



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 16021

Examensarbete 30 hp
Juni 2016

Kartläggning av översvämningar med hydraulisk modellering och information från sociala medier

En fallstudie över Hallsberg

Johanna Gjerstad Lindgren

REFERAT

Kartläggning av översvämningar med hydrauliska modeller och information från sociala medier - En fallstudie över Hallsberg

Johanna Gjerstad Lindgren

Översvämningar som orsakats av kraftiga regn, så kallade skyfall, har på senare tid drabbat flera städer runt om i världen. Klimatförändringarna för med sig att skyfallen väntas tillta i styrka och översvänningsrisken kan därmed öka i framtiden. Konsekvenser som följer av kraftigare skyfall kan utredas med hydraulisk modellering, vilket gör det möjligt att simulera framtidsscenario och ger information om både vattenutbredning och händelseförlopp. Skapandet av pålitliga modeller som genererar trovärdiga resultat kräver stor tillgång till information om vattendjup och utbredning från tidigare översvämningar. Data som hämtas från traditionella mätstationer är i regel inte tillräcklig för ändamålet och uppgifter från allmänheten kan i dessa fall vara en värdefull informationskälla. Ett område som utforskats allt mer de senaste åren är hur data kan extraheras från allmänheten via inlägg på sociala medier. Vattenutbredning och djup kan uppskattas från bilder och filmer på dessa plattformar.

Den här studien syftade till att undersöka hur information från sociala medier kan användas för att kartlägga översvämningar samt för att förbättra hydrauliska modeller av översvämningar. En översvämning som inträffade i Hallsberg 2015 simulerades med en hydraulisk modell och kartlades även med information som hämtats från bilder och filmer på sociala medier. Vattenutbredningen och djupet som uppskattats med de två metoderna jämfördes därefter.

Den hydrauliska modellen bestod av en 2D-modell över ytavrinningen i Hallsberg tätort och en 1D-modell över Storån som rinner genom staden. Dessa kopplades samman så att vatten tilläts flöda mellan modellerna varvid samverkan mellan ytavrinningen och flödet i Storån kunde beskrivas. Kartläggningen som gjordes med information från sociala medier skapades med interpolation av vattendjup som uppskattas på olika platser i Hallsberg.

Informationen från sociala medier gav en god överblick över de värst drabbade områdena i centrala Hallsberg och kunde användas i början av studien för att uppskatta översvämningens utbredning samt i slutet för att förbättra modellen. Vattendjupet som estimerades från sociala medier var något större än det som genererades med den hydrauliska modellen, vilket sannolikt delvis kan härledas till att de simulerade scenarierna skilde sig något från den verkliga översvämningen 2015. De uppskattade vattendjupen var ett mycket bra komplement till övrig tillgänglig mätdata. Information från sociala medier kan således användas för att förbättra modeller och kontrollera deras kvalitet, det finns troligen mycket att vinna på att fortsätta utforska detta område i framtiden.

Nyckelord: hydraulisk modellering, sociala medier, kopplade modeller, översvämning, skyfall, Mike 21, Mike 11, Mike Flood,

Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala Universitet, Villavägen 16, SE75236 Uppsala, Sverige. ISSN 1401-5765.

ABSTRACT

Flood mapping with hydraulic models and information from social media - A case study of Hallsberg

Johanna Gjerstad Lindgren

Flooding caused by heavy rain has in the recent past affected several cities around the world. Because of climate change heavy rains are likely to increase in intensity and the risk of flooding may therefore increase in the future. The consequences of heavy rains can be studied with hydraulic models, which enables simulation of future scenarios and provides information regarding both flood spread and the course of events. The making of reliable models that generate trustworthy results requires great access to information about water depths and the extent of previous floods. Data from traditional monitoring systems are usually not sufficient for this purpose and information from the public can in these cases be valuable. In recent years studies have explored how data can be extracted from pictures and movies posted on social media by witnesses to catastrophes like floods. The water spread and depth can be estimated from images and movies on these platforms.

This study aimed to investigate how information from social media can be used to map the floods and how it can be utilized to improve hydraulic modelling of floods. A hydraulic model was created of Hallsberg, which suffered severe floods after heavy rains in 2015. The flood was also mapped with information of water depths that were estimated from pictures and movies on social media. The water spread and depth estimated by the two methods were then compared with each other.

The hydraulic model consisted of a 2D-model describing the runoff in Hallsberg and a 1D-model of the river Storån that runs through the city. The models were linked together so that the water was allowed to flow between the models and the interaction between surface runoff and water flow in Storån could be described. The flood map generated with information from social media was created by interpolation of water depths estimated at various locations.

The information from social media gave a good overview of the severely affected areas in central Hallsberg and was utilized in the process of making and improving the model. The water depths estimated with information from social media were slightly greater than those generated by the hydraulic model, which might be due to that the simulated scenarios differed slightly from the actual flood event in 2015. The water depth estimated from social media was a useful complement to other available data. The information can be used to improve models and control the quality of the results. The extraction and utilization of information from social media is an area of great potential and there might be much to gain from investigating this further in the future.

Key words: hydraulic modelling, social media, coupled models, flood, inundation, heavy rain, Mike 21, Mike 11, Mike Flood,

Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Science, Uppsala University, Villavägen 16, SE75236 Uppsala, Sverige. ISSN 1401-5765.

FÖRORD

Detta är ett examensarbete om 30 hp som utförts på civilingenjörsprogrammet i miljö och vattenteknik vid Uppsala Universitet. Arbetet är skrivet i samarbete med Norconsult och den hydrauliska modellen ingår i Örebro länsstyrelses och Hallsbergs kommuns utredning efter översvämningen som inträffade i Hallsbergs kommun i september 2015.Handledare var Magnus Jewert, hydroteknisk ingenjör på avdelningen Energi på Norconsult i Uppsala. Ämnesgranskare var Thomas Grabs, universitetslektor vid Institutionen för geovetenskaper vid Uppsala Universitet.

Jag vill börja med att tacka min handledare Magnus Jewert som sammanställt, data, försett mig med en dator, svarat på frågor och diskuterat problem genom arbetets gång. Jag vill även tacka min ämnesgranskare Thomas Grabs för stöd och idéer om examensarbetets utformning och inriktning. Jag vill rikta ett tack till Marc Girons på Uppsala Universitet som försett mig med material och diskuterat idéer kring sociala medier, till Sten Blomgren på DHI för studentlicensen till DHIs programvaror och till Marina Alexandrov på Norconsult som hjälp till med ArcGIS när det uppstått problem.

Jag vill tacka Länsstyrelsen i Örebro län för att jag fått använda deras bilder (figur 6) och riktar ett särskilt tack till Christian Brun som visat mig runt i Hallsberg samt till Daniel Bergdahl som bidragit med data till modellen. Jag vill även tacka Marianne Christiansen, förvaltningschef på Hallsbergs kommun, som ställt upp och svarat på frågor samt försett mig med material om översvämningen 2015.

Tack Norconsults medarbetare i Uppsala som låtit mig vara på deras arbetsplats, bjudit på fika och fått mig att känna mig välkommen, och tack Norconsults avdelning Energi för en tvådagarskurs i vattenrätt.

Till sist vill jag även rikta ett stort tack till mina föräldrar och vänner som har varit ett oerhört stort stöd under arbetets gång.

Johanna Gjerstad Lindgren

Uppsala, maj 2016

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Kartläggning av översvämningar med hydrauliska modeller och bilder från sociala medier - En fallstudie över Hallsberg

Johanna Gjerstad Lindgren

Översvämningar som orsakats av kraftiga regn, så kallade skyfall, har på senare tid drabbat flera stora städer runt om i världen. SMHI förutspår nu att skyfallen kan bli kraftigare till följd av klimatförändringarna och översvänningsriskerna väntas därmed öka i framtiden. Skyfall är som mest påtagliga i städer med mycket asfalterad mark och bebyggda områden. Vid sådana förhållanden hindras regnvattnet från att infiltrera marken och rinner istället av på ytan. Avloppsledningarna som ska leda bort regnvatten i städerna är vanligtvis inte designade för att klara av ett skyfall och vatten svämmar därmed över på gatorna. Översvämningar i städer får ofta stora konsekvenser som följd och kan innebära stora kostnader för lokalbefolkningen.

Konsekvenser som följer av kraftigare skyfall kan utredas och kartläggas med hjälp av hydraulisk modellering. Hydraulisk modellering gör det möjligt att simulera olika scenarion som kan inträffa i framtiden, till exempel vad som händer i ett samhälle vid ett kraftigt skyfall, eller hur en ombyggnation av ett samhälle påverkar översvänningsrisken. Kartläggningen är viktig för att förstå översvänningsförloppet, för att planera åtgärder som kan minska riskerna samt för att göra krisplaner och utveckla räddningsarbetet.

Hydrauliska modeller är komplicerade och resultatet från simuleringarna kan vara mycket osäkra. För att det ska vara möjligt att göra pålitliga modeller som genererar trovärdiga resultat krävs stor tillgång till information om vattendjup och utbredning från tidigare översvämningar. Sådan information kan vara svår att hitta, det saknas ofta mätstationer i det drabbade området, eller så har stationerna inte kapacitet att mäta extrema väderhändelser. I dessa fall kan allmänheten vara en värdefull informationskälla. Ett område som utforskas allt mer de senaste åren är hur data kan extraheras från allmänheten via inlägg på sociala medier. Bilder och filmer kan exempelvis innehålla information om både översvämningens utbredning och vattendjup i olika områden. Vid översvämningar i städer är det sannolikt att många av de drabbade är aktiva på sociala medier och därför finns det stora möjligheter att hitta information på dessa plattformar.

Den här studien syftade till att undersöka hur bilder och filmer från sociala medier kan användas för att kartlägga översvämningar samt för att förbättra hydrauliska modeller av översvämningar. En fallstudie gjordes över Hallsberg i Örebro län som drabbades av kraftiga översvämningar efter ett skyfall 2015. Översvänningsförloppet simulerades med en hydraulisk modell och kartlades även separat med information om vattendjup och utbredning som hämtats från sociala medier. Utbredningen och djupet som uppskattats med de två metoderna jämfördes därefter.

Den hydrauliska modellen bestod av en 2D-modell och en 1D-modell som kopplades ihop så att vatten kunde rinna mellan modellerna. I 2D-modellen beskrevs regnet och ytavrinningen i Hallsberg tätort medan 1D-modellen beskrev flödet i Storån som rinner genom Hallsberg.

Genom att koppla ihop modellerna så kunde vattendragets inverkan på översvämmade ytor i Hallsberg beskrivas noggrannare än vad som var möjligt med enbart en modell. En separat översvämningskarta med vattendjup skapades även med hjälp av information som hämtats från sociala medier. Bilder och filmer användes för att uppskatta vattendjupen på olika platser. Översvämningskartan genererades genom interpolation av de uppskattade vattendjupen.

Informationen från sociala medier gav en bra överblick över de värst drabbade områdena i centrala Hallsberg. Informationen kunde både användas i början av studien för att uppskatta översvämningsens utbredning och i slutet av studien för att förbättra modellen. Det fanns även tillräckligt mycket bilder och filmer med bra kvalitet för att det skulle vara möjligt att skapa en översvämningskarta enbart med information från sociala medier. Vattendjupet som estimerades med information från sociala medier var något större än det som genererades med den hydrauliska modellen. En trolig orsak till det var att scenarierna som modellerades var förenklingar av verkligheten och att de skilde sig något från översvämnningen som inträffade 2015.

Vattendjupen som uppskattades med information från sociala medier var ett mycket bra komplement till övrig tillgänglig mätdata och skulle kunna användas för att förbättra modeller samt kontrollera deras kvalitet. Information om vattenutbredning och djup kan med fördel användas för hydraulisk modellering av översvämnningar. Det finns otroligt mycket information på sociala plattformar på internet som kan tillämpas i olika syften. Det är ett område som har stor utvecklingspotential och det finns troligen mycket att vinna på att fortsätta utforska detta i framtiden.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning.....	1
1.1	Syfte.....	2
1.2	Frågeställningar och hypotes	2
2	Teori	3
2.1	Översvämning i städer	3
2.2	Datatillgång i direkt anslutning till översvämningar	4
2.3	Översvämningsmodellering.....	5
2.3.1	Kopplade modeller	5
2.3.2	Mike Programvaror	6
2.3.3	Nederbörd.....	6
2.3.4	Markens råhet	9
2.3.5	Översvämning och torka	10
2.3.6	Upplösning höjddata	10
2.3.7	Beräkningsnätet.....	11
2.4	Sociala medier	12
2.4.1	Data från sociala medier.....	12
2.4.2	Kartläggning av översvämningar med sociala medier	13
2.4.3	Tidigare studier	14
3	Fallstudie Hallsberg.....	15
3.1	Områdesbeskrivning.....	15
3.1.1	Hydrologiska förhållanden.....	17
3.1.2	Förändrad markanvändning och tidigare översvämningar	19
3.1.3	Översvämning september 2015.....	19
4	Metod	21
4.1	Konceptuell modell.....	22
4.2	2D-modellen	22
4.2.1	Avgränsning av det urbana området.....	23
4.2.2	Nederbörd och korrigering för avlopp	23
4.2.3	Markanvändning.....	26
4.2.4	Behandling av höjdmodellen.....	27
4.2.5	Beräkningsnätet.....	28
4.2.6	Modelluppsättning i Mike 21 FM	30

4.3	1D-modellen	35
4.3.1	Nät och tvärsektioner	35
4.3.2	Beräkning av flöden	35
4.3.3	Strukturer.....	36
4.3.4	Parameteruppsättning	36
4.4	Koppling i Mike Flood	37
4.4.1	Generering av länkar	37
4.5	Kalibrering.....	38
4.6	Kartläggning med bilder och filmer från sociala medier.....	39
4.6.1	Extraktion av bilder och filmer	39
4.6.2	Uppskattning av vattendjup.....	40
4.6.3	Generering av översvämningskarta	40
5	Resultat.....	41
5.1	Information från sociala medier	41
5.2	Jämförelse av vattendjup med metoderna	42
5.2.1	Hydrauliska modelleringen	42
5.2.2	Kartläggning med information från sociala medier	44
5.2.3	Jämförelse av vattendjup	45
6	Diskussion	47
6.1	Tillämpning av information från sociala medier vid översvämningsmodellering	47
6.2	Hydraulisk modellering	47
6.3	Kartläggning med information från sociala medier.....	49
6.4	Jämförelse av metoderna	50
7	Slutsats	52
8	Referenser.....	53
	Appendix A	I
	Appendix B	II

1 INLEDNING

På senare tid har ett flertal översvämningar inträffat i Europa och resten av världen som orsakat stora skador i urbana områden (Sommer *et al.*, 2009). Översvämningar i städer kan hota dricksvattenförsörjningen, såväl som infrastrukturen, sprida föroreningar, slå ut avloppsreningsverk samt hota byggnader och lokalbefolkningens egendom och hälsa. I städer finns dagvattensystem som ska föra bort regnvatten, men i takt med att klimatet förändras och städerna växer blir trycket på systemen allt större. I framtiden kommer nederbörden att förändras i Sverige, högintensiva regn väntas inträffa mer frekvent och vattennivåer i vattendrag, sjöar och hav väntas höjas. Följden blir att risken för översvämningar i samband med nederbörd kommer öka (Hernebring och Mårtensson, 2013).

Kartläggning av översvämningar gör det möjligt att analysera konsekvenser och händelseutveckling i efterhand. Informationen kan användas för att förstå orsak och verkan, planera åtgärder för att minska översvämningsrisken samt för att utveckla räddningsinsatser och liknande. Det finns ett antal metoder för att beskriva översvämningar och riskområden. Översvämmade områden kan exempelvis analyseras med flygbilder, satellitbilder eller landskapsanalyser och riskområden kan identifieras med lågpunktskartering (Nyberg, 2010). Översvämningar kan även modelleras vilket gör det möjligt att analysera olika scenarier samt att studera tidsförlopp och vattenhastigheter (Hernebring och Mårtensson, 2013). En tvådimensionell modell ger information om vattnets avrinning på markytan. Denna kan även kopplas ihop med endimensionella modeller som beskriver flöden i avloppssystem, vattendrag eller grundvatten. På så vis kan dynamiken mellan markavrinningen och flödet i andra system beskrivas och analyseras.

För att det ska vara möjligt att modellera översvämningar med god noggrannhet krävs information om vattnets utbredning och djup. I samband med översvämningar är tillgången till mätningar och observationer som går att använda till detta ofta liten (Mårtensson och Gustafsson, 2014). Uppgifter från allmänheten kan i dessa fall utgöra en värdefull informationskälla (Fohringer *et al.*, 2015). På senare tid har flera studier behandlat användningen av information från sociala medier såsom Twitter, Flickr och Youtube (Fohringer *et al.*, 2015; Schnebele och Cervone, 2013). Vid översvämningar kan vattenutbredning och djup uppskattas från bilder och filmer på dessa plattformar. Informationen kan komplettera och integreras med traditionella mätdata.

1.1 SYFTE

Denna studie syftar till att undersöka hur information från sociala medier kan användas vid hydraulisk modellering av översvämningar. Dels hur informationen kan tillämpas vid modelleringsprocessen men även hur den kan användas för att förbättra modellen. Studien undersöker även om det är möjligt att kartlägga en översvämning enbart med hjälp av data som hämtats från sociala medier och jämför denna metod med resultatet från en hydraulisk modell. Båda metoderna testades på en översvämning som inträffade i Hallsberg 2015.

1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR OCH HYPOTES

För att nå studiens syfte sammanställdes följande frågeställningar:

- Kan översvämningsproblematiken i Hallsberg simuleras med en kopplad hydraulisk modell?
- Hur kan information som finns på sociala medier tillämpas vid hydraulisk modellering av översvämningar?
- Kan vattendjup från bilder och filmer på sociala medier användas för att förbättra en översvämningsmodell?
- Hur kan översvämningar kartläggas enbart med hjälp av data från sociala medier och hur skiljer sig kartläggningen från modellen?

Hypotesen var att inlägg från sociala medier var en värdefull in situ källa som kan ge information om vattendjup och utbredning vid översvämningar. Vid kraftiga översvämningar i städer antogs det vara möjligt att hitta inlägg från händelsen eftersom det är många människor som drabbas och berörs. Eftersom det krävs information om vattendjup i många punkter för att kartlägga ett översvämningsområde, så antas området som kan kartläggas med information från sociala medier vara mindre än det som kan uppskattas med hydrauliska modeller.

2 TEORI

2.1 ÖVERSVÄMNING I STÄDER

Till följd av urbanisering och att städerna växer skapas allt mer hårdgjorda ytor vilket påverkar vattenbalansen i miljön. Markinfiltrationen minskar och grundvattnet sänks medan ytvavrinningen ökar till både volym och intensitet (Svenskt Vatten, 2011). I tungt bebyggda områden blir ca 80-90 % av nederbörden ytvavrinning medan motsvarande andel i naturmark är ca 30 - 50 % (Hernebring och Mårtensson, 2013). Ytvavrinningens storlek påverkas av regnets intensitet och varaktighet. Ett 10-årsregn orsakar ofta inga större problem eller endast mindre lokala problem i ledningsnätet. Vid regn med återkomsttider på 50-100 år blir konsekvenserna ofta mer betydande (Hernebring och Mårtensson, 2013).

I exploaterade områden leder dagvattensystem, bestående av ledningar och öppna diken, bort ytvavrinningen. Dagvattensystemen designas för att klara av regn med en bestämd återkomsttid, inom bebyggda områden designas de vanligen efter 10-årsregn (Svenskt Vatten, 2004). Vid skyfall som har en mycket högre intensitet fylls ledningarna fort (Hernebring och Mårtensson, 2013). Klimatförändringarna kan innebära att dimensioneringskraven för dräneringssystemen ändras i framtiden, men det är trots det inte möjligt att dimensionera ledningsnätet för alla typer av nederbörd. Dimensioneringskraven bestäms utifrån jämförelser mellan investeringskostnader och möjliga skadekostnader som följer på översvämningar (Svenskt Vatten, 2011). Tillvägagångssätt som istället kan användas är fördröjning av vattnet så att allt inte når ledningsnätet samtidigt, vilket kan åstadkommas med hjälp av exempelvis utjämningsmagasin eller gröna tak.

