantag för den pumpstation som pumpar vattnet från Dalby (vilket inkluderar Genarp och Veberöd) till Lund. Eftersom den stora majoriteten av avloppsvattnet är gravitationsdrivet antogs detta endast ha en mindre påverkan på modelleringen. Figur 1 visar Lunds avloppssystem såsom det beskrivs i modellen. Röda, streckade linjer är spillvattenledningarna och bruna, heldragna linjer är de kombinerade ledningarna.

VA SYD och DHI genomförde en första grov-

och finkalibrering av modellen där framförallt den snabba avrinningen kalibrerades mot flödesmätningar. Avrinningen kalibrerades med avseende på volym, timing och flödestopparnas storlek.

#### *Regndata*

De nederbördsdata som användes i modelleringen utgjordes av ett antal regnhändelser i augusti 2018. Testperioden för X-bandradarn varade mellan 3 juli och 11 september, men i princip inget regn registrerades i Lund i juli 2018. I september regnade det efter att testperioden avslutats och radarn monterats ner. Därmed begränsades den faktiska studerade perioden till augusti 2018. Figur 2 visar ackumulerad månatlig nederbörd, registrerad av två regnmätare i Lund under juli och augusti 2018; den ena tillhör SMHI, den andra VA SYD, jämfört med normal nederbördsmängd (referensperiod 1961-1990).

#### *Regnmätardata*

Under testperioden hade VA SYD enbart en regnmätare i Lund, placerad i sydöstra delen av staden. Sju regnhändelser som antogs kunna påverka flödet till Källby reningsverk noterades. Figur 3 visar en översikt över dessa händelser, med ackumulerad regnmängd över tid. Regnhändelserna varierade med avseende på tidlig och rumslig utbredning, intensitet och ackumulerad volym. Tabell 2 beskriver händelserna översiktligt.

Regnmätaren var en så kallad tipping buck-

et-mätare, där en registrerad puls motsvarade 0,2 mm regn. Mätaren loggade ner på sekundnivå och dess nederbördsdata antogs gälla för samtliga avrinningsområden i modellen.

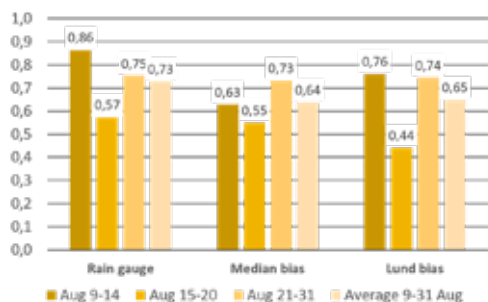
#### *X-bandradardata*

Till skillnad från regnmätaren, producerade radarn data med rumslig variation. Varje minut producerades en rasterbild, där en rutnätscell mätte 500 x 500 m och innehöll den lokala regnintensiteten. Tidsserier laddades ner för varje rutnätscell som helt eller delvis täcktes in av modellens delavrinningsområden. När tidsserierna laddats ner multiplicerades de med de biaskoefficienter som tidigare presenterades. Detta resulterade i två parallella dataset, där det ena var multiplicerat med 0,73 (biaskoefficienten för Lund) och det andra med 0,25 (den generella koefficienten för hela radarns område).

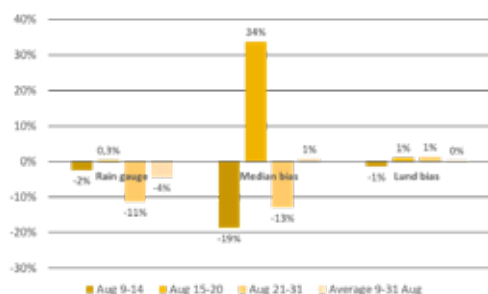
Ett delavrinningsområde motsvarade en del av, eller flera, rutnätsceller från radarns rasterbild. Nederbördsdata från dessa rutnätsceller konverterades till tidsserier som sedan viktades för samtliga avrinningsområden. Viktningsfaktorer togs fram genom att lägga ett motsvarande rutnät med 500 x 500 m upplösning ovanpå avrinningsområdena och sedan beräkna hur stor del av ett avrinningsområde som en cell täckte. För varje avrinningsområde multiplicerades de ingående rutnätscellernas tidsserier med respektive viktningkoefficient. Dessa viktade tidsserier summerades sedan och resulterade i en specifik tidsserie för varje avrinningsområde. För

**Tabell 2.** Översikt över regnhändelserna i augusti 2018.

Datum	Beskrivning	Mängd	Varaktighet
10 augusti	Första nederbörden i Lund efter veckor av torka. Högintensivt.	26 mm	1,5 h
11 augusti	Lokala skurar med varierande intensitet	4 mm	1 h
12-13 augusti	Långvarigt regn, lätt- till medelintensivt	20 mm	14 h
25 augusti	Lokala skurar med varierande intensitet. Två händelser med några timmars mellanrum	5,6 mm	3 h
27 augusti	Lätt regn följt av mer högintensiva skurar efter fem timmars mellanrum	12 mm	9 h 40 min
30 augusti	Liknande den 12-13 augusti	13 mm	12 h 50 min



Figur 4. Förklarad varians för de tre olika dataseten för augusti 2018.



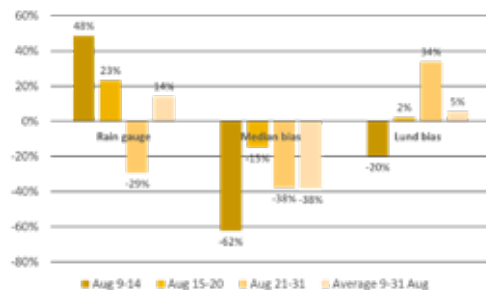
Figur 6. Volymfel för de tre olika dataseten för augusti 2018.

varje avrinningsområde fanns det således två dataset; ett som multiplicerats med den Lund-specifika biaskoefficienten och ett som multiplicerats med den områdesgenerella koefficienten.

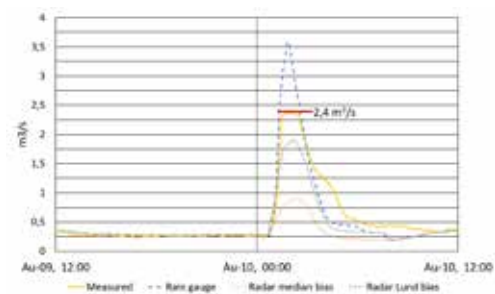
X-bandradarn uppfattade inte bara regn, utan även en del felaktigt brus. Detta brus var falska signaler som radarn registrerade som regn, och uppstod främst över Lunds centrala delar. Ett automatiskt filter, inbyggt i den tjänst där data laddades ner, sorterade bort alla datapunkter där brus registrerades. Detta resulterade dock i att data ofta saknades eller var bristfällig över Lunds centrala delar; delar där avloppsnätet påverkades mest av nederbörd.

### Modellering i MIKE URBAN

Simuleringen gjordes i två steg, där första steget beräknade den genererade avrinningen baserat på nederbördsdata. Dessa avrinningsresultat användes



Figur 5. Peak error för de tre olika dataseten för augusti 2018.



Figur 7. 10 augusti 2018, simulerat vs uppmätt inflöde till Källby ARV för de tre dataseten.

sedan som indata till ledningsnätssimuleringar. Tre parallella simuleringar för augusti 2018 utfördes; ett för varje dataset (I) regnmätare, (II) generellt biasjusterad radardata och (III) Lundspecifikt biasjusterad radardata). För varje resultatfil analyserades inflödet till Källby reningsverk jämfört med uppmätta flöden. Med ett inbyggt verktyg beräknades förklarad varians ( $R^2$ ), peak error (%) och volymfel (%).

### Resultat och analys

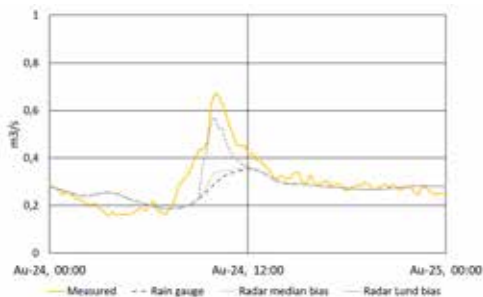
Figur 4 visar förklarad varians. Ju högre värde, desto närmare följer modellerat flöde det uppmätta flödet. Resultaten från regnmätardatan ligger över motsvarande värden för radardata, vilket delvis kan förklaras med att modellen är kalibrerad med regnmätardata. Figur 5 visar peak error, där 0 % innebär att modellerade toppflöden helt överensstämmer med uppmätta toppflöden. Det dataset

som korrigerats med den områdesgenerella koefficienten visar en tydlig tendens att underskatta dessa toppar. Figur 6 visar volymfelen, där 0 % motsvarar en överensstämmelse med uppmätt volym. Här ligger resultaten från simulering med Lund-justerad radardata nära 0 % volymfel.