När dagvattennätets kapacitet överskrids däms vatten i systemet så att avloppsvatten riskerar att tryckas upp till markytan. Dämningar i dagvattenledningarna kan även orsakas av höga vattennivåer i ledningsnätets recipient som hindrar vatten från att rinna ut eller skapar backflöden. När dagvattenledningarna är fulla rinner ytvattnet av på markytan och ansamlas i lågpunkter. Avloppsvatten kan även tryckas upp genom golvbrunnar i lågt belägna källare där ledningar saknar backventil (Hernebring och Mårtensson, 2013). Flödet till dagvattennätet kan därtill hindras av exempelvis skräp och löv som blockerar brunnar och vägtrummor.

Översvämmade ledningsnät kan bero på flera orsaker. Vanligen kan överbelastningen härledas till stora mängder ytvavrinning, men det kan i vissa fall bero på eller förvärras av att grundvatten och markvatten läcker in i rören (Sommer *et al.*, 2009). Vid kraftiga regn finns en risk att grundvattenytan stiger, det sker vanligen långsamt och grundvattnet kan därför nå rören en tid efter att skyfallet inträffat. Vatten som tränger in i rören transporteras i ledningsnätet och kan orsaka översvämningar i områden där risken för ytvattenöversvämningar är relativt liten (Sommer *et al.*, 2009), exempelvis på platser som ledningarna läcker eller i låga delar av systemet. När ledningsnätet är fyllt med vatten hindras mark- och grundvatten från att tränga in i rören. I sådana fall är det möjligt att avloppsvatten snarare läcker ut ur ledningarna (Sommer *et al.*, 2009). Höga flöden i ledningsnätet ökar belastningen på avloppsreningsverken vilket kan bredda bassängerna och leda till utsläpp av stora mängder orenat vatten.

I de flesta städer är det främst ytvattnet som är avgörande för översvämningens utbredning, vilket beror på att dess volym är mycket större än volymen från andra källor såsom grundvattnet och avloppssystemet (Sommer *et al.*, 2009). Grundvattnets och avloppsnätets bidrag till översvämningens rumsliga utbredning är vanligen marginell i jämförelse.

2.2 DATATILLGÅNG I DIREKT ANSLUTNING TILL ÖVERSVÄMNINGAR

När ett händelseförlopp modelleras är tillgången till bra och mycket data avgörande för modellens kvalitet. Data behövs dels för att bygga modeller men även för att verifiera och kalibrera dem, vilket data från enskilda händelser är särskilt viktiga för. I samband med katastrofer är vanligtvis tillgången till data liten (Fohringer *et al.*, 2015). Mätstationer i det drabbade området kan saknas eller inte vara tillverkade för att mäta extrema väderhändelser, under mycket höga flöden kan exempelvis vattennivåer överstiga peglar och liknande. För att skapa en tydlig överblick över situationer och kartlägga händelseförlopp i efterhand med god noggrannhet krävs ofta mer data än det som kan erhållas från de traditionella mätstationerna.

Vid översvämningar rekommenderar Myndigheten för samhällskydd och beredskap (MSB) att vattennivåerna och utbredningen dokumenteras på flera olika platser, både tidigt under händelseutvecklingen och under den akuta fasen av översvämningen (MSB, 2015).

Vattennivåer kan även uppskattas i efterhand genom att mäta in märken på hus och i landskapet. Ytterligare information kan därtill hämtas från exempelvis satellitbilder, observationer av allmänheten och från räddningstjänsten (Fohringer *et al.*, 2015).

I Sverige finns möjligheten att ta satellitbilder över drabbade områden via tjänsten Copernicus Emergency Management Service (MSB, 2015). Satellittjänsten aktiveras av MSB via ERCC i Bryssel. Satellitbilder är ett kraftfullt verktyg som kan ge en bra överblick av situationer, men de har sina begränsningar. ERCCs satelliter måste ställas in på rätt område så det kan ta lång tid från att tjänsten beställs tills att foton tas (MSB, 2015). Satellitbilderna begränsas även av objekt som är i vägen för vattnet på bilderna, exempelvis vegetation eller moln som är vanligt vid översvämningar (Joyce *et al.*, 2009). Ett alternativ som kan vara att föredra är därför att skapa radarbilder. Radar hindras inte av moln och kan även upptäcka vatten under tät vegetation eftersom sådana områden reflekterar en förstärkt radarsignal (Joyce *et al.*, 2009).

Information kan samlas in från allmänheten via intervjuer med vittnen, foton och filmer samt telefonsamtal till 112. När data från mätstationer saknas eller behöver kompletteras så kan det utgöra en viktig informationskälla. Vittnen har god förmåga att estimerar vattennivåer, däremot är vattenhastigheter svårare att uppskatta visuellt (Poser *et al.*, 2009).

SMHI mäter dygnsnederbörden och nederbörden var femtonde minut med markbaserade automatstationer i sitt nät, korttidsnederbörd mäts därtill av ett flertal kommuner i Sverige. Skyfall faller vanligen över en begränsad yta och intensiteten varierar i tid och utbredning. De markbaserade mätstationerna är glest utplacerade och därför är risken stor att de inte lyckas fånga regnets maxintensitet (SMHI, 2015). Nederbörd kan även observeras med hjälp av väderradarar som har bättre rumslig upplösning men återger intensiteten något sämre än de markbaserade mätstationerna. SMHI förbättrar noggrannheten genom att kombinera radardata med mätningar från markbaserade stationer (SMHI, 2015).

2.3 ÖVERSVÄMNINGSMODELLERING

Vattenflöden i städer är komplexa, de påverkas av nederbörd, dagvattennät, bebyggelse, vattendrag, hårdgjorda ytor och mobila hinder som bilar och sandsäckar. Modellering av översvämningar kan ge kunskap om hur vattnet beter sig i dessa komplicerade miljöer. Informationen kan användas för att bedöma skador, kartlägga översvämningsrisker, analysera åtgärder eller för att studera scenarier som kan inträffa i framtiden (Nyberg, 2010).

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) rekommenderar att en tvådimensionell hydraulisk ytavrinningsmodell används för modellering av översvämningar i städer (Mårtensson och Gustafsson, 2014). En sådan modell beskriver vattenflöden över marken och återger vattendjup, flödesvägar och vattenhastigheter inom det modellerade området. Modellen kan kopplas ihop med 1D-modeller som beskriver exempelvis vattendrag, grundvatten eller avloppssystem. På så sätt kan dynamiken och samverkan mellan markavrinningen och andra flöden beskrivas mer noggrant än vad som är möjligt med enbart en 2D-modell. I serien Mike från DHI finns program för 2D- och 1D-modellering som kan kopplas samman och tillämpas på detta sätt.

2.3.1 Kopplade modeller

Det kan ta upp emot två-tre gånger längre tid att göra modeller som är kopplade än att göra enskilda 2D-modeller (Mårtensson och Gustafsson, 2014). Fördelarna med kopplade modeller bör ställas mot den ökade tidsåtgången. Det är lämpligt att tidigt identifiera relevanta flöden och deras inverkan på modellresultatet när modellen byggs och att utefter det besluta om kopplade modeller ska användas. Utöver tidsåtgången så kan valet påverkas av det modellerade områdets utseende, modellens användningsområde, tillgången till data och begränsningar i programvaran.

Vid kraftig nederbörd har avloppssystemet en relativt liten betydelse för översvämningsutbredningen. Ytavrinningen utgörs av en mycket större volym vatten än vad som ryms i ledningsnätet som även fylls mycket fort (Sommer *et al.*, 2009). Att göra en separat 1D-modell över avloppssystemet tar lång tid och kräver både mycket indata och handpåläggning. MSB rekommenderar därför att avloppsledningsnätet endast beskrivs med en separat 1D-modell då syftet med modellen är att undersöka ledningsnätet i detalj samt vid kostnads - nyttoanalyser (Mårtensson och Gustafsson, (2014). I andra fall kan avloppssystemet beskrivas direkt i 2D-modellen genom att subtrahera ledningsnätets kapacitet från nederbörden. Den största risken med att använda förenklingen är att ledningsnätet sällan är homogent i ett område och att dess kapacitet kan underskattas respektive överskattas i olika områden.

När samverkan mellan nederbörd och flöden i vattendrag ska undersökas kan det vara motiverat att koppla ihop 2D-modellen med en endimensionell vattendragsmodell. Det gör det möjligt att analysera hur flödet i vattendraget påverkar ytavrinningen, respektive hur ytavrinningen påverkar flöden långt uppströms i vattendraget. För att det ska vara möjligt att bygga en bra vattendragsmodell behövs information om vattendragets dimensioner, utseende,

begränsande sektioner och flöden. I de fall då vattendragen har liten eller obefintlig inverkan på förhållandena kan det dock vara fullt tillräckligt att enbart beskriva dem i 2D-modellen. Vattendragets utseende beskrivs i sådana fall av topografin i modellen.

Grundvattenytan har oftast en relativt liten inverkan på översvämningsutbredningen och brukar vanligen inte inkluderas vid översvämningsmodellering (Sommer *et al.*, 2009). Däremot påverkar infiltrationen av vatten i markprofilen vattenflödena på markytan. Infiltrationen beskrivs vanligen med avrinningskoefficienten som avgör hur stor del av nederbörden som bli ytavrinning och hur stor andel som infiltrerar. Vid skyfall infiltrerar mindre vatten än vid vanliga regn och därför rekommenderar Vägverket (2008) att avrinningskoefficienterna multipliceras med 1,25 vid beräkningar på regn med återkomsttiden 100 år eller mer, koefficienten ska dock aldrig överstiga 1.

2.3.2 Mike Programvaror

Mike är en programserie för hydrologisk modellering som ges ut av DHI technologies. Programmen har ett brett användningsområde och kan tillämpas för modellering av vattenflöden i städer och urbana miljöer, kust och hav samt för grundvatten och vattenresurser (DHI, 2016d). I den här studien användes programmen Mike 21 FM, Mike 11 och Mike Flood.

Mike 21 FM används för tvådimensionella simuleringar av flöden och transporter. Programmet kan tillämpas vid modellering kuster, flodmynningar och i marina system men även vid ytflödes- och översvämningsmodellering (DHI, 2016a). Programmet använder ett flexibelt beräkningsnät (mesh) till skillnad från den klassiska varianten Mike 21 som använder ett fast beräkningsnät (grid). Det innebär att beräkningsnätets upplösning kan anpassas efter olika områden, se mer avsnitt 2.3.7. Flödet beräknas i varje tidssteg genom att lösa Saint-Venant ekvationerna som bygger på bevarandet av massa och rörelsemängd. Programmet löser därmed temperatur-, salinitet-, densitet- och transportekvationer (DHI, 2016a).

Mike 11 används för endimensionell modellering av icke stationära vattenflöden, vattenkvalité och sedimenttransport. Det tillämpas främst för kanaler, flodmynningar, bevattningssystem och andra vattendrag. Även Mike 11 beräknar flödet genom att lösa Saint-Venant ekvationerna (DHI, 2016c).

Mike Flood används till att koppla ihop endimensionella och tvådimensionella modeller som byggts i andra Mike program. I Mike Flood definieras var kopplingarna ska ligga, vilken typ av kopplingar som ska användas och vad de ska ha för egenskaper (DHI, 2016b).

2.3.3 Nederbörd

Enligt SMHIs klimatscenarier kommer skyfallen i Sverige blir kraftigare i framtiden, vilket till stor del beror på att ett varmare klimat för med sig mer vattenånga i atmosfären (SMHI, 2015). I Sverige är den huvudsakliga konsekvensen av kraftiga regn översvämnningar i städer men även över jordbruks- och naturmark (SMHI, 2015). Kraftig nederbörd som har en

intensitet över 50 mm/h eller 1 mm/min klassas som skyfall (SMHI, 2015). Metoder för att beskriva skyfall är av stor vikt för att kunna analysera konsekvenser som de kan föra med sig i framtiden. Det tillämpas både vid översvämningsmodellering och dimensionering samt analys av dagvattensystem.

Tack vare historiska observationer och mätningar kan regnhändelser studeras och egenskaper som exempelvis återkomsttid, intensitet och varaktighet analyseras. Nederbörds mängder uttrycks vanligen som intensitet (mm/h) eller djup (mm) (Butler och Davies, 2010).

Varaktigheten är tiden under vilken regnet faller, det kan vara tiden för hela regnet eller tiden som en viss intensitet faller. På så sätt kan ett regnförlopp delas upp i flera delar med olika varaktigheter och intensiteter. Återkomsttiden beskriver hur ofta ett regn statistiskt sett återkommer eller överträffas under en tidsperiod. Ett 100-årsregn väntas återkomma i genomsnitt 1 gång på 100 år, sannolikheten att det inträffar under ett år är således 1 % (SMHI, 2015). Varaktigheten och återkomsttiden är statistiskt framtagna ur nederbördsdata från tidigare händelser, men det har även utvecklats generella samband som beskrivs av ekvationer. Vid statistisk analys används vanligen de största regnen som inträffat varje år för att de antas vara statistiskt oberoende av varandra (Butler och Davies, 2010). Eftersom de kraftigaste regnen förekommer sällan är dataunderlaget för dem sämre. Regn med återkomsttider på över 100 år är skapade utifrån extrapolerade data, vilket innebär att skattningen av intensitet blir mer osäker (Svenskt Vatten, 2016).

Förhållandet mellan intensitet, varaktighet och återkomsttid sammanställs i intensitets - varaktighetssamband. Sambanden visar att korta regn har en högre intensitet medan regn som pågår under en längre tid har en lägre intensitet, när varaktigheten ökar så minskar alltså intensiteten (Butler och Davies, 2010). Skyfall pågår vanligen under en kortare tid än lågintensiva regn med små och få regndroppar. Sådan korttidsnederbörd kan pågå i allt ifrån några minuter upp till ett dygn (Hernebring och Mårtensson, 2013).

För vissa större städer med mycket nederbördsdata från långt tillbaka i tiden finns statistiska intensitets - varaktighetssamband sammanställda (Svenskt Vatten, 2004). Andra orter kan använda sig av generella ekvationer för intensitets - varaktighetssamband som tagits fram för svenska förhållanden. Svenskt vattens publikation P90 från 2004 beskriver att den dimensionerande intensiteten för dimensionering av dagvattennät ska beräknas enligt Dahlström (1979), ekvation 1. Ekvationen har uppdaterats på senare tid och i de nyare publikationerna P104 och P110 rekommenderas istället sambandet som togs fram av Dahlström (2010), ekvation 2. Ekvationen rekommenderas för svenska förhållanden i de fall då lokal regnstatistik inte finns tillgänglig och vid regnvaraktigheter på upp till ett dygn (Svenskt Vatten, 2011).

$$\begin{aligned}
i(t_r, Z) &= 2,78 \cdot (a + Z \cdot b) \cdot c \\
a &= 1,7 \cdot T^{0,47} - T^{-1} \\
b &= 0,32 - 0,72 \cdot (T + 3)^{-1} \\
c &= \left(1 + 0,1 \cdot \frac{t_r - 0,167}{t_r - 0,157}\right) \cdot t_r^{-0,72}
\end{aligned} \tag{1}$$

Där $i(t_r, Z)$ är regnintensiteten i l/s·ha, T är återkomsttiden i månader och t_r är regnets varaktighet i timmar. Z är en regional parameter som varierar i landet, i Hallsberg är den i 18-20 (Svenskt Vatten, 2004).

$$i_T = 190 \cdot \sqrt[3]{T} \cdot \frac{\ln(T_R)}{T_R^{0,98}} + 2 \tag{2}$$

Där i_T är regnintensiteten i l/s·ha, T är återkomsttiden i månader och T_R är regnets varaktighet i minuter.

När skyfall ska implementeras i modeller kan olika varianter av nederbördsdata användas, däribland designade typregn eller historiska regnserier. Typregn är konstruerade för att efterlikna riktiga regn men har inte inträffat i verkligheten. Regndata bör väljas utifrån vad modellen ska användas till. Vid skyfallsmodellering anser MSB att ett 100-årsregn eller mer bör användas (Mårtensson och Gustafsson, 2014).

Blockregn är ett designat typregn som har en konstant intensitet under hela regnets varaktighet. Dess intensitet för olika varaktigheter kan hämtas från intensitets - varaktighetssamband för den aktuella orten. Blockregnen ger ingen information om hur intensiteten varierar med tiden utan återger medelintensiteten under regnets varaktighet. Således tas inte hänsyn till nederbörd som faller innan eller efter regnets inträffande. Blockregn har traditionellt använts vid dimensionering av dagvattenssystem (Svenskt Vatten, 2011). Svenskt Vatten (2016) rekommenderar att blockregn med 100 års återkomsttid multipliceras med en klimatkfaktor. Klimatkfaktorn ska vara minst 1,25 för regn med kortare varaktighet än en timme och minst 1,2 för regn med varaktighet upp till ett dygn (Svenskt Vatten, 2016). Parametrarna gäller för hela landet men kan komma att ändras av SMHIs framtida bedömningar.

Under verkliga regn varierar regnets intensitet med tiden. Regnserier som varierar i tiden kallas hyetografer och kan exempelvis skapas efter historiska händelser eller designas som typregn. Ett vanligt typregn som varierar med tiden och som bland annat använts för att dimensionera ledningar och dämpningsmagasin är CDS-regnet (Chicago Design Storm) (Svenskt Vatten, 2011). CDS-regnets medelintensitet kan hämtas ur intensitets-varaktighetskurvorna men till skillnad från blockregnet så har den en maxintensitet som vanligen placeras något framför mitten av regnet. CDS-regn kan skapas direkt ur intensitets-varaktighetssambanden eller med matematiska samband. Till skillnad från blockregn

beskriver CDS-regn förhållandena innan och efter maxintensiteten inträffar så varaktigheten för ett CDS-regn är vanligen längre. Eftersom hyetografer kan göras relativt verklighetstroga så kan de med fördel användas vid verifieringen av hydrauliska flödesmodeller (Butler och Davies, 2010).

2.3.4 Markens råhet

När ett vattenflöde rör sig över en yta uppstår friktion till följd av ytans skrovlighet, eller råhet. Det skapar energiförluster i vattenflödet och påverkar dess vattendjup, utbredning och hastighet. Friktionsförlusten är beroende av råhetskostanten Mannings tal som varierar för olika typer av ytor. Konstanten är högre för glatta ytor med lågt flödesmotstånd och lägre för grövre ytor med större friktion som exempelvis vegetationstät mark. I områden med skrovlig mark och låga värden på Mannings tal hämmas vattnets framfart vilket har en dämpande effekt på vattenflödet. Friktionsförlusterna i ett dike beskrivs med Mannings formel, ekvation 3 (Vägverket, 2008).

$$h_f = \frac{U^2 L}{M^2 R^{4/3}} \quad (3)$$

Där h_f är friktionsförluster, U är vattnets medelhastighet, L är längden i strömningsriktningen, M är Mannings tal och R är den hydrauliska radien vilken beskrivs av tvärsektionens våta area dividerat med längden av den vattentäckta botten i tvärsektionen (Vägverket, 2008).

Ett högt värde på Mannings tal genererar snabbare flöden, större utbredning och en lägre vattennivå. Låga värden innebär att flödet blir långsammare, utbredningen blir mindre och att vattendjupet ökar (Mårtensson och Gustafsson, 2014). När råheten för olika ytor specificeras är det viktigast att i första hand skilja på hårdgjorda och övriga ytor. En mer detaljerad identifiering av markanvändningen ger en bättre noggrannhet men kan ta lång tid att göra beroende på området (Mårtensson och Gustafsson, 2014). Vägverket presenterar standardvärden på Mannings tal för markytor i publikationen VVMB 310, tabell 1.

Tabell 1. Mannings tal för markytor (Vägverket, 2008)

Markyta	Mannings tal
Slät asfalt/betong	80-85
Grov asfalt/betong	70-75
Grusyta	40-50
Kort gräs	30-35
Långt gräs	25-30

Mannings tal för en översvämningssyta skiljer sig ofta från den i diken eftersom en markyta vanligen är skrovligare än en dikessektion. Oregelbundenheter på markytan orsakar friktionsförluster vilket för med sig att Mannings tal generellt är lägre än för diken (Arcement *et al.*, 1989). Oregelbundenheterna kan orsakas av små höjdskillnader, vegetation, jordhögar och stillastående träsk, kärr och dammar. Grunda vattendjup i kombination med exempelvis djupa fåror i åkrar som ligger vinkelrätt mot strömningsriktningen kan sänka Mannings tal med så mycket som 50 (Arcement *et al.*, 1989). Arcement *et al.* (1989) undersökte Mannings tal för skogsmark och fann att konstanten var ca 10-15, alltså ungefär halva värdet som

Vägverket (2008) presenterar för långt gräs. Förutom marktypen så beror friktionsförlusten på en rad andra faktorer såsom årstid, fördämningar, kanalens dragning, tvärsektioners form, vattentemperatur och suspenderat material i vattnet (Brunner, 2010).

Eftersom friktionsförluster uppstår på grund av många anledningar så är kalibreringen av Mannings tal viktig för att få noggranna resultat. Vid hydraulisk modellering är råheten en känslig parameter som har ett tydligt inflytande på vattenutbredningen (Weichel *et al.*, 2007; Mårtensson och Gustafsson, 2014). Parametriseringen i modeller är generellt osäker men kan förbättras genom validering och känslighetsanalyser.

2.3.5 Översvämning och torka

I Mike 21 FM ska vattendjupen som avgör om en beräkningscell är torr eller översvämmad definieras. Värdena som väljs påverkar beräkningarnas stabilitet och beräkningstiden. Tre olika vattendjup ska definieras, torrdjup (h_{dry}), översvämningsdjup (h_{flood}) och vätningsdjup (h_{wet}) (DHI, 2016a). Torrdjupet ska vara lägre än översvämningsdjupet som i sin tur ska understiga vätningsdjupet, ekvation (4).

$$h_{dry} < h_{flood} < h_{wet} \quad (4)$$

Parametrarna påverkar vilka celler som ingår i flödesberäkningarna och påverkar även rörelsemängdsekvationen. En cell definieras som översvämmad och är kvar i flödesberäkningarna om dess vattendjup överstiger torrdjupet. Är vattendjupet lägre än torrdjupet tas cellen bort ur flödesberäkningarna, då sparas den föreliggande vattennivån i cellen och återanvänds när cellen blir översvämmad igen. En torr cell inkluderas i beräkningarna när dess vattendjup når översvämningsdjupet.

Är vattennivån lägre än vätningsdjupet så inkluderas endast massekvationerna i beräkningarna medan rörelsemängdsekvationerna sätts till noll. Vattendjupet måste således överstiga vätningsdjupet innan ett flöde ur cellen kan ske, vilket har en bromsande effekt på flödet. Små värden på vätningsdjupet kan orsaka instabilitet i beräkningarna och leda till osannolikt höga flödes hastigheter i simuleringen (DHI, 2016a). Vid översvämningsmodellering rekommenderar DHI att inställningen avancerad översvämning och torka (advanced flood and dry) används (DHI, 2016a). Då undertrycks rörelsemängdsekvationen när vattennivån närmar sig vätningsdjupet, vilket börjar när vattennivån är dubbelt så stor som vätningsdjupet.

Vid en sänkning av parametrarna tar simuleringen längre tid eftersom det är troligt att fler celler är aktiva i beräkningarna. Vid kopplade modeller rekommenderar dock DHI att parametrarna halveras för att inte orsaka instabilitet (DHI, 2016b).

2.3.6 Upplösning höjddata

För att erhålla pålitliga resultat med modeller är tillgången till tillräckligt upplöst höjddata en viktig förutsättning (Nyberg, 2010; Sommer *et al.*, 2009). Upplösningen bör väljas med modellens användningsområde i åtanke. Med en högre upplösning kan ett händelseförlopp beskrivas noggrannare men beräkningstiden blir också längre. En fördubbling av

upplösningen förlänger beräkningstiden ca 10 gånger (Mårtensson och Gustafsson, 2014). Valet av upplösning begränsas alltså av det modellerade områdets storlek samt datorns prestanda.

Vid modellering av urbana miljöer behövs en upplösning på minst 4 m för att strukturer ska återges väl (Mårtensson och Gustafsson, 2014). Med en låg upplösning ökar riskerna för att översvämmade lågpunkters utbredning överskattas och att exempelvis mindre översvämmade områden försvinner helt (Mårtensson och Gustafsson, 2014).

Lantmäteriet har sedan 2009 jobbat med att ta fram en ny nationell höjdmodell (NNH) med högre noggrannhet än tidigare data. Höjdmodellen är framtagen genom laserscanning med flygplan och levereras som ett punktmoln (Lantmäteriet, 2015). Höjdmodellen är bland annat framtagen för att användas vid planering av klimatanpassning vilket inkluderar översvämningsmodellering.

Vid laserscanning måste laserstrålarna nå marken för att marknivån ska återges på ett korrekt sätt. Lantmäteriet har laserscannat stora delar av landet utan att ta hänsyn till vegetationssäsong vilket kan ha gett upphov till fel i områden med tät vegetation (Lantmäteriet, 2015). Noggrannheten i höjdmodellen kan alltså skiljas åt i olika områden och beror av terrängen samt vilken årstid scanningen genomfördes. På hårdgjorda öppna ytor är noggrannheten dock generellt 0,05 m i höjdlid och 0,25 m i planet (Lantmäteriet, 2015). Noggrannheten i höjdlid kan försämrats när punktmolnet interpoleras till ett gridformat, försämringen är påtagligast i kuperad terräng men är i övriga fall marginell.

2.3.7 Beräkningsnätet

Beräkningsnätet definierar var i modellområdet som flödesberäkningar ska ske i Mike 21 FM och är en av de viktigaste faktorerna för modellens kvalitet. Det kan liknas vid ett nät där maskornas area är modellens upplösning och beräkningarna sker i nätmaskornas knutar, de så kallade noderna. Ett tätare beräkningsnät med noder som ligger nära varandra ger noggrannare beräkningar och beskriver strukturer mer verklighetstroget än ett grövre nät med längre avstånd mellan noderna. Eftersom ett tätare nät genererar fler beräkningspunkter förlängs dock beräkningstiden.

I Mike 21 FM används ett flexibelt beräkningsnät där upplösningen kan varieras för olika områden i modellen. Fördelen med att använda ett flexibelt nät är att noderna kan läggas tätare i områden där vattenflödet behöver beskrivas mer detaljerat och glesare i områden där beräkningarna inte behöver ske lika tät, exempelvis i områden med flack mark och homogena förhållanden. Beräkningstiden kan därmed begränsas. Skillnaden i upplösning mellan angränsande områden bör inte vara för stor. DHI (2012) rekommenderar att förhållandet 2:5 används mellan delområden för att få en mjuk övergång mellan olika upplösningar.

2.4 SOCIALA MEDIER

Den ökade tillgången till telefonnät och internet har bidragit till att sociala medier används i allt större utsträckning av fler människor på jorden. Med det följer möjligheter att tillämpa information från allmänheten på nya sätt (Poser *et al.*, 2009). Att samla in uppgifter via telefon, mail och personliga möten är dyrt och tidskrävande, men tillgången till internet gör det möjligt och lättare att utnyttja information från allmänheten i stora skalor (Poser *et al.*, 2009). Under de senaste åren har flera studier undersökt hur information från sociala medier kan tillämpas och användas i samband med humanitära katastrofer och naturkatastrofer.

Under och kort efter katastrofer finns det vanligtvis ont om tillgänglig data om det inträffade och dess konsekvenser (Fohringer *et al.*, 2015). Uppgifter som finns på sociala medier kan i dessa fall vara värdefulla. Jämfört med traditionell data såsom fjärranalys, så är informationen från sociala medier tillgänglig i ett tidigare skede av händelseutvecklingen (Fohringer *et al.*, 2015). Information från den påverkade befolkningen kan användas för att kartlägga händelseutvecklingen och dess konsekvenser i efterhand. Men det kan även vara betydelsefullt vid planerandet av insatser och räddningsarbete, så var exempelvis fallet under orkanen Katarina (Poser *et al.*, 2009).

2.4.1 Data från sociala medier

En av utmaningarna med att hämta information från sociala medier är den stora mängden som finns på olika plattformar. För att kunna använda informationen måste ett stort antal inlägg filtreras, väljas ut, tolkas och behandlas (Fohringer *et al.*, 2015). Detta kan exempelvis göras manuellt, genom crowdsourcing eller med hjälp av program som kan söka efter inlägg och tolka dess innehåll. För de flesta tillämpningarna behövs både kvantitativ och kvalitativ information och användningsområdet påverkar vilken information som hämtas. Vid översvämningskartering kan bilder och filmer användas för att uppskatta vattenutbredning och djup. Bilderna och filmerna kan även verifiera redan erhållen information, exempelvis kan deras geotag (koordinater knutna till bilden) verifieras med hjälp av kontexten i bilden/filmen.

Manuella sökningar är tidskrävande men kan i avsaknad av program vara den enklaste lösningen för att hitta relevanta inlägg. Information kan då hittas genom sökningar på ett eller flera nyckelord på olika sociala plattformar. Inläggen kan även filtreras med hjälp av tidsintervall och plats som de är uppladdade på, vilket begränsar antalet träffar under en sökning. Avgränsningen i tid och plats är även viktig för valideringen av informationen som erhållits eftersom det kan bekräfta att inläggen adresserar rätt tillfälle och plats. Genom att begränsa inläggen som används till de som lagts upp inom ett visst område eller inom en viss tid så kan felaktig information sällas bort. Valideringen av informationen underlättas om bilderna är geotaggade.

Med hjälp av program kan stora mängder data behandlas snabbare än vad som är möjligt manuellt, vilket innebär att information från sociala medier kan utnyttjas i en större skala. Program har utvecklats för att hitta och behandla information både on-demand (aktivt leta efter information) och kontinuerligt (Fohringer *et al.*, 2015). Programmen kan söka på olika

sociala medier, med flera nyckelord och på olika språk samtidigt (Fohringer *et al.*, 2015). De flesta av programmen var i skrivande stund i kod och svårtolkade för allmänheten men de har stor utvecklingspotential i framtiden. Mycket tid och resurser kan sparas i jämförelse med manuella bildanalyser om program kan användas för att extrahera information från inlägg genom exempelvis automatisk bildanalys. En sådan utveckling hade förbättrat tillgängligheten och tillämpbarheten av information från sociala medier ytterligare.

Crowdsourcing bygger på att människor själva delar med sig av information via exempelvis hemsidor som drivs i syftet att sprida information. Vid katastrofer kan sådan information utgöras av var nödstationer finns i ett område eller vilka gator som är oframkomliga (Fohringer *et al.*, 2015). En organisation som kartlagt många katastrofer med hjälp av crowdsourcing är Ushahidi, vilket betyder vittnesmål på swahili. Ushahidi skapades i Kenya efter att våldsamheter bröt ut i samband med valet 2007, då ca 1 300 personer omkom (Jeffery, 2011). Vittnen till händelserna skickade information till Ushahidi via mail och sms, och uppgifterna samlades i kartor som var tillgängliga online. På några dagar hade Ushahidi en bättre bild av situationen än någon annan organisation. Förutom att kartlägga händelsen så användes plattformen även av Kenyaner som drivits från sina hem för att själva kunna nå ut och berätta vilken hjälp de behövde. Ushahidis kartor har även använts för att hitta överlevande vid jordbävningen i Haiti 2011, för att kartlägga konsekvenser av BPs oljeutsläpp, vid valet i Nigeria 2011 samt vid jordbävningen och tsunamin i Japan 2011 (Jeffery, 2011). Andra exempel på hemsidor som använder crowdsourcing är Openstreetmap där användare kan skapa egna kartor (OpenStreetMap, 2016), eller hemsidan Did you feel it? som drivs av US Geological Survey som kartlägger utbredningen av jordbävningar (USGS, 2016).

Användningen av information från sociala medier begränsas av den oförutsägbara tillgängligheten och varierande datakvalitén (Poser *et al.*, 2009). Till skillnad från data som återfås av mätstationer så går det inte att i förväg veta mängden, den rumsliga spridningen eller typen av information som kommer finnas tillgänglig. Datakvalitén varierar beroende på avsändaren som ofta inte är tränad för specifika observationer eller har för avsikt att informationen ska användas för kartläggning. Vid katastrofer kan även starka känslor påverka bedömningar och felaktig information kan förmedlas både avsiktligt och oavsiktligt (Poser *et al.*, 2009). Beroende på situation kan därmed bilder vara att föredra framför text. Informationen utgör dock ett bra komplement till andra datakällor, och kan användas tills dess data från andra källor blir tillgänglig (Fohringer *et al.*, 2015).

2.4.2 Kartläggning av översvämningar med sociala medier

Med hjälp av bilder och filmer kan översvämningens utbredning, vattendjup och skador uppskattas. Vattennivåer estimeras med hjälp av referensobjekt med känd höjd, såsom skyltar och fönsterkarmar. Bilder och filmer kan även visa relevanta avvikelser från de normala förhållandena, exempelvis mobila hinder som sandsäckar och bilar. Det är viktigt att vattennivåerna som uppskattas kommer från samma tidsintervall eftersom nivåerna kan förändras snabbt och kontinuerligt vid en översvämning.

När vattennivåer uppskattats på olika platser kan nivåerna mellan dem interpoleras fram i exempelvis ett GIS program (Fohringer *et al.*, 2015; Poser *et al.*, 2009). De interpolerade vattennivåerna kan därefter läggas på en höjdmodell för att skapa en karta över de översvämmade områdena. Vattendjupet är skillnaden mellan den interpolerade vattennivån och höjdmodellen. Metoden är enkel att genomföra men tar inte hänsyn till icke stationära hydrodynamiska processer såsom hydrauliska flödesvägar, flödesdämningar och begränsande strukturer (Fohringer *et al.*, 2015). För att få en realistisk återgivning krävs mycket data med stor rumslig spridning.

Trots att det tar tid att filtrera och evaluera inlägg samt behandla dem manuellt, går det snabbare att kartlägga översvämningar med hjälp av sociala medier än genom fjärranalys och hydraulisk modellering (Fohringer *et al.*, 2015). Bilderna utgör ett bra komplement till data från mätstationer och kan i vissa fall vara den enda in situ källan som finns. Kartläggningstiden är framför allt beroende av antalet bilder som behandlas.

2.4.3 Tidigare studier

Några tidigare studier har utforskat hur information från sociala medier kan användas för översvämningskartering. Fohringer *et al.* (2015) undersökte hur bilder från sociala medier kan användas i kombination med traditionell data genom att kartlägga en översvämning som inträffade i Tyska Dresden under 2013. Bilder extraherades med hjälp av program som filtrerade inlägg från Twitter och Flickr med hjälp av nyckelord och geografiskt läge. De skapade sedan översvämningskartor som jämfördes med satellitbilder från översvämningen. Jämförelsen visade att vattendjupet som estimerades med bilderna var något högre än vattendjupet från satellitbilderna. Fohringer *et al.* (2015) drog slutsatsen att bilder från sociala medier kan bidra med värdefull och användbar information om vattendjup då inga andra observationer finns tillgängliga. Bilder bidrar med mer indata vilket ökar den rumsliga fördelningen av mätdata och kan förbättra kartläggning med modeller. Slutligen efterfrågar Fohringer *et al.* (2015) fler studier som fortsätter att utreda om bilder från sociala medier kan ge snabb och relevant information om översvämningars utbredning och djup.

En annan studie inom samma område utfördes av Schnebele och Cervone (2013) som använde en kombination av satellitbilder och data från allmänheten för att göra riskkartor över översvämningshotade områden. Information från allmänheten hämtades i form av foton, filmer och nyheter från hemsidorna Flickr, YouTube, Weather Underground, Wikipedia och abc24.com. Schnebele och Cervone (2013) skapade en riskkarta med satellitbilderna och redigerade sedan riskområdena med hjälp av bilder och filmer som extraherats. Områden med hög översvämningsrisk blev större till ytan och risken ökades även något. Risken för lågriskområden sänktes med 6 % medan risken i högriskområden ökades med 6 %. Resultatet visade att trots att satellitdata och höjdmodeller kan ge en relativt korrekt avbildning av översvämmade områden så kan realtids och in situ data både verifiera vattnets utbredning och bidra med ny information. Studien visade att små mängder av volontärbaserad data förbättrade riskkartorna avsevärt. Schnebele och Cervone (2013) konstaterar att bilder och filmer kan tillföra särskilt viktig information när satellitdata är begränsad eller av dålig kvalitet, samt att de kan ge information om tiden innan och efter satellitbilder tas.

3 FALLSTUDIE HALLSBERG

Den hydrauliska modellen och kartläggningen med information från sociala medier jämfördes genom en fallstudie över Hallsberg. Orten drabbades hårt av översvämningar efter ett kraftigt skyfall i september 2015. Hallsberg med omnejd är sedan tidigare drabbat av översvämningar och flera bidragande faktorer har gjort att området har blivit känsligare med åren.

Bebyggelsen har växt och antalet hårdgjorda ytor har ökat, sjöar har sänkts och odlingsmark dikats ut. Översvämningsrisken väntas även öka i framtiden som en följd av klimatförändringarna (Bergdahl, 2011).

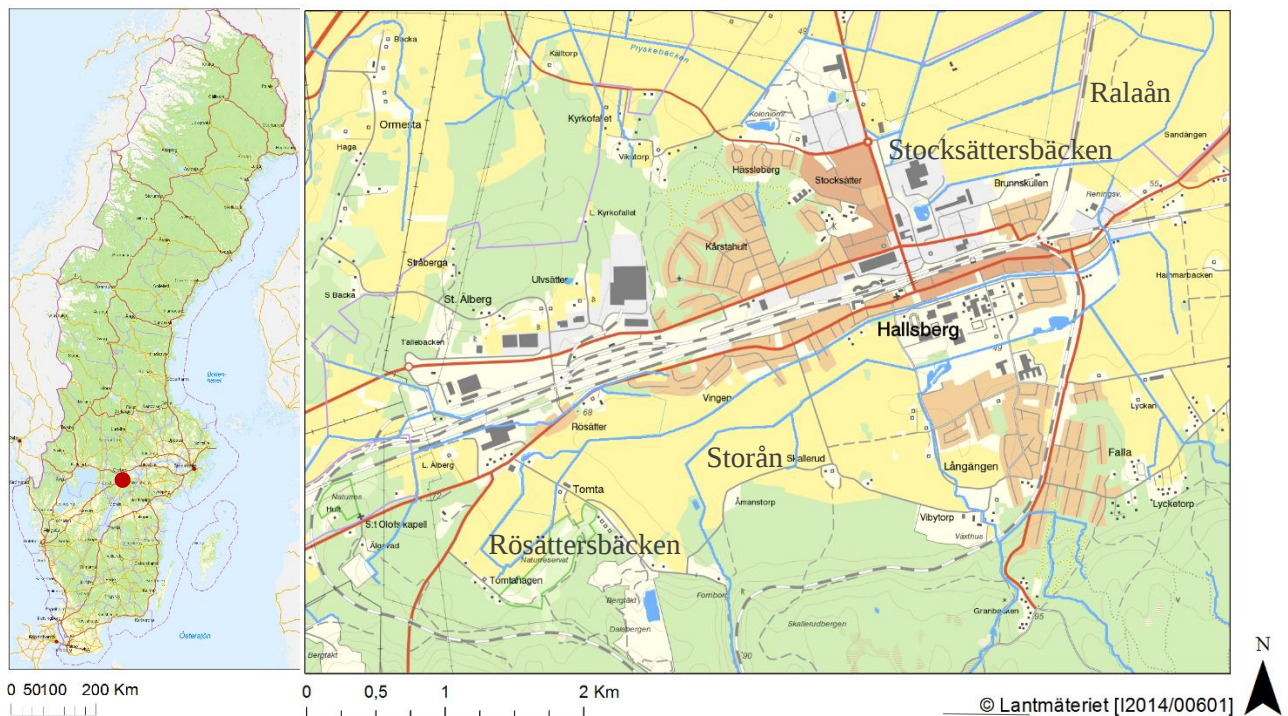
Resultatet från fallstudien kommer bidra i länsstyrelsens och kommunens arbete med att ta fram översvämningskarteringar. Det kommer ligga till grund för en djupare analys av bland annat åtgärdsförslag för att minska översvämningsrisken i framtiden. Studien fokuserar på Hallsberg tätort och belyser inte områden runtomkring ingående.