Från simuleringarna och jämfördes flödet in till Källby reningsverk dels mot de olika datasetens resultat, dels mot uppmätta flöden. Generellt låg resultaten från simuleringarna justerade med den lägre biaskoefficienten mycket under de uppmätta värdena. Resultat från tre olika händelser presenteras.

Figur 7 visar den 10 augusti 2018, då ett kraftigt regnväder drog in över sydvästra Skåne. Denna händelse presenterade det högsta uppmätta inflödet till Källby reningsverk, liksom de högsta simulerade värdena med regnmätardata. Detta regnväder var tillräckligt kraftigt för att blockera radarsignalen, vilket resulterade i ingen eller begränsade radardata under 15-30 min. Resultaten från Lund-justerade radardata tenderade att ligga över både uppmätta flöden och flöden simulerade med regnmätardata, medan de nu ligger under båda dessa. Samtidigt når de uppmätta flödena inte högre än  $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , vilket är det högsta flödet som flödesmätaren vid Källby reningsverk kan mäta. Detta gör det svårt att bedöma hur nära det verkliga flöden som de modellerade flödena ligger.

Figur 8 visar den 24 augusti, då ett kortare, lokalt regnväder drog in över Lund. En liten, men tydlig flödestopp registrerades av flödesmätaren. Denna topp syns i flödet simulerat med den Lund-juste-



**Figur 8.** 24 augusti 2018, simulerat vs uppmätt inflöde till Källby ARV för de tre dataseten.

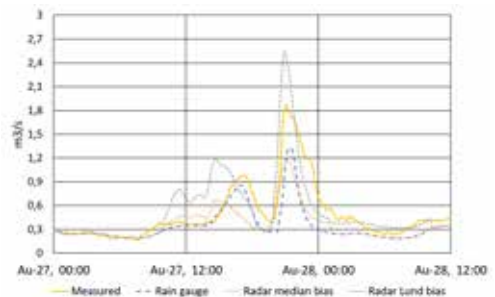
rade radardatan, om än något underskattad. Den fångades däremot inte av simuleringarna med regnmätardata.

Figur 9 visar den 27 augusti, då ett längre med lågintensivt regnväder följdes av ett kortare men intensivare regnväder. Enligt simuleringen med den Lund-justerade radardatan ökar flödet tidigare än vad flödesmätaren uppfattar. Den senare toppen ligger mer rätt i tid, men överskattas av simuleringen med Lund-biasjusterad data och underskattas av simuleringen med regnmätardata. I båda fallen avtar flödet snabbare än enligt flödesmätaren.

### Sammanfattande analys

Baserat på analys av resultaten kan följande observationer göras:

- Lund-justerad (multipliserad med 0,73) radardata tenderar att producera överskattade toppflöden, medan områdesgenerellt korrigerade (multipliserad med 0,25) radardata tenderar att underskatta flöden.
- Lågintensivt regn tenderar att generera en tidig start av ökat flöde med det Lund-justerade datasetet.
- Det Lund-justerade datasetet producerar flöden med låga volymfel, kring 0 %.
- Försvagning av radarstrålen vid högintensiva regn har en inverkan på simulerade flöden, som då underskattas
- Med en X-bandradar är det möjligt att fånga flödestoppar som inte registreras i flöden simulerade med regnmätardata.



**Figur 9.** 27 augusti 2018, simulerat vs uppmätt inflöde till Källby ARV för de tre dataseten.

## Diskussion

Att manuellt ladda ner, vikta och konvertera radardata var ett tidskrävande arbete. För undvika manuella fel, och för att tidsmässigt kunna läsa och använda radardata i realtid behöver detta steg göras automatiskt. När data laddades ned upptäcktes även att filtret mot radarbruset gjorde att det för flera centrala rutnätsceller till stor del saknade data. Detta medförde att det för centrala avrinningsområden, där flera tillhörde de med betydande dagvattenpåverkan på spillvattennätet, registrerades lägre nederbördsmängder jämfört med andra avrinningsområden. Detta bortfall av data kan även ha påverkat de biaskoefficienter som togs fram.