3.1 OMRÅDESBESKRIVNING

Hallsberg är beläget mitt i Närke och ingår i Örebro län, figur 1. Kommunen har drygt 15 200 invånare, varav cirka 7 500 bor i Hallsberg tätort (svenskgeografi.se, 2016). Staden är en viktig järnvägsknut, både den västra stambanan och godsstråket genom Bergsslagen passerar genom Hallsberg centrum. Stora delar av Sveriges importvaror transporteras på järnvägen och logistikinriktade verksamheter, t.ex. åkerier och centrallager, har genom tiderna etablerats i staden (Affärstidningen Näringsliv, 2014). Under 2013 och 2014 flyttade posten även två av sina brevterminaler till Hallsberg (Postnord AB, 2011).

Söder om järnvägen rinner två vattendrag genom Hallsberg, Rösättersbäcken (kallas även Puttlabäcken) och Storån. De rinner parallellt med varandra i väst-östlig riktning. Mellan vattendragen finns bland annat bostadsområden, skolområden och en stor idrottsanläggning med en utomhusarena. Norr om järnvägen ligger bostads- och industriområden, figur 1.

Hallsbergs tätort omges till stora delar av odlad slättmark med inslag av skog, figur 1. I söder finns en förkastningsbrant där topografin stiger kraftigt, figur 2. Parallellt med järnvägsspåren passerar en rullstensås under Hallsberg med en tydlig rygg. Söder om åsen är landskapet låglänt medan topografin är något högre norr om åsen. Landskapet nordöst om centrum består av lågbelägen jordbruksmark där bortodling har lett till att markytan sänkts genom åren (Christiansen, 2016, muntligen).



Figur 1. Hallsberg ligger i Örebro län i södra Närke och markeras av en röd cirkel i Sverigekartan. Hallsberg är byggt kring järnvägen som går igenom staden. Söder om järnvägen rinner Rösättersbäcken och Storån genom tätorten och går ihop i Ralaån nordöst om staden.



Figur 2. Topografin kring Hallsberg, i söder finns en förkastningsbrant medan landskapet är låglänt i det nord-nordöstra området, den svarta heldragna linjen markerar Hallsberg tätort och den streckade linjen markerar rullstensåsen.

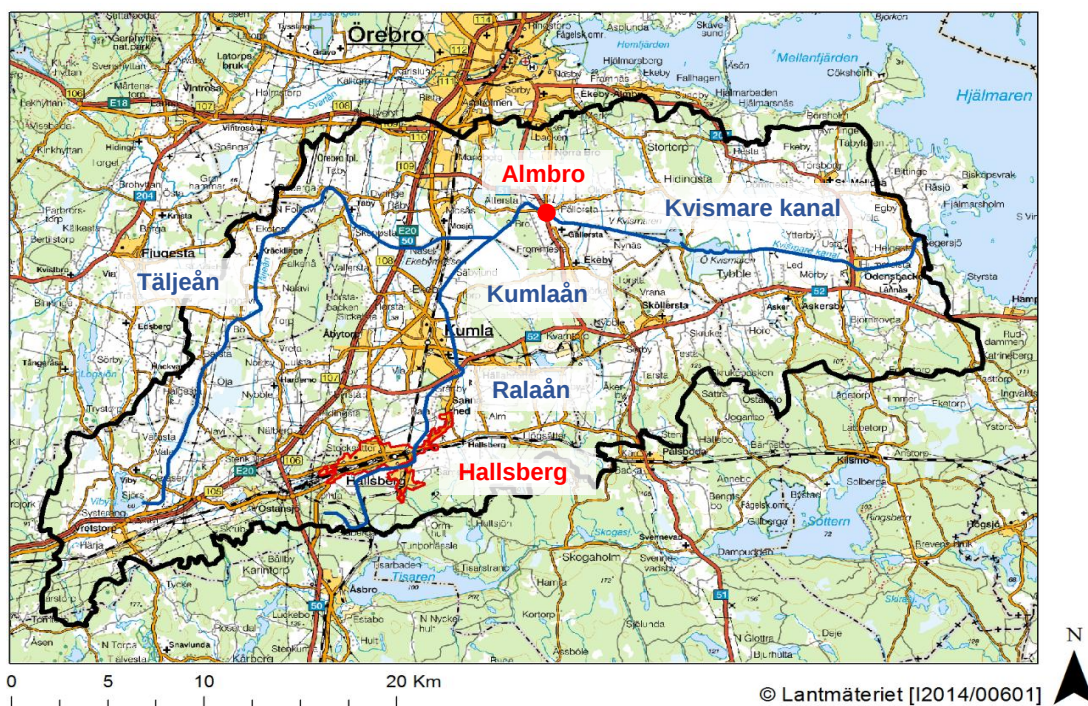
Hallsberg centrum underlagras till stor del av lera och postglacial sand med inslag av morän i främst de topografiskt högre belägna områdena. Rullstensåsen utgörs av isälvsediment och

underlagras av grundvattenmagasinet Hallsberg-Kumlaåsen. Magasinet sträcker sig genom tätorten, och innefattar såväl järnvägen som bebyggelse och mindre vägar (Länsstyrelsen Örebro län, 2016a). Det utgör Hallsbergs reservvattentäkt och är skyddad av Hallsbergs vattenskyddsområde (Länsstyrelsen Örebro län, 2016b).

3.1.1 Hydrologiska förhållanden

Hallsberg ligger i utkanten av Täljeåns avrinningsområde, figur 3. Avrinningsområdet består till stora delar av jordbruksmark men även skog och annan typ av öppen mark och täcker en yta av 791 km² (Jonsson, 2009). De två vattendragen, Storån och Rösättersbäcken, som rinner genom centrala Hallsberg övergår i Ralaån nordöst om staden, figur 4. I höjd med Kumla övergår Ralaån i Kumlaån som i sin tur ansluter till Täljeån. Öster om Almbro övergår Täljeån till Kvismare kanal och mynnar slutligen i Hjälmaren.

Medelvärde av årsnederbörden som registrerats på SMHIs mätstation i Hallsberg från 1960-1990 är drygt 600 mm (SMHI observationsdata). I augusti 2011 lades mätstationen ned men Hallsbergs kommun utför idag egna mätningar av nederbörden. SMHIs vattenföringsstation i Almbro ligger närmast Hallsberg och har registrerat vattenflödet i Täljeån sedan 1983. Medelvattenföringen vid stationen är 4 m³/s medan det största flödet som uppmäts uppgick till 83 m³/s och inträffade år 1985 (Bergdahl, 2011).

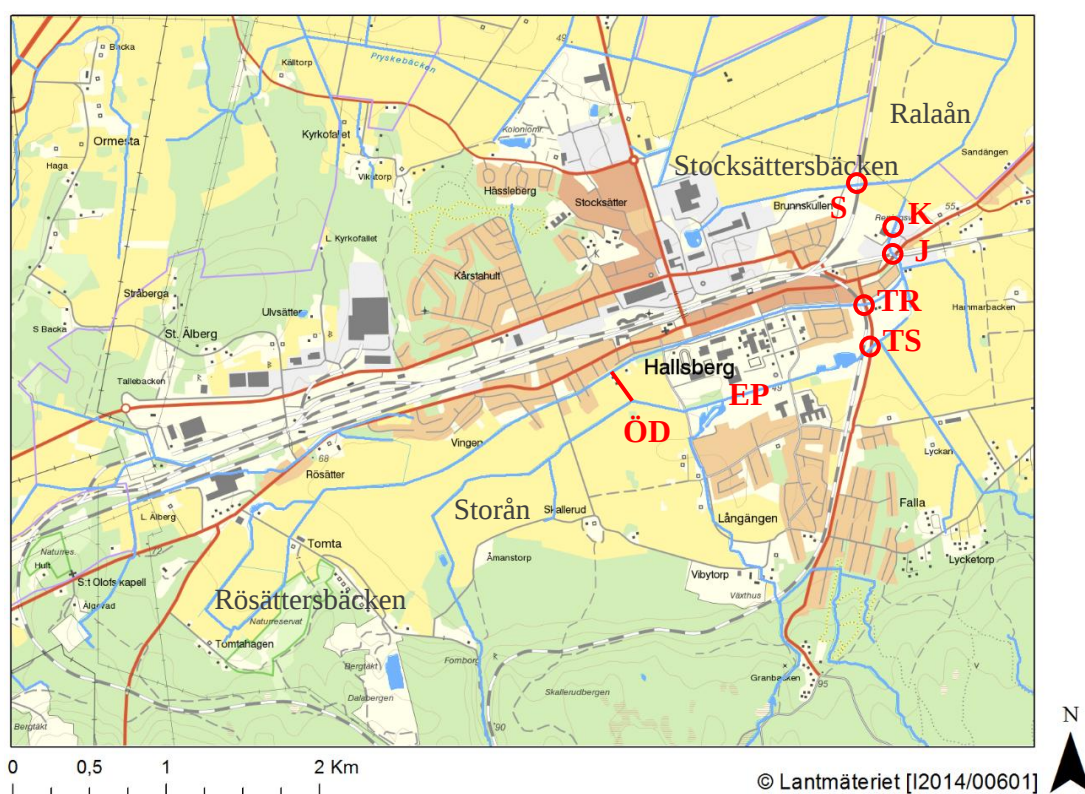


Figur 3. Den svarta linjen markerar Täljeåns avrinningsområde, den blå linjen markerar de stora vattendragen och de röda markeringarna visar Hallsberg tätort och Almbro vattenföringsstation.

Vattennivåerna i Storån och Rösättersbäcken i Hallsberg påverkas av förhållandena i vattendragen nedströms. I höjd med Sannahed (Nykvarn) nedströms Hallsberg finns en forsacke i Ralaån, som har en dämmande effekt på vattnet uppströms (Bergdahl, 2011). Fördämningen bromsar upp vattnet och har gjort Hallsberg känsligt för höga flöden.

Forsnacken skyddar dock de nedströms belägna områdena, såsom Kumla, eftersom de hade mottagit ett högre flöde om fördämningen revs (Christiansen, 2016, muntligen).

Utöver forsacken finns det tre trånga sektioner som begränsar och dämmer upp flödet i Storån. De är belägna i nordöstra delen av tätorten och utgörs av en rörbro under Tisarvägen, en järnvägsbro över stambanan och en rörbro under Kvarngatan, figur 4. Vid Kvarngatan ligger Hallsbergs avloppsvattenreningsverk, där det renade vattnet släpps ut i Ralaån. Likt forsacken så har sektionerna en dämmande effekt på vattnet och är bestämmande för vilket flöde som tillåts transporteras ut ur Hallsberg. Ett överledningsdike mellan Rösättersbäcken och Storån i västra Hallsberg har även grävts ut för att avlasta Rösättersbäcken vid höga flöden. Vid överledningsdiket finns en vall i Rösättersbäcken som reglerar överledningen till Storån, figur 5.



Figur 4. Begränsande sektioner, strukturer och vattendrag i Hallsberg, ÖD: Överledningsdike, EP: Ekoparken, TS: Tisarvägen Storån rörbro, TR: Tisarvägen Rösättersbäcken järnvägsbro, J: Järnvägsbro, K: Kvarngatan rörbro, S: Stocksättersbäcken kulvert.



Figur 5. Vänster till höger: Begränsande sektionerna järnvägsbron över stambanan, rörbron under Kvarngatan och regleringsvallen i Rösättersbäcken vid överledningsdiket

I Hallsbergs avrinningsområde är sjöprocenten endast 1 % (Bergdahl, 2011). Sjöarna har en dämpande och fördröjande effekt på flödet i vattendragen. Få sjöar får till följd att vattennivån och flödet stiger snabbt i vattendragen i samband med kraftiga regn (Bergdahl, 2011; Länsstyrelsen Örebro län, 2016b). Sedan 1996 har flera dämpningsmagasin byggts i anslutning till Hallsberg i syftet att minska utsläppen av näring till vattendragen och att fördröja vattnet för att minska översvänningsrisken. Ett av de större magasinerna ligger längs med Storån i Ekoparken i södra Hallsberg, figur 4. Hallsbergs kommun arbetar nu aktivt med att bygga ut fördröjningsdammar allteftersom tätorten växer (Christiansen, 2016, muntligen). Bostadsområdena söder om rullstensåsen är särskilt utsatta eftersom de ligger mycket låglänt och underlagras av svårgenomsläppliga jordarter som lera (Länsstyrelsen Örebro län, 2016b).

3.1.2 Förändrad markanvändning och tidigare översvämningar

Vattendragen i Täljeåns avrinningsområde har påverkats mycket av jordbruk och verksamheter såsom avloppsreningsverk och industrier i anslutning till vattendragen (Jonsson, 2009). Sedan 1850-talet har marken modifierats för att förbättra markavvattningen, sjöar har sänkts, marker dikats ut och våtmarker har torrlagts. År 1878-1888 gjordes en omfattande sänkning av Hjälmarens som minskade dess medelvattennivå med ca 1.3 m och torrlade ca 15 000 ha mark (Jonsson, 2009). Idag finns få sjöar kvar och näst intill alla vattendrag är modifierade genom sådant som rätning, kanalisering och dikning.

Under de senaste 100 åren har ett antal större översvämningar, som hotat både bostäder, jordbruksmark och människor, dokumenterats i Örebro län. Den största översvämningen inträffade 1951 i samband med vårfloden och lade stora ytor jordbruksmark i Kvismaredalen under vatten (Bergdahl, 2011). Efter översvämningen breddades Kvismare kanal med ca 10 m men området är trots denna åtgärd fortfarande känsligt för översvämningar. Närheten till Hjälmarens gör området särskilt utsatt vid höga vattennivåer i sjön. Andra exempel på översvämningar som fått stora konsekvenser är sommarfloden 1960 och vårfloden 1977. I juni 1960 föll 80 mm regn under en natt. Stora jordbruksarealer norr om Hallsberg tätort låg vattentäckta och skörden på ca 6000 ha jordbruk förstördes (Bergdahl, 2011). I centrala Hallsberg var flera gator söder om rullstensåsen vattentäckta. År 1977 ledde avsmältningen av stora mängder snö i kombination med kraftiga regn till att ca 15 000 ha mark översvämmades och att 20 hushåll fick evakueras i Örebro län.

3.1.3 Översvämning september 2015

Helgen den 5-6 september 2015 drabbades Hallsberg av omfattande översvämningar. Under helgen drog ett kraftigt nederbördsområde in över norra Götaland och södra Svealand (SMHI, 2015b). SMHI utfärdade klass 1 varningar kring Hallsberg och Kumla där flödena i vattendrag var extremt höga (SMHI, 2015a). Förutom Hallsbergs kommun så drabbades även delar av Kumla, Askersunds och Laxå kommun (Länsstyrelsen Örebro län, 2016b).

Under helgen registrerade SMHIs mätstation i Hjortkvarn, ca 3 mil sydost om Hallsberg, nederbörds mängden 96,5 mm (SMHI, 2015b). Hallsbergs kommuns egna regnmätare registrerade 112 mm vid Hallsbergs reningsverk och 104 mm vid Harvens pumpstation norr

om centrum (Länsstyrelsen Örebro län, 2016b), vilket motsvarar en sjättedel av den totala årsnederbörden. Nederbörden varierade dock kraftigt i utbredning inom länet, i Örebro registrerade SMHI endast 7.7 mm under helgen.

Över Hallsberg började regnet falla på morgonen lördagen den 5 september och fortsatte sedan hela dagen. Regnet föregicks av nederbörd den 1-2 september så marken var sannolikt mättad under skyfallet (Länsstyrelsen Örebro län, 2016b). På kvällen kom de första larmsamtalen till räddningstjänsten. Regnet slutade på morgonen den 6e september men vattennivåerna fortsatte stiga under dagen. Troligen berodde det på långväga vatten som strömmade in i staden från vattendragen och förkastningsbranten i söder. Under natten 6-7 september nåddes kulmen på vattennivåerna, därefter sjönk vattnet undan snabbt och på morgonen hade nivån sänkts 3-4 dm. Centrala Hallsberg hade återhämtat sig och var fritt från översvämmat vatten på onsdagen den 9 september (Länsstyrelsen Örebro län, 2016b).

Översvämningarna i Hallsberg ledde till att många invånare tvingades evakuera sina hem, att skolor fick stängas och att tågtrafiken stördes. Storån, Rösättersbäcken Ralaån och mindre vattendrag var översvämmade, figur 6. De trånga sektionerna i Storån vid järnvägsbron och Kvarngatan var helt vattenfyllda. Inom tätorten var ett område om ca 35 ha vattentäckt (Länsstyrelsen Örebro län, 2016b). Länsstyrelsen uppskattar att 400 hushåll drabbades och att 80 hus evakuerades i kommunen. Kostnaderna för översvämningarna var i skrivande stund inte sammanställda, men ett försäkringsbolag som hade ca 30 % av marknaden i området bedömde att deras skadekostnader uppgick till ca 25 miljoner kronor. Även jordbruksmark i området drabbades hårt, områden nära tätorten var vattenfyllda i upp till två veckor (Gottfridsson, 2015). Kostnaderna för skador på jordbruket uppskattades grovt till 16 miljoner kronor och då var inte långsiktiga förluster medräknade. Mycket av jordbruksmarken var redan skördad och uppskattningsvis drabbades ca 1200 ha åker med växande grödor (Gottfridsson, 2015). Reningsverket mottog stora mängder vatten och breddade vilket ledde till att de tvingades släppa ut orenat avloppsvatten (Länsstyrelsen Örebro län, 2016b). Vattnet förorenades även av översvämmade gator och dagvattensystem men länsstyrelsen bedömer att konsekvensen för kemisk och ekologisk status var begränsad eftersom tidsperioden för översvämningen var kort (Länsstyrelsen Örebro län, 2016b).



Figur 6. Flygfoto taget på översvämningen den 6e september 2015, idrottsanläggningen syns till vänster i bild och till höger ligger Ekoparken. Fotot tillhör Länsstyrelsen i Örebro län.

4 METOD

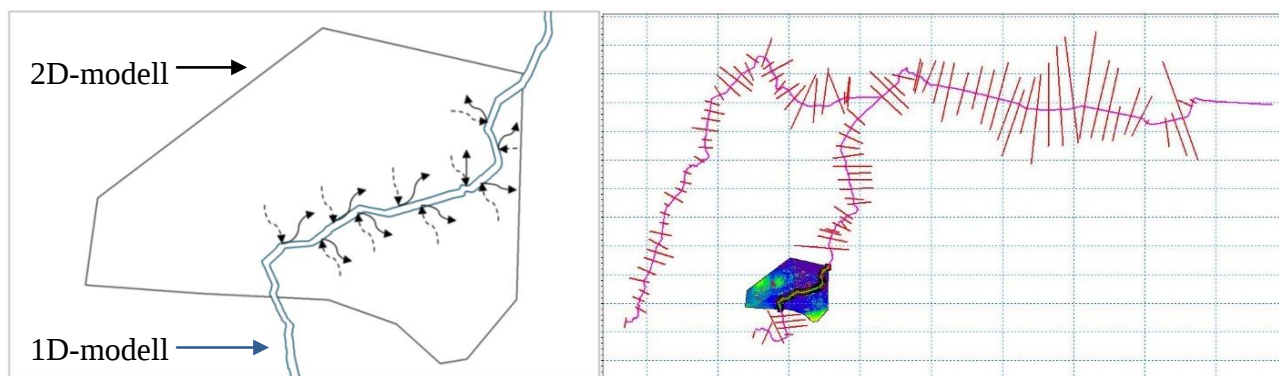
Översvämningen som inträffade i Hallsberg 2015 simulerades med en hydraulisk modell och kartlades även med information från sociala medier. Översvämningsutbredningen och vattendjupen som genererades med de två metoderna jämfördes därefter.