Vid högintensiva regnhändelser korrelerade start- och sluttid väl mellan radar och regnmätare, vilket återspeglades i det simulerade flödet. Även om toppflödena skilde sig åt mellan de två dataseten och jämfört med det uppmätta flödet, var form och timing likvärdig. Detsamma gäller inte för lågintensiva regnhändelser, då radarn i några fall registrerade data flera timmar innan och / eller efter regnmätaren registrerade regn. Detta kan delvis bero på att radarn mäter nederbörd högt ovanför marken; vid lågintensiva regn är det mer troligt att regndropparna ändrar riktning eller avdunstar innan de når regnmätaren. En annan förklaring kan vara att regndropparna generellt sätt är lättare vid lågintensiva än högintensiva regn, vilket resulterar i en långsammare färd ner mot marken. Regnmätaren är dock inte heller felfri. Tipping-bucket-mätaren som används av VA SYD behöver 0,2 mm regn innan någonting registreras. När den första signalen registreras är det inte möjligt att se när den första regndroppen verkligen träffade mätaren. Vid ett lågintensivt regn kan det ta flera minuter innan den lilla skålen fylls upp, och på samma sätt kan regnet fortsätta flera minuter efter att den sista signalen registrerades. Om det är varmt ute finns det också risk att vattnet evaporerar innan det hinner registreras. Eftersom lågintensiva regn är kopplade till dessa osäkerheter var det kanske inte heller förvånande att de simulerade flödena efter dessa regn visade på lägre korrelation än efter högintensiva regn.

Scan-nivå är en annan faktor som påverkar ra-

dardata. Till detta projekt användes nivå 2, och det är möjligt att resultaten hade skilt sig åt om en annan nivå använts. Om nivån är för låg blockeras den dock lättare, och störs av höga byggnader och höjder i landskapet. Vid en för hög nivå når å andra sidan radarn inte tillräckligt lågt för att skapa en rättvis bild av regnet. För framtida studier kan det därför vara intressant att undersöka vilken nivå som ger det bästa resultatet, eller om det skulle kunna vara aktuellt att interpolera mellan nivåer.

En tydlig styrka hos X-bandradarn syntes den 24 augusti, då en flödestopp fångades vid simulering med radardata men inte med regnmätardata. Regnets mest högintensiva del rörde sig över de centrala delarna av Lund, utan att passera regnmätaren. Regnet var relativt kortvarigt och utan exceptionellt hög intensitet, men det visar ändå på den potentiella styrkan att mäta nederbörd med en X-bandradar i ett urbant område. En tydlig svaghet hos X-bandradarn syntes å andra sidan den 10 augusti, då radarsignalen blockerades av det mycket kraftiga regnvädet. Medan regnet fortsatte med obehindrad styrka över Lund (och Malmö) nådde radarsignalen inte mer än ett par kilometer i radien runt Dalby. Detta kan, åtminstone delvis, förbättras och lösas genom att ansluta radarn till ett nätverk av andra radarer. Vid en onlinestyrning av avloppssystemet är det inte önskvärt att mata modellen med försvagade och felaktiga data vid högintensiva regnhändelser. Radarbruset är en annan svaghet hos radarn. Det är nödvändigt att den kan producera pålitliga data och att dessa är filtrerade på ett sådant sätt att bara felaktigt brus och inte verklig nederbörd avlägsnas. För att ta fram ett sådant filter är det dock troligt att mer data krävs än vad som producerades under testperioden.

Eftersom radarn kontinuerligt mäter sin omgivning och ständigt producerar ny data kan den ge värdefull och detaljerad information om hur regnet rör sig, på ett sätt som inte ett nätverk av regnmätare kan. Den höga rumsliga upplösningen hos X-bandradarn jämfört med SMHI:s C-bandradar ska bättre kunna fånga lokala och högintensiva regnväder som varierar inom staden. Det skulle därför ha varit intressant att genomföra denna studie med data från en C-bandradar för att jämföra



hur de simulerade flödena skulle ha varierat med två typer av radardata.