Eftersom resultatet från de två metoderna jämförs hade det bästa varit att simulera översvämningen som inträffade i september 2015. Men då regnet föll under ca ett dygn så hade beräkningstiderna blivit mycket långa för en sådan simulering. Det saknades även tid till att behandla detaljerad regndata över nederbördens variation i tid och utbredning i studien. Två förenklade scenarier som antogs gå att jämföra med kartläggningen från sociala medier simulerades således. Dessa var ett 100-årsscenario med ett 100-årsregn i kombination med ett 100-årsflöde i vattendragen och ett 200-årsscenario med ett 200-årsregn i kombination med ett 200-årsflöde.

Data till den hydrauliska modellen har inhämtats från Hallsbergs kommun, Länsstyrelsen i Örebro län, SMHI och Lantmäteriet. I början av studien gjordes även ett besök i Hallsberg då ett möte hölls med Marianne Christiansen som är förvaltningschefen i kommunen. Bilderna från sociala medier hämtades ifrån Facebook, Instagram, Twitter och Youtube.

4.1 KONCEPTUELL MODELL

Skyfallssimuleringen gjordes med kopplade modeller. Flödet i Storån beskrevs med en 1D-modell i Mike 11 och ytavrinningen i Hallsberg tätort med en 2D modell i Mike 21 FM. De två modellerna kopplades ihop i Mike Flood, vilket gjorde det möjligt för vatten att flöda mellan modellerna, figur 7. Kopplingen gjordes med länkar som lades på Storåns högra och vänstra flodbank. 1D-modellen byggdes av Magnus Jewert på Norconsult och kommer därför inte beskrivas ingående i den här studien som till stor del fokuserar på beskrivningen av 2D-modellen och kopplingen.



Figur 7. Konceptuell bild av kopplingen mellan 1D och 2D-modellen. Flödet i Storån beskrivs av 1D-modellen och ytavrinningen i Hallsberg beskrivs av 2D-modellen. Vänster bild visar kopplingen mellan modellerna. Vatten kan strömma mellan modellerna via länkar som är placerade på Storåns högra och vänstra flodbank. Pilarna med heldragna linjer representerar vatten som flödar från 1D-modellen till 2D-modellen och pilarna med streckade linjer visar vatten som flödar från 2D-modellen till 1D-modellen. Höger bild visar 1D-modellens totala omfattning och var 2D-modellen låg längs med vattendraget.

Kopplade modeller valdes för Hallsberg eftersom flödet i vattendragen spelar en stor roll vid översvämningar i staden. Centrala Hallsberg har en relativt god kapacitet att hantera kraftiga regn men är desto känsligare för höga flöden (Christiansen, 2016, muntligen). Med kopplade modeller var det möjligt att göra en detaljerad beskrivning dynamiken mellan flödet i vattendraget och avrinningen i staden. Det möjliggjorde även analyser av hur faktorer nedströms Storån påverkar översvämningen i staden, såsom forsnackens dämmande effekt.

4.2 2D-MODELLEN

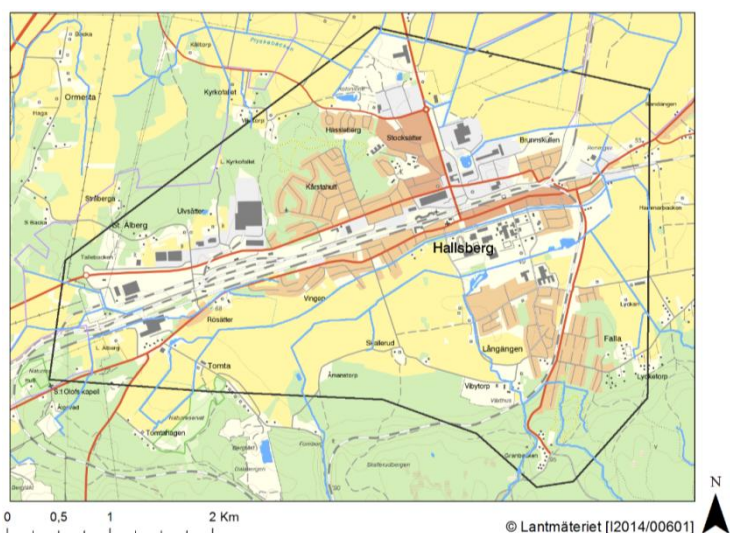
Ytflödesmodellen täckte Hallsbergs tätort och beskrev nederbörden samt ytavrinningen i staden, Rösättersbäcken ingick även i modellen. Mycket förberedande arbete utfördes inledningsvis, bland annat i ArcGIS, och modellen byggdes sedan i Mike 21 FM.

Innan 2D-modellen kopplades samman med 1D-modellen lades fokus på att se till att 2D-modellen fungerade ensam, flera körningar genomfördes där olika parameteruppsättningar testades. Resultaten jämfördes med nivåmätningar och kartläggningar som genomfördes av Hallsbergs kommun i anslutning till översvämningen i september 2015.

4.2.1 Avgränsning av det urbana området

Området som ingick i den urbana modellen avgränsades för att begränsa modellens beräkningstid. En grundläggande bild över översvämningsskänsliga områden skapades genom en översiktlig kartläggning av vilka områden som översvämmats under skyfallet i september 2015. Information hämtades ur tidningsartiklar från Närkes Allehanda och Aftonbladet, från SMHIs rapporteringar och från bilder på Instagram. De drabbade områdena inkluderades i modellen. För att förstå i vilka riktningar avrinningen rinner i området studerades höjdkartan över Hallsberg och dikesritningar som erhöles från Hallsbergs kommun (Ralaåns avrinningsområde vid utloppet i Nykvarn). Gränsen drogs sedan längs höjdkurvor som utgjorde vattendelare.

Modellens area avgränsades till ett 17,2 km² stort område som innefattade centrala Hallsberg, hela sträckan längs vilken Rösättersbäcken och Storån går parallellt samt förkastningsbranten i söder, figur 8.



Figur 8. Avgränsning av modellområde för den tvådimensionella ytflödesmodellen.

4.2.2 Nederbörd och korrigering för avlopp

Scenarierna som undersöktes var blockregn med återkomsttiden 100 och 200 år. Regnets storlek beräknades enligt Dahlström 2010, ekvation 2. Varaktigheten 30 minuter användes eftersom det är en vanlig rinntid för vatten i urbana miljöer (Mårtensson och Gustafsson, 2014). Nederbördsintensiteten multiplicerades med klimatfaktorn 1,25 enligt rekommendation från Svenskt Vatten (2016). Enheten l/s·ha omvandlades därefter till mm/h genom multiplikation med faktorn 0,36. Volymen nederbörd som föll under regnet beräknades enligt ekvation 5.

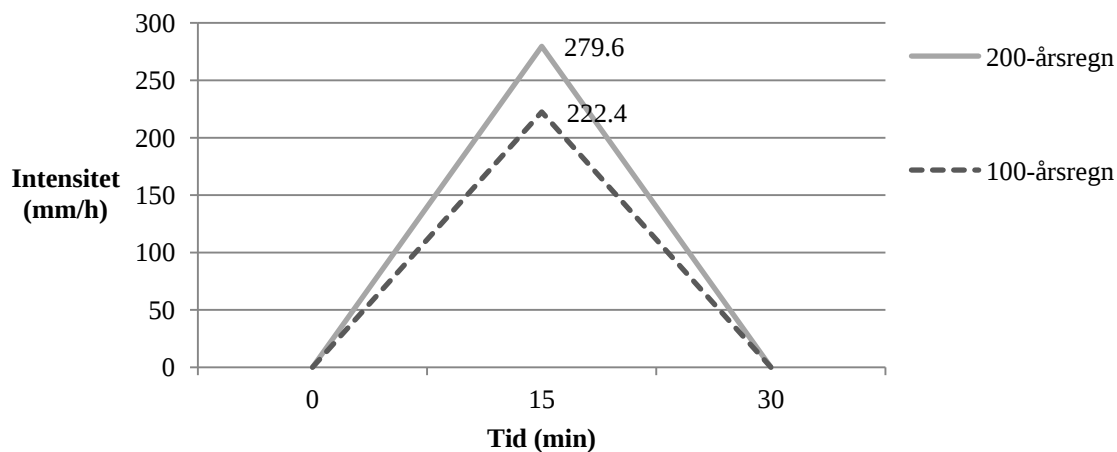
$$V = I \cdot t_r \quad (5)$$

Där V är volymen i mm, I är intensiteten i mm/h och t_r är varaktigheten i timmar.

Datafiler med regnserier som varierar både i rum och i tid tar mycket datorutrymme i anspråk och blir långsamma att jobba med om de innehåller många tidssteg. För att undvika det kan stora tidssteg användas i tidsserierna, programmet interpolerar då värden mellan tidsstegen linjärt. Eftersom regnet som simulerades i den här studien pågick i 30 minuter skapades en tidsserie med tidssteget 15 minuter. Intensiteten ökade således i mitten av tidsserien så att regnet som skapades kom att likna ett CDS-regn, figur 9. Maxintensiteten som inträffade efter 15 minuter räknades om så att regnets volym var lika stor som blockregnets. För att volymen skulle vara oförändrad i regnfilen ändrades maxintensiteten (I_{max}) enligt ekvation 6.

$$V = \frac{t_r \cdot I_{max}}{2} \leftrightarrow I_{max} = \frac{V}{t_r} \cdot 2 \quad (6)$$

Maxintensiteten i regnfilen blir alltså dubbelt så stor som blockregnets intensitet, tabell 2, figur 9.



Figur 9. Nederbördsintensitet över tiden för 100- och 200-årsregnet.

Tabell 2. Intensitet och volym för nederbörden

Regn	Intensitet blockregn (mm/h)	Klimatkompenserad intensitet (mm/h)	Volym regn (mm)	Maxintensitet i regnfil (mm/h)
100-årsregn	88,9	111,2	55,6	222,4
200-årsregn	111,9	139,8	69,9	279,6

En del av nederbörden som faller ryms i dagvattenssystemet i staden. Systemets kapacitet att ta hand om regnvattnet kan modelleras med en 1D-modell, men det kräver god information om ledningsnätets utformning och dimensionering. En sådan modellering tar tid att göra och kan ge upphov till osäkerheter som beror av modelluppsättningen. Vid kraftiga skyfall fylls ledningsnätet dessutom mycket fort så att hela dess kapacitet tas i anspråk. Mårtensson och Gustafsson (2014) rekommenderar därför att dagvattenssystemets kapacitet dras av från nederbörden, såvida syftet med modellen inte är att studera ledningsnätet i detalj. På grund av begränsad tillgång till både data och tid valdes det rekommenderade tillvägagångssättet i den här studien.

Dagvattenssystemet antogs vara dimensionerat för att klara ett regn med 10 års återkomsttid. Återkomsttiden 10 år motsvarar den dimensionerande nederbörden för kombinerade ledningsnät i områden där dagvattnet inte kan avledas ytledes med självfall (Svenskt Vatten, 2004). Hallsberg kommun bekräftade att det var ett rimligt antagande (Christiansen, 2016, muntligen). Varaktigheten som ledningsnät dimensioneras för beror av vattnets rinntid i ledningsnätet (Svenskt Vatten, 2004). Uppgifter om rinntiden i Hallsberg tätort saknades och sattes därför till 30 minuter. Eftersom stora delar av avloppsnätet antas ha designats innan 2010 så beräknas ledningarnas kapacitet med Dalhström 1979, ekvation 1. Parameter Z som ingår i ekvationen varierar regionalt och är 18-20 för Hallsberg (Svenskt Vatten, 2004). För att välja kapaciteten restriktivt så användes Z=18, dagvattennätets kapacitet beräknades därefter till 39,4 mm/h.

Utifrån en karta över dagvattenssystemet, som erhöles ifrån Hallsberg kommun, beslutades att justeringar för avlopp kunde göras för all mark som klassats som bebyggelse, industri och öppen mark i fastighetskartan. I dessa områden subtraherades dagvattennätets kapacitet från nederbördsvolymen. I övriga områden där det inte fanns ledningsnät så användes blockregnets fulla intensitet, tabell 3, figur 10.



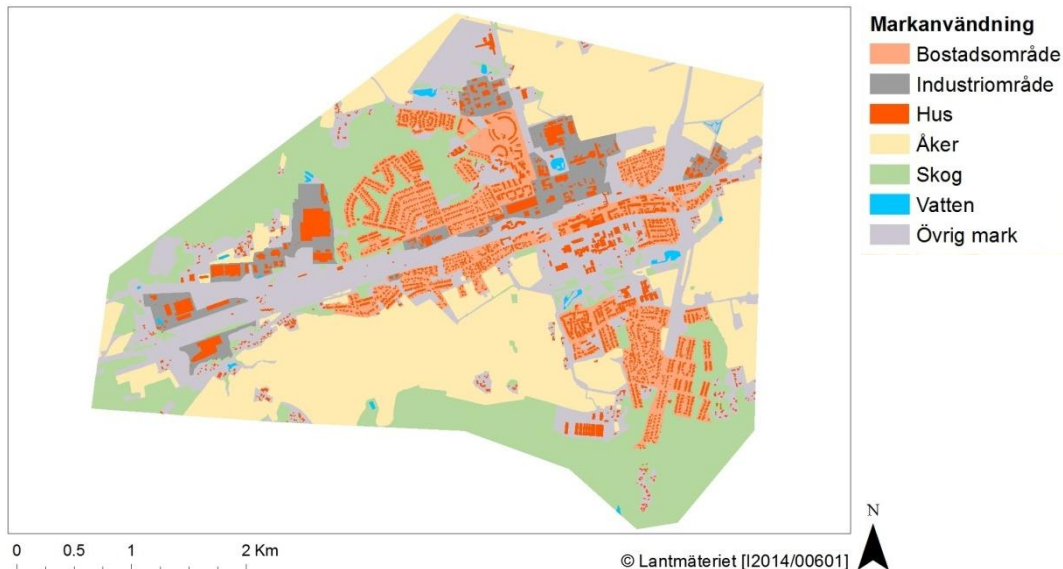
Figur 10. Tidsseriens rumsliga variation av nederbördsintensiteter. De mörkgrå områdena har ledningsnät medan övriga områden är ljusgrå.

Tabell 3. Nederbördsintensiteter i tidsserien för 100- och 200-årsregnet

Regn	Maxintensitet i områden utan ledningsnät (mm/h)	Maxintensitet i områden med ledningsnät (mm/h)
100-årsregn	222,4	183
200-årsregn	279,6	240,2

4.2.3 Markanvändning

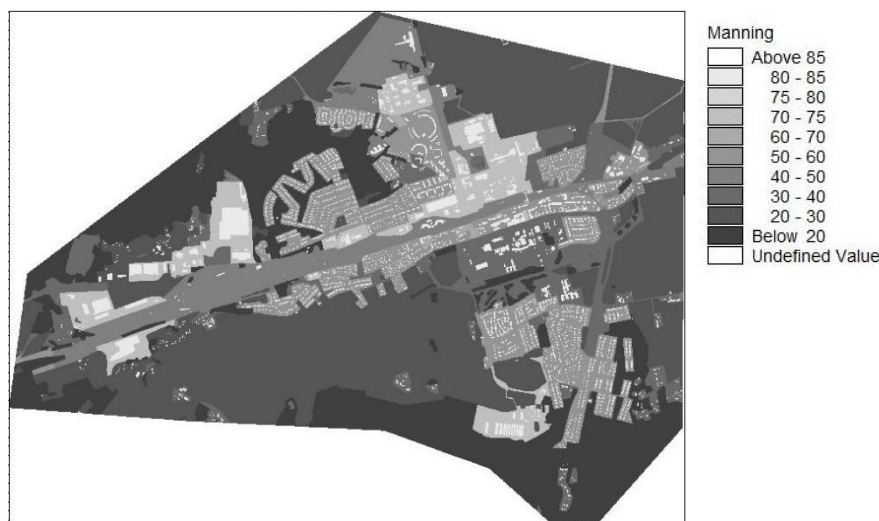
Markens egenskaper påverkar bland annat vattnets utbredning, djup och dess infiltration i marken. Markanvändningen i Hallsberg identifierades med hjälp av fastighetskartan från lantmäteriet, figur 11, och kompletterades med ortofoton.



Figur 11. Markanvändning i fastighetskartan från lantmäteriet

I fastighetskartan var markanvändningen mycket grovt definierad, exempelvis klassades både ekoparken och järnvägsspåret som öppen mark. En förfinad uppdelning av områdena gjordes därför med hjälp av ortofoton, ekoparken klassades som åker/gräs och bebyggelsen delades in i tät bebyggelse, bebyggelse och gles bebyggelse.

Därefter uppskattades råheten i de olika områdena. Råheten valdes utifrån Vägverket (2008) rekommendationer för Mannings tal för markytor, tabell 1, och hustaken klassades som hårdgjorda ytor. I områden som innehöll olika typer av mark justerades mannings tal något utifrån en visuell analys av markanvändningen, tabell 4. Raster-filer med Mannings tal skapades i ArcGIS och konverterades till dfs2-filer så att de kunde användas i Mike 21 FM, figur 12. Mannings tal användes i ett senare skede för att kalibrera modellen, avsnitt 4.5.



Figur 12. Mannings tal som definierades för olika markanvändning i 2D-modellen

Tabell 4. Mannings tal för olika markanvändning i 2D-modellen

Markyta	Manningstal
Hustak	85
Industri	75
Tät bebyggelse	60
Medeltät bebyggelse	55
Gles bebyggelse	35
Järnvägsspåret	50
Vatten	40
Åker/Gräs	30
Skog	20

Eftersom Hallsberg underlagras av lera och grundvattenmagasin gjordes antagandet att inget vatten infiltrerar marken vid ett skyfall i tätorten. Avrinningskoefficienten sattes således till 1 i hela området. Detta var troligen förhållandena under översvämningen 2015. Skyfallet hade föregåtts av mindre skurar, varför marken troligen var mättad och mycket lite vatten tilläts infiltrera när skyfallet kom (Christiansen, 2016, muntligen).

4.2.4 Behandling av höjdmodellen

Lantmäteriets nya nationella höjdmodell (NNH), med upplösningen 2x2 m, användes som indata över områdets topografi. Byggnader är borttagna ur höjdmodellen vilket åtgärdades genom att höja upp marken där byggnaderna stod med verktyget *Shape2Mike* från DHI. Marken höjdes med 120 m, vilket var högre än den högsta punkten i modellen.

Broar och kulvertar är inte nedsänkta i NNH och ser således ut som upphöjda markytor i vattendragen. De dämmer upp flödet och tillåter inte vatten att passera som det gör i verkligheten. Kulvertar och broar som antogs ha stor påverkan på flödet i vattendragen lades in som strukturer i 1D- och 2D-modellen, medan broar och kulvertar som antogs ha en mindre påverkan sänktes ned i höjdmodellen så att vattendragen blev kontinuerliga. Strukturerna brändes ned till vattendragens botten genom ändringar av värden i höjdmodellens rasterceller. Eftersom inga vattendrag eller fördröjningsmagasin brändes ut i höjdmodellen, annat än för

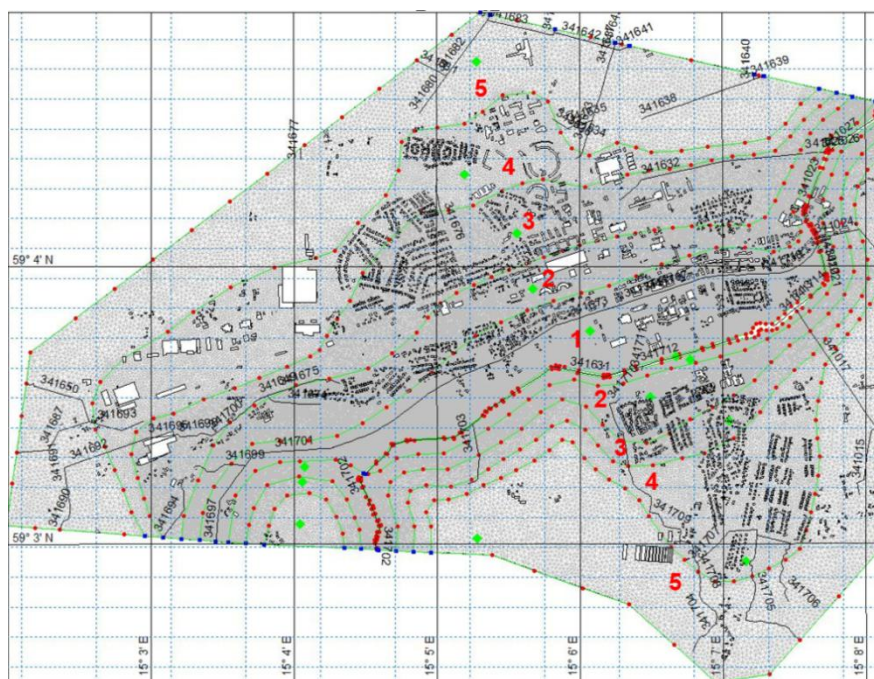
att justera för kulvertar och broar, så beskrevs vattendragens dimensioner av hur de såg ut när laserscanningen av området gjordes. Detta gäller dock inte för Storån som beskrevs av 1D-modellen.

4.2.5 Beräkningsnätet

Beräkningsnätet är en av de viktigaste komponenterna för modellens prestation och resultatets kvalitet. Beräkningarna sker i nätets noder och ett finare nät med tätare noder genererar flera beräkningpunkter men tar också längre tid att köra. I Mike 21 FM byggs beräkningsnätet tidigt i modelleringen, den behandlade höjdmodellen läggs in i nätet, därefter interpoleras topografin fram som används vid simuleringarna. Beräkningsnätet påverkar alltså både hur tätt beräkningpunkterna ligger och hur topografin beskrivs i modellen.

Nätet skapades i Mike Mesh Generator som är ett separat program för att skapa flexibla beräkningsnät till Mike 21 FM. Fastighetskartan användes som bakgrundsbild för att underlätta identifieringen av områden som behövde beskrivas mer detaljerat. Området var 17,2 km² stort och områdena med hög upplösning begränsades för att beräkningstiden inte skulle bli för lång. Således prioriterades de områden som varit särskilt utsatta under tidigare översvämningar samt områden som antogs vara viktiga för att beskriva flödet från Storån och Rösättersbäcken. En hög upplösning var nödvändig kring Storån för att kopplingen till 1D-modellen skulle fungera och för att vattenflödet mellan 1D- och 2D-modellen skulle återges med tillräcklig noggrannhet. Till skillnad från Storån ingick inte Rösättersbäcken i 1D-modellen, dess dimensioner beskrevs istället av höjddata i 2D-modellen. Upplösningen behövde således vara hög kring Rösättersbäcken för att dess utseende, djup och dimensioner skulle återges.

Det finmaskigaste beräkningsnätet lades runt Storån och Rösättersbäcken. Det inkluderade då de bostadsområden, skolområdet och idrottsarenan som ligger mellan dem och översvämmades i september 2015. Utanför det finaste nätet ritades nya områden upp med allt lägre upplösning, i varje område minskade upplösningen med faktorn 2:5. Nätet gjordes som störst i flacka områden och i områden långt ifrån centrala Hallsberg. Totalt skapades 5 delområden, tabell 5, figur 13. Den högsta tillåtna upplösningen definierades därefter i respektive område. Den finaste upplösningen som användes var 4x4 meter, vilket är tillräckligt för att återge urbana strukturer. Den högsta upplösningen som användes var 25x25 meter, tabell 5.



Figur 13. Delområdena med olika upplösning i beräkningsnätet är markerade med siffror som hänvisar till tabell 5. Den finaste upplösningen finns i området närmast Storån och Rösättersbäcken, områdena utanför blir gradvis större och större. De röda och blåa punkterna är noder som definierar gränsen mellan områdena. Länkarna till 1D-modellen ligger på var sin sida om Storån i område 1. Länkarna är de linjer som har tätast och ojämnast fördelade noder, noderna är tätast där Storån svänger.

Tabell 5. Upplösningen i delområden i beräkningsnätet

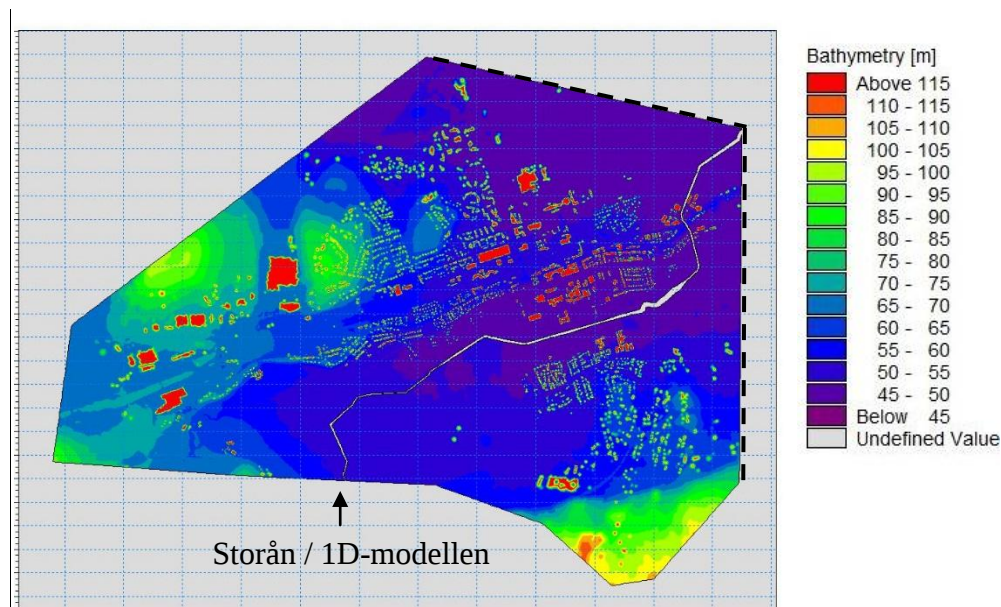
Delområde	1	2	3	4	5
Max area på maskor i beräkningsnätet (m ²)	16	40	100	250	625
Min upplösning (m)	4	6,3	10	15,8	25

Beräkningsnätets yttre gränser är initialt definierade som stängda vilket innebär att vatten i modellen inte kan rinna över kanten i simuleringarna. Tidiga körningar av 2D-modellen visade att vatten ackumulerades vid den norra och östra gränsen på grund av att det hindrades från att rinna vidare. Vattendjupet och utbredningen överskattades således i området. Därför definierades den norra och östra gränsen om som öppna i Mike Mesh Generator innan beräkningsnätet genererades.

När de öppna gränserna markerats genererades beräkningsnätet som ett triangulärt nät och en minsta tillåten vinkeln för nätmaskorna definierades. Vinkeln ska vara så stor som möjligt för att undvika instabilitet i beräkningarna, den påverkar CFL-värdet som indikerar instabilitet (DHI, 2016a). Den största vinkeln som gick att använda utan att programmet sade ifrån var 30°. När beräkningsnätet genererats så justerades det med verktyget *Smooth mesh* i Mike Mesh Generator. Verktyget förbättrar beräkningsnätet genom att flytta på noderna så att antalet små vinklar i de triangulära nätmaskorna minskas (DHI, 2012). När beräkningsnätet var färdigt laddades den bearbetade höjdmodellen in som scatter data varpå topografin som

användes i modellen interpolerades fram och exporterades till en mesh-fil som lades in i Mike 21 FM, figur 14.

Länkarna som kopplar samman 1D- och 2D-modellerna bör inkluderas som noder i beräkningsnätet för att förbättra flödesberäkningarna mellan modellerna (DHI, 2016b). Ett nät utan länkar gjordes inledningsvis så att 2D-modellen fungerade ensam. Med hjälp av den modellen skapades därefter länkarna i programmet Mike Flood, detta är mer detaljerat beskrivet i avsnitt 4.4. Länkarna placerades på båda sidorna om 1D-modellen längs med Storåns högra och vänstra flodbank. När länkarna genererats uppdaterades beräkningsnätet så att länkarnas placering inkluderades i nätet. Området mellan länkarna, alltså Storån, blockerades ut ur beräkningsnätet för att undvika att flödesberäkningar i Storån skedde i både 1D- och 2D-modellen vilket hade lett till en överskattning av vattendragets kapacitet. Blockeringen innebar Storån togs bort ur 2D-modellen och att dess flöde endast beräknades i 1D-modellen.



Figur 14. Det slutgiltiga mesh-filen med interpolerad topografi, de öppna gränserna är markerade med streckade linjer. Det vita smala området visar Storån som är utesluten ur beräkningsnätet.

4.2.6 Modelluppsättning i Mike 21 FM

Mike 21 FM kördes med den hydrodynamiska modulen och modulen för översvämning (*inland flooding*). Den hydrodynamiska modulen beräknar vattenflöden utifrån angivna randvillkor (DHI, 2016a). Översvämningsmodulen inaktiverar funktioner som är irrelevanta för modellering av vattenflöden på land, såsom ekvationer för corioliskrafter, tidvatten, vind, vågor och turbiner. I det här avsnittet presenteras inställningarna som användes efter samma rubriker som finns i Mike 21 FM.

Domän

Under rubriken domän (*domain*) lades den förberedda mesh-filen in. Utifrån filen hämtar programmet topografin, beräkningsnätet och gränser som definierats som öppna. Parametern *minimum depth cutoff* specificerades även, den representerar en höjd som ersätter alla högre nivåer i modellen (DHI, 2016a). För att *minimum depth cutoff* inte skulle påverka beräkningarna sattes den till 240 m, en nivå som var högre än den högsta punkten i modellen.

Tid

Både tidssteget och simuleringstiden definierades. Tidssteget påverkar modellens beräkningstid, beräkningarnas stabilitet och resultatets kvalitet. Flera körningar genomfördes där olika tidssteg testades. Stabiliteten undersöktes med Courant-Friedrich-Lévy-värdet (CFL-värdet) som ska vara under 1 för stabila beräkningar. Ett litet tidssteg är att föredra för att vattenflödet ska beskrivas med hög noggrannhet. På grund av det modellerade områdets stora omfattning så blev beräkningstiderna väldigt långa för små tidssteg. För att begränsa beräkningstiden valdes slutligen det högsta möjliga tidssteget som gav stabilitet i beräkningarna. När 2D-modellen kördes ensam användes tidssteget 5 sekunder. Stabiliteten försämrades dock när modellen kopplas samman med Mike 11 och tidssteget sänktes därför till 3 sekunder.

Simuleringstiden valdes med hänsyn till två faktorer. Flödet i vattendragen skulle vara i ett stabilt tillstånd innan skyfallet kom och ytavrinningen från regnet skulle hinna rinna till vattendragen innan simuleringstiden var över. För att ge flödena i vattendragen tid att stabilisera sig så lades skyfallet in efter en timme i simuleringen. Regnet föll sedan under en halvtimme och därefter behövde vattnet tid att rinna undan. Rinntiden uppskattades genom att dividera vattnets längsta rinnsträcka med vattenhastigheten. Rinnsträckan uppskattades till 6,5 km och vattnets hastighet till 0,5 m/s enligt rekommendation för vattenhastighet i diken och rännstenar enligt Vägverket (2008). Den längsta rinntiden blev då 3,6 timmar, men eftersom uppskattningen var mycket grov förlängdes den till 4,5 timmar. Tiderna slogs sedan ihop och resulterade i simuleringstiden sex timmar.

Beräkningsteknik

Under rubriken beräkningsteknik (*solution technique*) justerades inställningar som är viktiga för resultatens kvalitet och beräkningarnas stabilitet, däribland inställningar för lösningsalgoritmerna, tidsstegsintervall och det kritiska CFL-värdet.

Beräkningstiden och resultatens noggrannhet kan påverkas genom att specificera ordningen för tidsintegration och för rumsdiskretisering. Programmet kan antingen använda en hög ordning med en långsam algoritm, eller en låg ordning med en snabb algoritm. Med en hög ordning får beräkningarna bättre kvalitet men beräkningstiden blir avsevärt mycket längre. Vid modellering av flöden rekommenderar DHI (2016a) att en hög ordning väljs för rumsdiskretiseringen, vilket förlänger beräkningstiden med en faktor 1,5-2. Väljs en hög ordning för både tidsintegrationen och rumsdiskretiseringen ökar beräkningstiden med en faktor 3-4. Eftersom modellen över Hallsberg var mycket stor användes inställningen låg ordning för både tidsintegrationen och rumsdiskretisering. Flera försök gjordes för att höja

ordningen, men de resulterade i beräkningstider på över 100 timmar vilket tyvärr var för långa tider för den här studiens tidsramar.

Tidssteget som specificerats i programmet är variabelt inom ett intervall som anges av ett max- och minvärde. Intervallet gör det möjligt för programmet använda olika tidssteg för transportekvationerna och Saint-Venant-ekvationerna. Transportekvationerna är mindre känsliga för instabilitet, så för att spara beräkningstid använder programmet ofta ett längre tidssteg för dem än för Saint-Venant-ekvationerna. Det minsta tillåtna tidssteget sattes till 0,01 s och det största till 3 s, alltså det värde som definierats tidigare i programmet.

Det kritiska CFL-värdet ska vara mellan 0-1. Parametern CFL är beroende av vattendjupet, tidssteget och vattenhastigheten. Det beräknas i varje tidssteg och ska vara mindre än 1 för att beräkningarna ska vara stabila. Är beräkningarna instabila försämras resultatens kvalitet, till exempel så kan vattenhastigheter bli för höga. Vanliga orsaker till höga CFL-värden är för långa tidssteg, för höga värden på översvämning och torka eller att brus uppstått vid en öppen gräns i modellen (DHI, 2016a). I modellen användes programmets grundinställning som var 0,8 för det kritiska CFL-värdet.

Översvämning och torka

Parametrarna översvämning och torka (flood and dry) används för att definiera när en cell klassas som översvämmad respektive torr och avgör vilka celler som är med i flödesberäkningarna. Eftersom syftet med modellen var att simulera översvämningar användes inställningen avancerad översvämning och torka. Flera körningar gjordes där värdena på översvämning och torka sänktes från grundinställningarna. Sänkningen ökade beräkningstiderna betydligt och således gjordes valet att sänka dem så lite som möjligt. DHI (2016b) rekommenderar en halvering av grundinställningarna när 2D-modellen kopplas samman med en 1D-modell. För att erhålla stabila beräkningar sänktes värdena slutligen med 25 % som en kompromiss mellan beräkningstid och stabilitet, tabell 6.

Tabell 6. Värden för översvämning och torka

Parameter	Grund- inställning	Vald inställning
h_{dry}	0,005	0,00375
h_{flood}	0,05	0,0375
h_{wet}	0,1	0,075

Densitet och Eddy viskositet

I Mike 21 FM är densiteten en funktion av salthalt och temperatur. Densitetsekvationerna utnyttjas främst vid modellering av scenarier då vatten är väl mixade, exempelvis vid flodmynningar där söt- och saltvatten möts (DHI, 2016a). I Hallsberg antogs densiteten ha en mindre påverkan på översvämningens förlopp och därför valdes inställningen *barotropic mode*. Det innebar att temperaturen, salthalten och densiteten var konstant genom simuleringen.

För Eddy viskositeten användes grundinställningarna i programmet, *Smaroginsky formulation* med konstanten 0,28. Konstanten kan justeras som en sista utväg för att dämpa numerisk instabilitet men ska ligga mellan 0,25 - 1 (DHI, 2016a).

Markens råhet

En fil med Mannings tal i de olika områdena lades in i programmet. Råheten påverkade vattnets utbredning och djup, men användes även för att dämpa instabilitet i beräkningarna.

Nederbörd och avdunstning

Tidsserien med nederbörd som skapats i det förberedande arbetet lades in i modellen. Nederbörden varierade i både tid och rum, eftersom regnet hade lägre intensitet i områden med dagvattensystem. Avdunstningen antogs vara liten under den korta tiden som modellen kördes och sattes därför till noll.

Infiltration

På grund Hallsbergs geologiska förutsättningar antogs infiltrationen vid skyfall vara mycket liten. För att återge ett värsta scenario och inte underskatta vattendjupen så sattes infiltrationen till noll.

Källor

Under rubriken källor (*sources*) definierades inflöden för Rösättersbäcken i modellen. Flödesberäkningarna är utförda av Magnus Jewert på Norconsult, tabell 7. Flöden med 100 och 200 års återkomsttid beräknades för Rösättersbäcken och Storån med hjälp av frekvensanalys av historiska flödesmätningar från SMHIs mätstation i Almbro. När flödena beräknats användes tid-area-metoden för att uppskatta hur stor andel som rann i respektive vattendrag. Storåns flöde lades in i 1D-modellen och Rösättersbäckens flöde lades till som en källa i 2D-modellen. Flödet i källan gavs hastigheten 0,5 m/s i vattendragets riktning.

Tabell 7. Flöden i Rösättersbäcken

Återkomsttid	Flöde (m ³ /s)
100-årsflöde	4,1
200-årsflöde	5,1

Strukturer

Strukturer som antogs ha stor påverkan på flödet i vattendragen lades in i 2D-modellen, medan mindre strukturer brändes ut i höjdmodellen. Dimensionerna hämtades från sektionsritningar från Ralakarrens vattenavledningsföretag 1996, från Länsstyrelsen och från en dagvattenutredning gjord av Melin (2012). Dimensionerna för strukturerna under Tisarvägen och Järnvägen mättes upp vid ett besök i Hallsberg.

Vid överledningsdiket i Rösättersbäcken fanns två flödesreglerande vallar som skyddade tätorten, dessa lades till i 2D-modellen. Utöver dessa skapades även strukturer för en rörbro och järnvägsbro i Rösättersbäcken vid Tisarvägen, samt för en kulvert under järnvägen i Stocksättersbäcken. Strukturer som låg i Storån lades in i 1D-modellen. Struktureernas utplacering är beskrivna mer i detalj i avsnitt 3.1.1, figur 4.

Initialvillkor

Under rubriken initialvillkor (*initial conditions*) angavs de initiala vattennivåerna i modellområdet. Samtliga ytor i modellområdet definierades som initialt våta för att återge ett värsta scenario samt för att kompensera för de relativt höga värdena som valts för

översvämning och torka. Ett högt vätningsdjup leder till att mycket vatten ansamlas i beräkningscellen innan det rinner vidare och definitionen av cellerna som initialt våta kompenserade delvis för detta.

Vattenytor som genererades av höga flöden i vattendragen lades även in i initialvillkoret så att flödena i vattendragen skulle hinna uppnå ett stabilt tillstånd innan regnet kom i den slutgiltiga simuleringen. De initiala vattenytorna uppskattades genom att göra simuleringar utan regn.

Randvillkor

Randvillkor definierades längs med de sträckor som markerats som öppna gränser i beräkningsnätet, den norra och östra gränsen. De öppna gränserna kunde tilldelas randvillkor i form av vattenhastigheter, utflöden, vattennivåer eller avbördningskurvor (DHI, 2012). I den här studien definierades randvillkoren som vattenhastigheter. Vattenhastigheten i diken som passerade gränserna angavs som 0,2 m/s, eftersom körningar visade att flödet i modellområdet generellt var långsammare än flödet 0,5 m/s som angetts av Vägverket (2008). Den resterande sträckan längs med den norra och östra gränsen gavs hastigheten 0,075 m/s i riktningen tvärs gränsen. Hastigheten sattes först till 1 m/s vilket var ett rimligt antagande för vattenhastigheter över mark enligt Vägverket (2008). Körningar visade dock att vattnet rann undan för snabbt och därför sänktes hastigheten med 0,025 m/s.

Randvillkoren kan ge upphov till instabilitet i beräkningarna. Detta inträffade initialt i modelluppsättningen vilket kan ha berott på att hastigheterna som angetts vid gränserna generade vågor när modellen startades (DHI, 2016a). Effekten dämpades genom att ett lågt Mannings tal användes längs med de öppna gränserna vilket dämpade bruset som uppstod i randen.