X-bandradarns testperiod startade mitt i en av de varmaste och torraste somrarna sedan svenska temperatur- och nederbördsmätningar startade. Dessa förhållanden är inte representativa för en normal sommar och heller inte för årstidsvariationer. Även om snöiga vintrar är ovanliga i den här delen av landet är det inte ovanligt med ett antal snötillfällen per vinter. Hur registrerar radarn snö? Vad händer när nederbörden är frusen på radarns scan-nivå men flytande när den når marken? Skulle radarstrålen kunna försvagas på samma sätt vid ett kraftigt snö(o)väder som vid regnhändelsen den 10 augusti? Vad händer om våt snö landar och fryser på radarkupolen? Dessa frågor kan förhoppningsvis bli besvarade när radarn suttit uppe och levererat data under en hel säsong.

Biasjusteringen som användes var en enkel mean field bias, och baserades på antingen alla VA SYDs verksamma regnmätare (den generella koefficienten) eller enbart på Lund-mätaren. Med flera regnmätare inom Lunds stad skulle det vara möjligt att fånga skillnader på en mindre skala. Kanske skulle det då vara möjligt att utveckla än mer lokala biaskoefficienter, om radarn skulle variera i noggrannhet inom Lund.

### Slutsatser

Det huvudsakliga syftet med det här examensarbetet var att utvärdera användningen av X-bandradardata som indata till en MIKE urban-modell. Även om mätperioden var begränsad till en månad kan det fastställas att X-bandradardata har sina styrkor och svagheter. En av de tydligaste styrkorna är dess rumsliga upplösning, vilken möjliggjorde simulering av en flödestopp som inte fångades med regnmätardata. Vid mer högintensiva lokala regnhändelser kan den här typen av information vara av stort värde. En av de tydligaste svagheterna var dock risken för försvagning när riktigt högintensiva regn passerar radarn. Om ett nätverk av X-bandradarer byggs upp inom regionen är det av stort intresse att studera hur och om detta påverkar försvagningen av radarsignalen.

Eftersom mätperioden begränsades till en må-

nad är det också möjligt att fastställa att längre dataserier behövs för att både optimera brusreduktion och biasjustering. Det var tydligt att den generella biaskoefficienten (0,25) var för låg, medan Lund-koefficienten (0,73) i flera fall inte var tillräckligt låg. Så länge stora centrala delar av Lund ligger inom områden med mer eller mindre prominent brus kommer radardata över området inte att spegla verkligheten och det kommer att vara svårt att applicera en riktig biasjustering. Biasjustering i allmänhet kräver regnmätardata med högre geografisk spridning och upplösning än vad som varit fallet i detta projekt. Eftersom lågintensiva regn tenderar att producera flödesresultat med lägre timing än högintensiva regn, skulle biasjustering med avseende på intensitet kunde vara ett alternativ.

För att X-bandradardata ska vara ett komplement eller alternativ till regnmätardata vid hydrologisk modellering måste de vara lättillgängliga. Formatet måste tillåta användaren att enkelt ladda ner georefererade tidsserier som är redo att användas. Vi en framtida användning av en reatidsstyrning måste datan behålla sin höga upplösning och ändå lagras i filer som är tillräckligt små för att möjliggöra snabba beräkningar. Det är också viktigt att radardata för input till antingen en korttidsväderprognos eller direkt in i en modell är mer noggranna i tid och volym än de dataset som använts här.

Till sist kan det sägas att X-bandradardata som indata till en hydrologisk MIKE URBAN-modell har en stor potential att fånga rumsliga variationer i regnväder, och därmed undvika risken för "osynliga" regn som inte passerar regnmätaren. För att radarn ska nå sin fulla potential behövs längre dataserier i kombination med ett tätare nätverk av regnmätare för att bland annat lösa problemet med felaktigt brus och för att ta fram en lämplig biasjustering. Med de dataset som varit tillgängliga för detta projekt har det därför inte varit möjligt att fastslå vilket dataset som är bättre än det andra vad gäller att simulera flöden. Det skulle däremot vara mycket intressant hur resultatet skulle bli i en liknande studie om ett år eller två.