Utdata

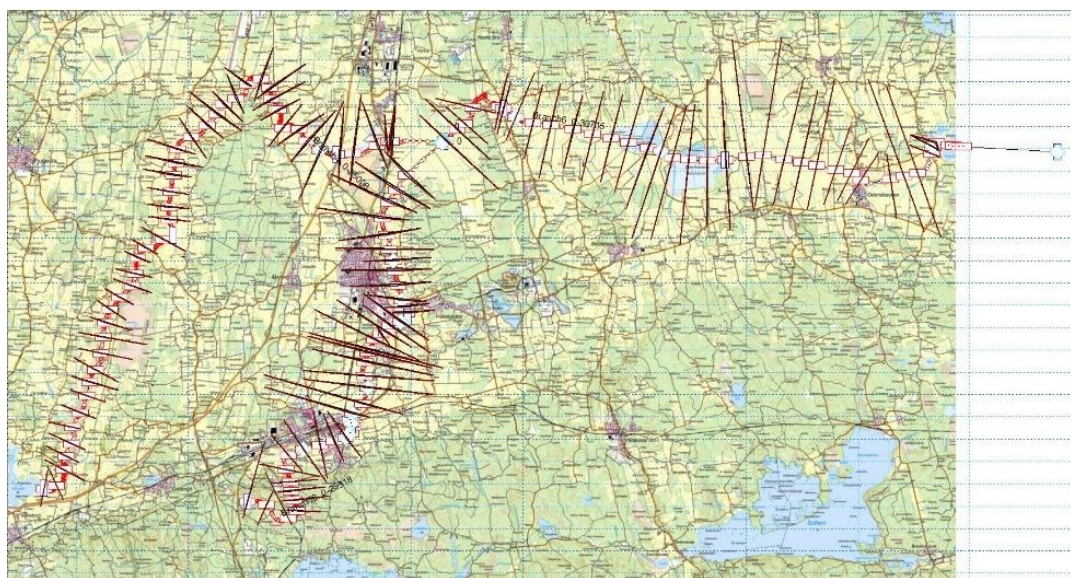
Under rubriken utdata (*output*) definierades vilka resultatfiler som skulle skapas under simuleringarnas gång. Vattennivåer, vattendjup och CFL-värden sparades var 18 minut, vilket innebär att resultatfiler med 20 tidssteg genererades vid simuleringarna. Därutöver gjordes även resultatfiler över maxnivåerna och tiden då de inträffade.

4.3 1D-MODELLEN

1D-modellen sammanställdes av Magnus Jewert på Norconsult och presenteras således endast översiktligt i den här rapporten. Modellen innefattade Storån och de anslutande större vattendragen, figur 15.

4.3.1 Nät och tvärsektioner

Vattendragen Storån, Ralaån och Kumlaån, samt Täljeån och Kvismare kanal ingick i 1D-modellen, figur 15. Mindre vattendrag i området beskrevs som inflöden till de större vattendragen.



Figur 15. 1D-modellen innefattade Storån, Ralaån, Kumlaån, Täljeån och Kvismare kanal. Sträcken som är vinkelräta mot vattendragen i figuren är tvärsektionerna som användes, längden på sträcken visar tvärsektionernas bredd.

Dikessektionernas dimensioner erhöles från handlingar till markavvattningsföretaget Ralakärrens vattenavledningsföretag 1996 som tillhandahölls av Länsstyrelsen i Örebro län. Norconsult utförde även ekolodsmätningar i Kvismare kanal för att få uppdaterad information om botten och åkanternas utseende. Sektionerna som slutligen lades in i modellen var betydligt bredare än vattendraget och beskrev utöver åfåran även översvämningssytorna upp till terräng dit översvämmat vatten inte kunde nå. Tack vare de breda sektionerna tilläts vattnet svämma över vattendraget och breda ut sig i översvämningssytorna. Längs sträckan som kopplades ihop med 2D-modellen i Hallsberg översvämmade vattnet till 2D-modellen och sektionerna gjordes således kortare där. Längs den sträckan användes sektioner som representerade dikets verkliga dimensioner.

4.3.2 Beräkning av flöden

Flöden med 100 och 200 års återkomsttid beräknades med frekvensanalys av flöden från åren 1983-2015 vid SMHIs mätstation i Almbro. Analysen indikerar att stationen underskattat högflöden (Jewert, 2016, muntligen). Det högsta flödet som uppmätts var 83 m³/s år 1985,

vilket motsvarar ett 300-400-årsflöde enligt frekvensanalysen. För skattning av flöden som återkommer sällan är frekvensanalys därtill en osäker metod att tillgå och således kontrollerades flödet i Storån och Rösättersbäcken med tid-area-metoden. Vid beräkningarna användes ett klimatkompenserat blockregn med samma intensitet som användes i 2D-modellen, tabell 2.

Almbro ligger långt uppströms i 1D-modellen och har ett stort upptagningsområde. Längs det modellerade vattendraget finns många delavrinningsområden och anslutande mindre vattendrag. Inflöden från dessa lades till på flera punkter längs med det modellerade vattendraget. Andelen av det totala flödet som nådde Almbro från respektive delavrinningsområde uppskattades med Hype-modellen från SMHI. Totalt beräknades nio inflöden som var utspridda längs med vattendraget, appendix A figur 1.

Innan Storån når Hallsberg passerar den över förkastningsbranten sydväst om staden, jordarten i området är svårgenomsläpplig och vattnet infiltrerar långsamt i marken. Kombinationen av den branta terrängen, jordarten och att det finns få sjöar längs Storån skapar snabba flöden i området. För att kompensera för de speciella hydrologiska förhållandena multiplicerades flödena i Storån med en momentanfaktor om 1,5; tabell 8. Flödena i Rösättersbäcken beräknades på samma sätt men lades till i 2D-modellen istället för 1D-modellen.

Tabell 8. Flöden i Storån

Återkomsttid	Flöde (m ³ /s)
100-årsflöde	9,6
200-årsflöde	12

4.3.3 Strukturer

I Storån finns flera broar och kulvertar som har dämmande effekter på vattennivåerna i Hallsberg och begränsar flödet genom staden, se figur 4. Eftersom dessa har stor påverkan på förhållandena i Storån så lades de in som strukturer i 1D-modellen. Rörbron under Kvarngatan och järnvägsbron över stambanan i nordöstra Hallsberg lades in som kulvertar. Måtten erhöles från Ralakärrens vattenavledningsföretag 1996 och kontrollerades i fält. Järnvägsbron vid Tisarvägen mättes upp vid ett besök i Hallsberg och representerades av en struktur i modellen. Forsnacken i Nykvarn beskrevs av en dikessektion vars dimensioner erhöles från Ralakärrens vattenavledningsföretag 1996.

4.3.4 Parameteruppsättning

Simuleringstiden ska vara lika lång i 1D- och 2D-modellen, tidssteget kan däremot skilja sig åt. Vattendragsmodellens simuleringstid var således sex timmar och tidssteget sattes till 5 sekunder. Modellen kalibrerades mot flöden och vattennivåer i från mätstationen i Almbro.

Stora och snabba nivå- och flödesskillnader under simuleringen kan orsaka vågor och göra den kopplade modellen instabil. Det kan exempelvis inträffa i början av simuleringen om ett flöde ökas eller startas in i ett vattendrag. För att undvika stabilitetsproblem så användes *hot-*

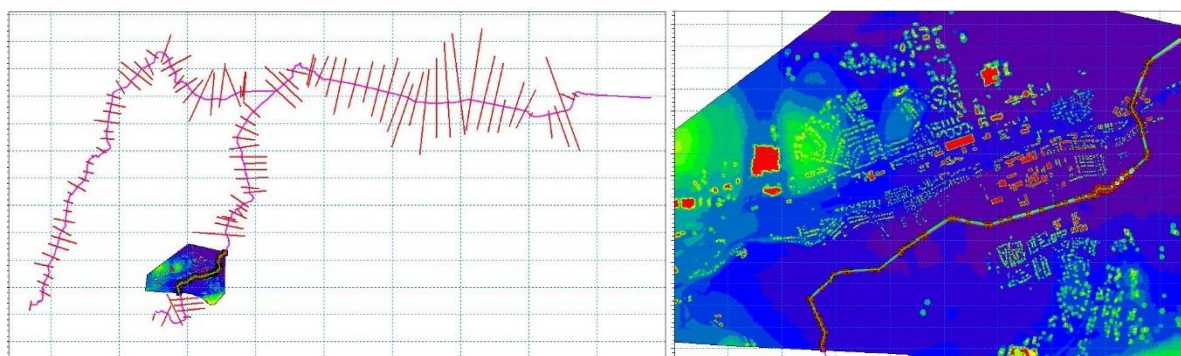
start i 1D-modellen i form av en resultatfil från en tidigare körning som beskrev de initiala förhållandena. Således var vattendraget fyllt med vatten med en hastighet när simuleringen startades. Deltaparametern i Mike 11 ökades även till 0,85 för att förbättra stabiliteten.

4.4 KOPPLING I MIKE FLOOD

2D-modellen och 1D-modellen kopplades samman i programmet Mike Flood. Kopplingen gjordes med länkar där modellerna överlappade varandra. Tidssteget hämtas i 2D-modellen och var således 3 s. Beräkningstiden för de kopplade modellerna påverkas i första hand av 2D-modellen.

4.4.1 Generering av länkar

När modellerna laddades in i Mike Flood hittade programmet automatiskt deras lägen i förhållande till varandra, figur 16. Där modellerna överlappade varandra tilläts vatten flöda mellan modellerna via länkar som skapades i programmet. För detta användes laterala länkar vilket rekommenderas av DHI (2016b) vid översvänningsmodellering av vattendrag. Laterala länkar beskrivs av strukturekvationer och fungerar som vallar över vilka vattnet kan röra sig mellan modellerna. De laterala länkarna placerades längs med Storåns vänstra och högra flodbank i 1D-modellen, figur 16.



Figur 16. Vänster: De kopplade modellernas placering och förhållande till varandra, Höger: Närbild på länkarna längs med Storåns sidor

Samma inställningar användes för båda länkarna. Flödet över länken beräknades med *Weir formula 1* och Mannings tal 20. Höjden på Storåns kanter hämtades från 2D-modellen, eftersom den hade bättre upplösning. I Mike 11 interpoleras höjderna mellan tvärsektionerna fram och eftersom tvärsektionerna i Storån låg med relativt stort mellanrum gav interpolationen en relativt grov uppskattning av höjden i området i jämförelse med 2D-modellens höjddata.

För att få en noga beskrivning av vattenflödet mellan modellerna inkluderades länkarnas placering i beräkningsnätet. Programmet lokaliserar de nätmaskor i 2D-modellens beräkningsnät som ligger närmast länkarna. Området mellan länkarna blockerades ur nätet för att undvika överlappning av modellerna, detta är beskrivet mer ingående i avsnitt 4.2.5.

4.5 KALIBRERING

Den kopplade modellen kalibrerades främst genom justeringar av Mannings tal i 2D-modellen. Översvämningsutbredningen jämfördes med beskrivningen av översvämmade ytor som delgetts av Hallsbergs kommun. Eftersom översvämnningen inte var möjlig att simulera så användes 100-årsscenariot för kalibreringen.

De tidiga simuleringarna visade att vattnet rann undan snabbt och spreds ut mycket. Därför halverades Mannings tal i 2D-modellen vilket saktade ned flödet och gav en något mindre utbredning med större vattendjup, dessa värden användes sedan i den slutgiltiga simuleringen, tabell 9. Troligtvis var friktionsförlusterna stora i 2D-modellen på grund av trottoarkanter, grästuvor, gropar och liknande ojämnheter som var för små för att vara återgivna i höjdmodellen. Efter några körningar sänktes även Mannings tal till 5 längs med den norra och östra gränsen i modellområdet. Det gjordes för att dämpa instabilitet som uppkom längs med gränserna, se avsnitt 4.2.6 Randvillkor. Justeringen gjordes i ett snävt område som i bredd innefattade ca 2-3 rasterceller, vilket motsvarar 4-6 m i verkligheten. En ny dfs2-fil skapades med de uppdaterade värdena som lades in i modellen och användes vid de sista simuleringarna, appendix A figur 2.

Tabell 9. Mannings tal som användes för olika markanvändning i modellen efter kalibreringen, den uppdaterade dfs2-filen finns i appendix A figur 2.

Markyta	Manningstal
Hustak	42,5
Industri	37,5
Tät bebyggelse	30
Bebyggelse	27,5
Gles bebyggelse	17,5
Järnvägsspåret	25
Vatten	20
Åker/Gräs	15
Skog	10
Norra och östra gränsen	5

Trots att Mannings tal sänktes så var vattendjupen i centrala Hallsberg låga i jämförelse med vattendjupen som uppskattats från sociala medier. Det kunde delvis härledas till att en dämmande struktur saknades i 1D-modellen vid Tisarvägen i Storån, figur 4. Strukturen lades därmed till varpå vattennivån höjdes något i centrala Hallsberg.

I det inledande arbetet gjordes antagandet att allt regn som föll över rullstensåsen infiltrerade i marken. Detta genererade dock låga vattendjup och ändrades därför efter några körningar. Rullstensåsen överlagras av bostadsområden och mycket hårdgjorda ytor vilket troligen hämmar vattnets infiltration. I den slutgiltiga simuleringen antogs inget vatten infiltrera vid åsen, alltså antogs samma antagande som för det övriga området.

Beräkningsnätet uppdaterades under arbetets gång och olika varianter undersöktes. Ett fyrkantigt nät testades i Rösättersbäcken då det eventuellt hade beskrivit flödet noggrannare.

Det resulterade dock i att modellen hängde sig vilket kan ha berott på att vinklarna i beräkningsnätet blev för små eller att övergången mellan det triangulära och det kvadratiska nätet inte var tillräckligt mjuk. Slutligen användes därför ett triangulärt nät i hela modellområdet med en fin upplösning (min 4x4 m) runt vattendragen för att återge flödet.

Flera körningar gjordes med olika värden för parametrarna översvämning och torka. En sänkning av parametrarna gav en större översvämningsutbredning eftersom fler celler klassificerades som våta och vattnet rann snabbare när torrdjupet, översvämningsdjupet och våtdjupet sänktes. Eftersom översvämningsutbredningen var stor i de första körningarna så kan det därför verka orimligt att sänka dessa parametrar. Men en sänkning gav bättre stabilitet i beräkningarna vilket var nödvändigt för att simuleringen med den kopplade modellen skulle fungera. Parametrarna sänktes därför så mycket som det var möjligt utan att beräkningstiderna blev för långa och den stora översvämningsutbredningen kompenserades för genom sänkningen av Mannings tal.

4.6 KARTLÄGGNING MED BILDER OCH FILMER FRÅN SOCIALA MEDIER

Vattendjup på olika platser i Hallsberg under översvämningen 2015 uppskattades från bilder och filmer som hämtades manuellt på sociala medier. Vattendjupen sammanställdes i ArcGIS och användes för att skapa en översvämningskarta. Noggrannheten med vilken djupen uppskattades antas understiga 0,1 m och därför har områden med vattendjup under 0,1 m klassats som torra.

4.6.1 Extraktion av bilder och filmer

Bilder och filmer hämtades från Facebook, Instagram, Twitter och Youtube. Sökningar gjordes även på Flickr och på Openstreetmap men det genererade inga träffar. Endast information som lagts upp av privatpersoner användes, inlägg från tidningar och nyhetskanaler valdes bort. Inläggen begränsades även i tiden för att säkerställa att de kom från rätt händelse. Översvämningen var påtaglig den 6 september och från det datumet fanns även mest inlägg. Således användes enbart inlägg som var uppladdade den 6 september eller sådana där det tydligt stod i beskrivningen att de var tagna den 6 september.

Inläggen hittades genom manuella sökningar på hemsidorna. Vissa nyckelord användes, däribland Hallsberg, översvämning, översvämningsydnrärke och översvämningsnärke. Samtliga sökord testades även då bokstäverna å och ä byttes ut mot a och ö byttes mot o. Sökningar gjordes även på engelskans ord flood. Kombinationen av Hallsberg och översvämning gav flest träffar och inlägg som var enkla att sälla bland. Sökningar gjordes även på enbart ordet översvämning vilket gav ytterligare träffar, för att hitta rätt bilder söktes då inlägg upp som var upplagda samma vecka som översvämningen. Sökningar på enbart Hallsberg genererade så många inlägg att det inte var effektivt att sälla ut inläggen från rätt datum.

Inläggen sorterades efter hur enkelt det vara att utreda vilken plats de var från, samt hur bra det gick att uppskatta vattenytan från dem. Endast bilder och filmer där plats och vattennivån tydligt gick att urskilja användes.

4.6.2 Uppskattning av vattendjup

Platsen som bilderna/filmerna var tagna på var i vissa fall angivna i bildtexten, men de flesta inläggen och samtliga filmer saknade detta. I de fallen identifierades platserna med hjälp av Google Street View. Vid vistelsen i Hallsberg i början av studien besöktes några av områdena som var översvämmade i september, vilket var till stor hjälp när vattendjupen analyserades.

Vattendjupet uppskattades genom visuell inspektion av bilderna och filmerna. Djupet gick att uppskatta genom referensobjekt med någorlunda känd höjd i bilderna/filmerna. Några exempel på objekt som användes var bilar, bildäck, skyltar, elskåp, bänkar, studsmattor, trottoarkanter, avståndet till fönsterkarmen på husväggar och människor som gick i vattnet. Vissa av bilderna men framför allt filmerna kunde användas till att uppskatta vattendjupet på flera platser.

Vattendjupet ändrades under översvämningens förlopp och några av bilderna/filmerna som var från samma platser visade olika vattennivåer. I sådana fall användes bilden med högst vattennivå eftersom det främst var maxnivåerna som studerades. Det är trots detta mycket möjligt att vattennivåerna som uppskattades på platserna förekom under olika tider och stadier under översvämningens förlopp. Tyvärr fanns ingen information på de sociala medierna om vilket klockslag som bilderna och filmerna var tagna på.

4.6.3 Generering av översvämningskarta

När vattendjupet på en viss plats uppskattats så ritades en punkt ut på platsen i GIS, vattendjupet lades sedan in i shapefilens attributtabell. Därefter användes verktyget *Extract values to points* för att addera marknivåer från höjdmodellen till vattendjupet i punkterna.

Ett raster över vattennivåerna skapades därefter genom interpolering av punkterna med IDW-metoden, det vill säga interpolering med invers distans. Det innebär att nivåer i punkter som ligger nära varandra antas vara mer lika än nivåer i punkter som ligger långt ifrån varandra (ESRI, 2007). Vid interpolation i en punkt viktas därvid värden som ligger nära högre än värden längre bort. Slutligen subtraherades höjdmodellen från rastret med vattennivåerna, vilket resulterade i ett raster med vattendjupen i centrala Hallsberg.

5 RESULTAT

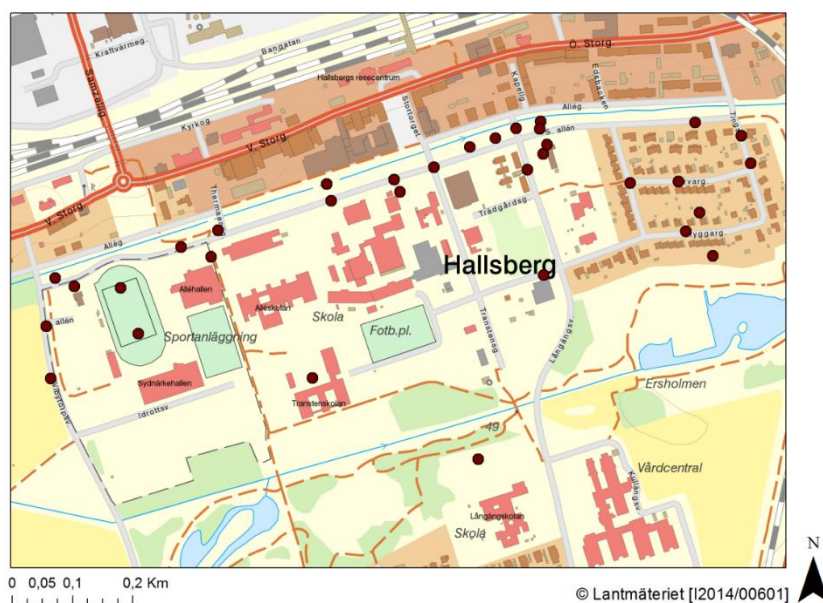
5.1 INFORMATION FRÅN SOCIALA MEDIER

På sociala medier hittades tillräckligt med information så att översvämningen kunde kartläggas i ett mindre område. De flesta bilderna som användes var ifrån centrala Hallsberg som drabbades värst av översvämningen. Det fanns även bilder och filmer från andra platser som villaträdgårdar, åkrar osv. men platserna dessa var tagna på kunde tyvärr inte identifieras. Geotaggade bilder eller assistans från någon med bättre lokalkännedom hade varit till stor hjälp för att identifiera platserna. I studien begränsades bilderna och filmerna som var möjliga att använda till de där platsen kunde identifieras efter besöket i Hallsberg eller genom Street View i Google maps.