## Litteratur

- Borup, M. m.fl. (2016) "Dynamic gauge adjustment of high-resolution X-band radar data for convective rain storms: Model-based evaluation against measured combined sewer overflow", *Journal of Hydrology*, (539), s. 687–699.
- CASA (utan årtal) DFW Urban Test Bed - Research : Urban-TestBed. Tillgänglig vid: <http://www.casa.umass.edu/main/research/urbantestbed/> (Åtkomstdatum: 19 februari 2019).
- EnviDan (utan årtal) Udviklingsprojekt Vejrradar. Tillgänglig vid: <https://www.envidan.dk/cases/vejrradar> (Åtkomstdatum: 19 februari 2019).
- Goormans, T. och Willems, P. (2013) "Using Local Weather Radar Data for Sewer System Modeling: Case Study in Flanders, Belgium", *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(2), s. 269–278. doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000589.
- Hedell, C. och Kalm, A. (2019) Applying X-band radar data in urban hydrology - Adjusting data for a neural network model, based on the pilot project in Dalby 2018. TVVR 19/5004, Dep. of Water Resources Engineering, Lund Univ.
- Hernebring, C. och Mårtensson, E. (2013) Pluviala översvämningar: konsekvenser vid skyfall över tätorter, en kunskapsöversikt. Tillgänglig vid: <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/26609.pdf> (Åtkomstdatum: 28 januari 2019).
- Lunds kommun (2016) Urbyggnads- och boendestrategi.
- Nielsen, J. E., Thorndahl, S. och Rasmussen, M. R. (2013) "Development of method for X-band weather radar calibration", *Journal of Hydroinformatics*, 15(4), s. 1326–1339.
- Olsson, L. (2019) Flow simulation in MIKE URBAN based on high-resolution X-band radar data. A case study in Lund. TVVR 19/5005, Dep. of Water Resources Engineering, Lund Univ.
- Pedersen, L. (2009) Identification and Quantification of Uncertainties Related to Using Distributed X-band Radar Estimated Precipitation as input in Urban Drainage Models. Technical University of Denmark.
- RainGain (2012) FAQs Site RainGain. Tillgänglig vid: <http://www.raingain.eu/en/faqs> (Åtkomstdatum: 19 februari 2019).
- Semadeni-Davies, A. m.fl. (2008) "The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Combined sewer system", *Journal of Hydrology*, 350, s. 100–113.
- SMHI (2017) Antalet fall med kraftig dygnsnederbörd. Tillgänglig vid: <https://www.smhi.se/klimat/klimater-da-och-nu/klimatindex/antalet-fall-med-kraftig-dygnsnederbord-1.76946> (Åtkomstdatum: 31 januari 2019).
- South, N., Hashemi, H., Olsson, L., Hosseini, S.H., Aspegren, H., Larsson, R., Berndtsson, R., Das, R., Marmbrandt, A., Olsson, J., Persson, A (2019) Väderradar teknik inom VA-området – test av metodik. Rapport Nr 2019-3. Svenskt Vatten Utveckling
- Svenskt Vatten (2016) Avledning av dag-, drän- och spillvatten. Tillgänglig vid: [http://vav.griffel.net/filer/P110\\_del1\\_web\\_low\\_180320.pdf](http://vav.griffel.net/filer/P110_del1_web_low_180320.pdf) (Åtkomstdatum: 25 januari 2019).
- Sweden Water Research (utan årtal) Future City Flow. Tillgänglig vid: <https://www.swedenwaterresearch.se/en/projekt/future-city-flow-3/> (Åtkomstdatum: 19 februari 2019).
- Thorndahl, S., Einfalt, T., Willems, P., Nielsen, J.E., ten Veldhuis, M.-C., Arnbjerg-Nielsen, K., Rasmussen, M. R., and Molnar, P. (2017) (2017) "Weather radar rainfall data in urban hydrology", *Hydrology and Earth System Sciences*. [European Geophysical Society], s. 1359–1380.
- VA SYD (2018) Årgårdsplan för Lunds avlopp 2017. Tillgänglig vid: [www.vasyd.se](http://www.vasyd.se) (Åtkomstdatum: 28 januari 2019).
- WMO (2014) Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. Tillgänglig vid: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=4147](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4147) (Åtkomstdatum: 11 mars 2019).