Totalt användes 19 bilder och 5 filmer, tabell 10. Vattendjupet uppskattades i 32 punkter, figur 17, varav 14 stycken hämtades från filmer på Youtube. Det motsvarar nästintill hälften av alla vattendjup som användes och beror på att filmerna täckte stora områden, att objekt kunde ses från olika vinklar och att det gick att uppfatta rörelse i vattnet. Två av filmerna var tagna med drönare vilket gav en mycket bra överblick. Många av vattendjupen som uppskattades låg nära Rösättersbäcken.

Tabell 10. Antal bilder och filmer som hämtades från olika sociala plattformar.

	Facebook	Instagram	Twitter	Youtube	Tot. antal
Antal bilder	8	10	1	-	19
Antal filmer	-	2	-	3	5



Figur 17. Platser med vattendjup hämtade från sociala medier

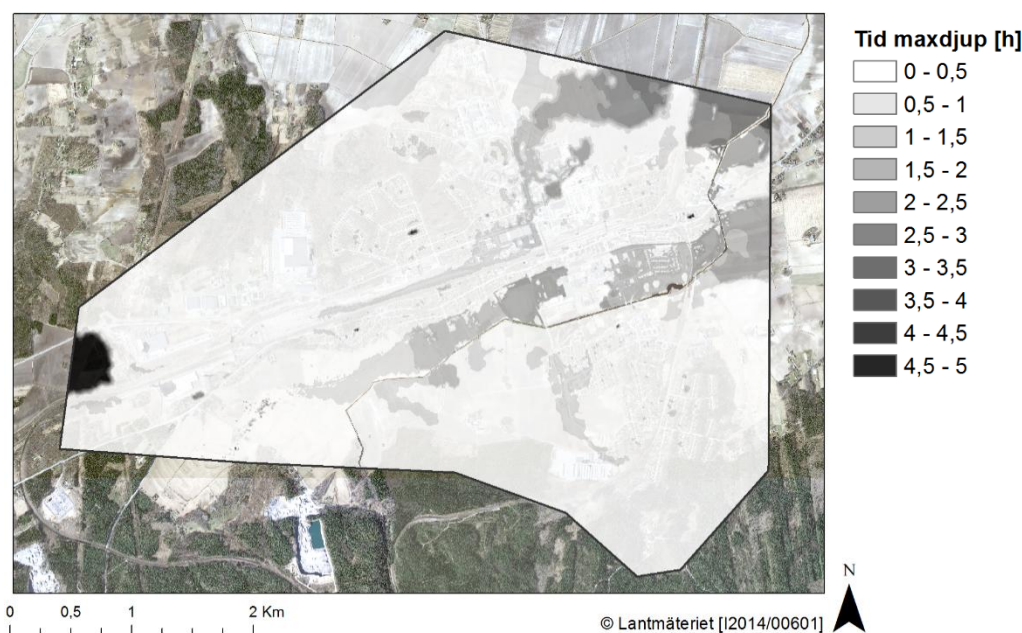
5.2 JÄMFÖRESLE AV VATTENDJUP MED METODERNA

Maxdjupen som inträffade vid scenarierna som modellerades jämfördes med kartläggningen som skapades med information från sociala medier.

5.2.1 Hydrauliska modelleringen

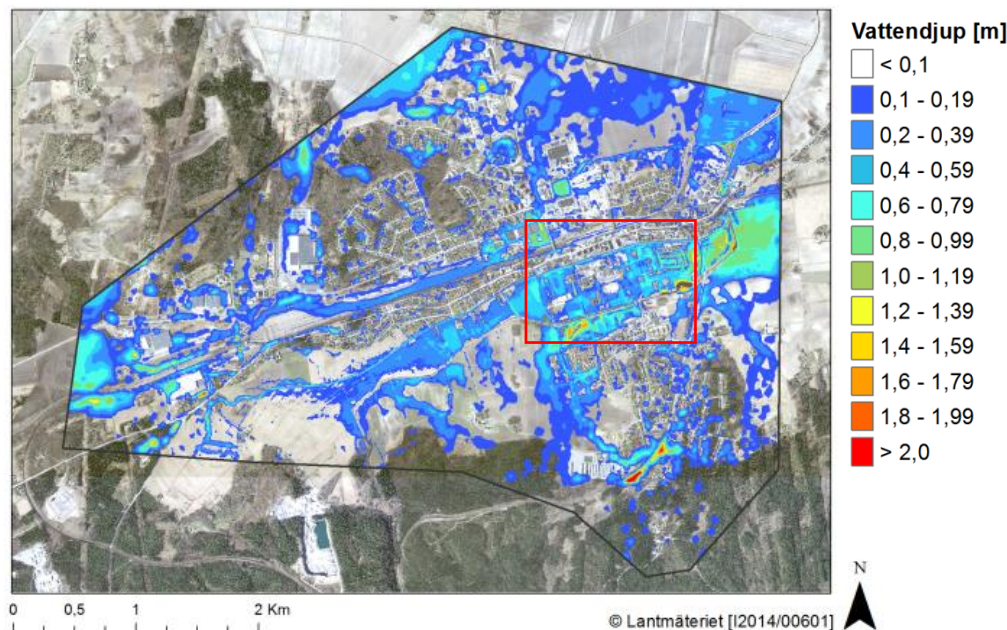
Utöver vattenutbredning och djup så gav simuleringarna information om flödesvägar över marken och i vattendrag i Hallsberg. De kritiska faktorerna som bidrog vid översvämningar kunde identifieras och analyseras. En stor del av vattnet i centrum härstammade från Rösättersbäcken som breddade in i Storån. Storån översvämmades nordöst om centrum, möjligtvis till följd av de trånga passagerna och forsnacken. Den största orsaken till att området mellan åarna svämmade över var höga flöden i vattendragen. Regnet bidrog till att höja vattennivåerna i åarna ytterligare och genererade översvämmade ytor i andra delar av Hallsberg såsom jordbruksmarkerna i nordöst och det norra bostadsområdet. Simuleringarna visade även att regnvatten rann in i staden från den södra förkastningsbranten.

Tiden till att maxnivåerna uppnåddes var mycket lika i 100- och 200-årsscenariot. I stora delar av modellområdet inträffade maxnivåerna inom 30 minuter från regnets början, figur 18. I områden där avrinningen hade en större påverkan kom maxnivåerna med en viss fördröjning. I villaområdet i östra Hallsberg inträffade maxnivåerna ca 1 timme och 20 minuter efter regnets början. Vid överledningsdiket och idrottsanläggningen i västra Hallsberg inträffade maxnivåerna 1 timme och 40 minuter efter regnets början. I södra modellområdet fanns ett stråk i vilket maxnivåerna inträffade ca 1 timme och 30 minuter efter regnets början, vilket troligen orsakades av regnvattnet som rann in från förkastningsbranten. Tiden till maxdjup översteg endast den simulerade tiden i ett mindre område vid den västra modellgränsen.

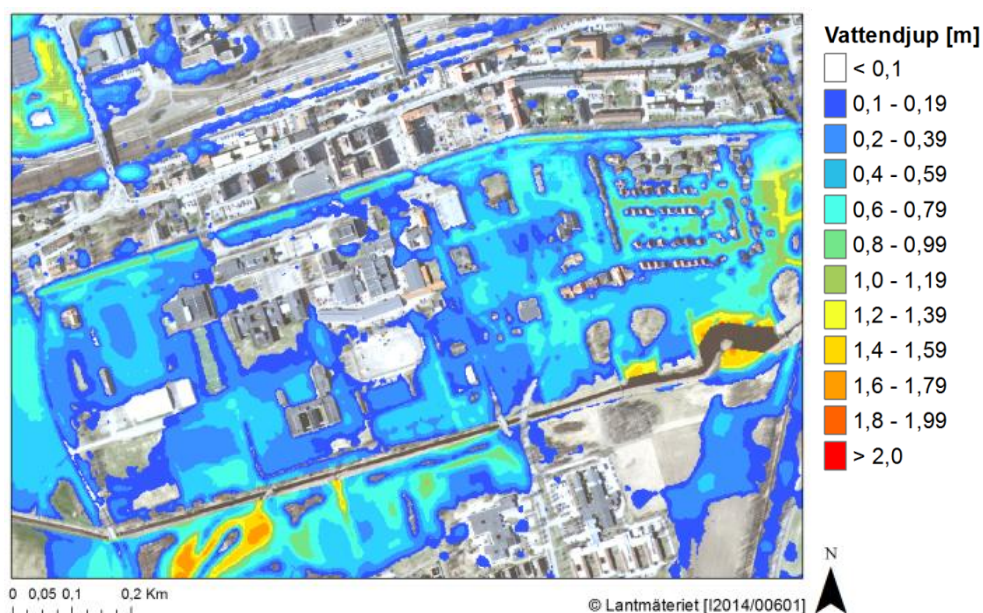


Figur 18. Tid till maxdjup i timmar från skyfallets början för 100-årsscenariot, tiden för 200-årsscenariot var mycket lik, appendix B figur 3.

De maximala vattendjupen som uppnåddes under 100-årsscenariot varierade mellan 0,1 och ca 1,3 m, utöver några få sänkor där djupet översteg 2 m, figur 19. Öster och nordöst om centrum var jordbruksmarker översvämmade. Delar av bostadsområdet och industriområdet i norra Hallsberg täcktes även av vatten. I södra Hallsberg ansamlades vatten vid järnvägsspåret som dämde upp vattennivåerna något. Området mellan Storån och Rösättersbäcken var nästintill helt översvämmat. I det östra villaområdet var vattendjupet som mest ca 1,15 m och på idrottsanläggningen var det ca 0,5 m, figur 20.

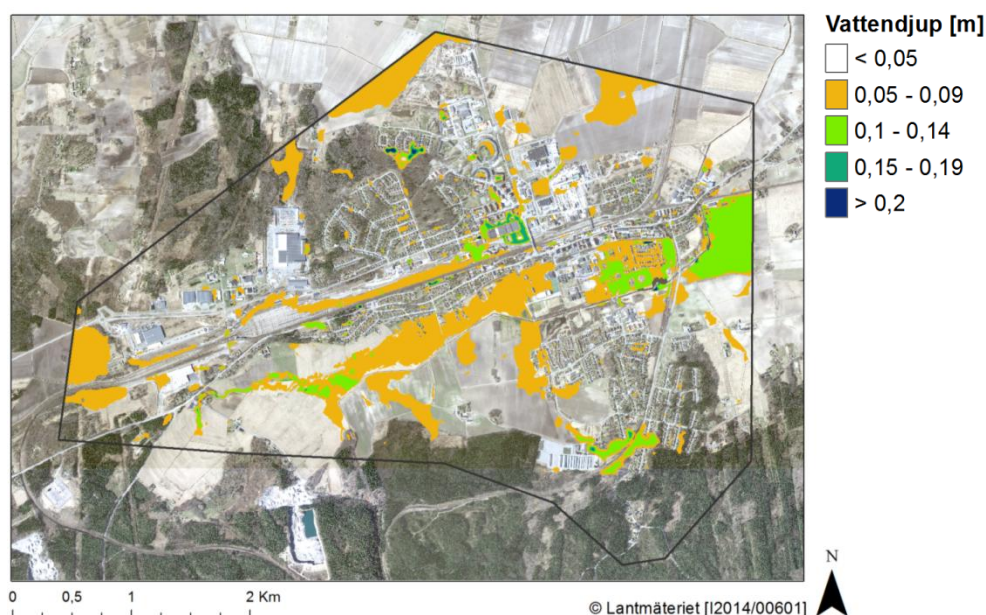


Figur 19. Översvämmade områden samt vattendjup från 100-årsscenariot, området i centrala Hallsberg som ligger mellan Rösättersbäcken och Storån är markerat i rött, figur 19.



Figur 20. Vattendjup mellan Rösättersbäcken och Storån i centrala Hallsberg från 100-årsscenariot.

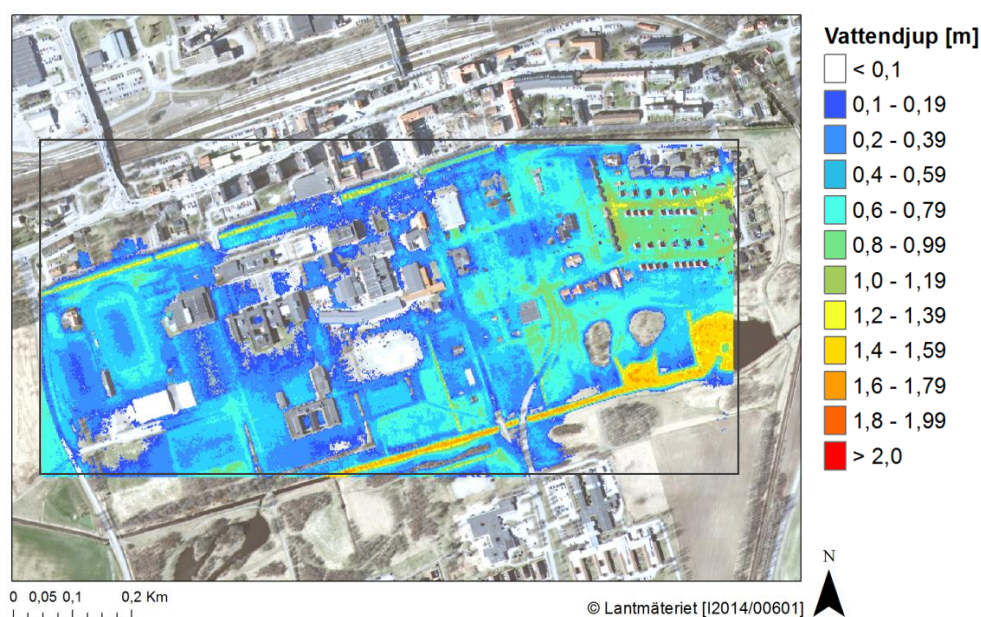
Vattenutbredningen och djupen vid simulering av 200-årsscenariot var något större än de som förelåg under 100-årsscenariot, vattennivåerna ökade som med högst med drygt 0,2 m, appendix B figur 4-5. För att illustrera skillnaden subtraherades vattenutbredningen och djupen i 100-årsscenariot från de i 200-årsscenariot, figur 21.



Figur 21. Ökningen av vattenutbredningen och djupen vid simulering av 200-årsscenariot i jämförelse med 100-årsscenariot.

5.2.2 Kartläggning med information från sociala medier

Kartläggningen som skapades med information från sociala medier innefattade området mellan Rösättersbäcken och Storån i centrala Hallsberg, figur 22. Vattendjupet på översvämmade ytor i området varierade mellan 0,1 och 1,2 m. I det östra villaområdet var den maximala vattennivån ca 1,2 m och på idrottsanläggningen var vattendjupet ca 0,3-0,6 m.



Figur 22. Kartläggning av översvämningen 2015 med bilder/filmer från sociala medier. Den svarta inramningen visar området där vattennivåerna uppskattades.

5.2.3 Jämförelse av vattendjup

Med den hydrauliska modellen var det möjligt att kartlägga ett större område än vad som gick med informationen från de sociala medierna. Vattenutbredningen och djupet jämfördes i området där kartorna som skapades överlappade varandra genom att subtrahera vattendjupen som simulerades med modellen från vattendjupen som tagits fram med bilder/filmer från sociala medier. När differensen var skild från noll med 0.05 m eller mindre ansågs vattendjupen som uppskattats med de två metoderna stämma överens.

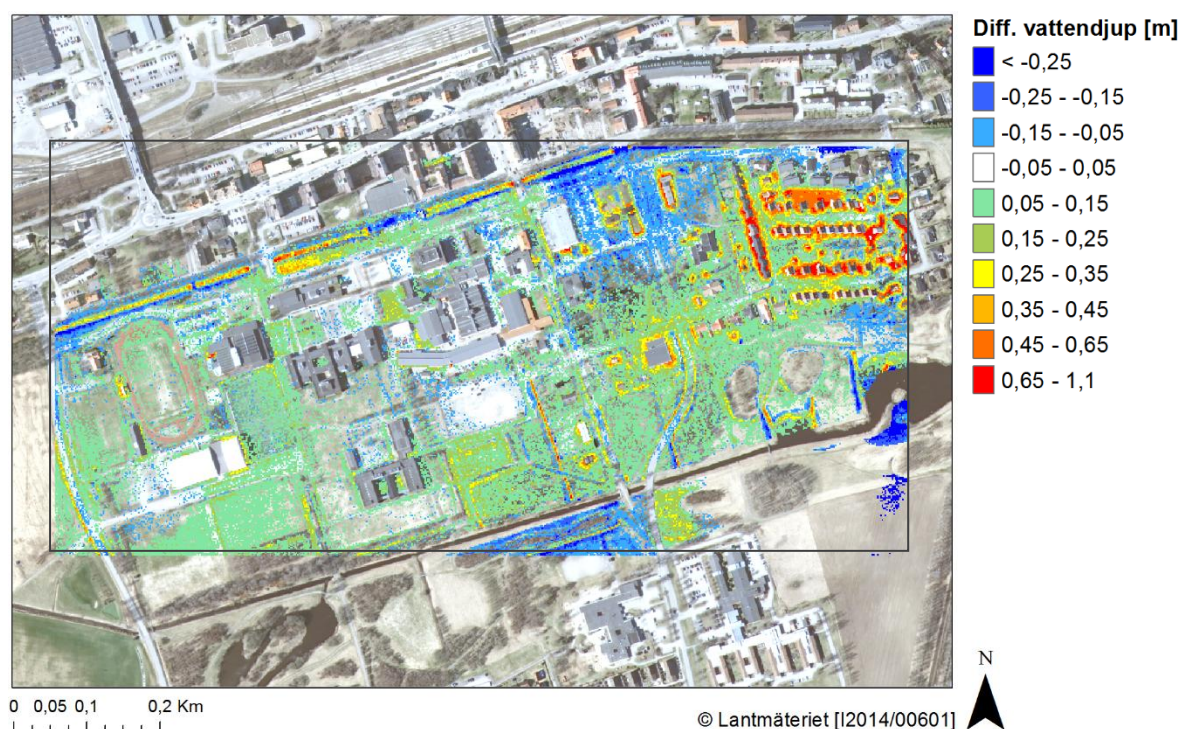
Vattenutbredningen var mycket lika för de två metoderna men vattendjupen skilde sig åt i de översvämmade områdena. Vattendjupet som uppskattats från sociala medier var större än de modellerade vattendjupet i stora delar av området. De största skillnaderna uppkom i det östra villaområdet där vattennivåerna i kartan som skattats med sociala medier visar större vattendjup. I några områden, främst i det översvämmade områdets gränser, var dock uppskattningen av nivåerna lägre än de modellerade.

Vid en jämförelse med 100-årsscenarioet var vattendjupet från sociala medier 0,05-0,35 m högre i stora delar av de översvämmade områdena. I det östra villaområdet steg vattennivåskillnaden upp till 1,1 m och nivåerna underskattades i närheten av områden som inte översvämmades, figur 23.

Vid en jämförelse med 200-årsscenarioet var vattendjupen som simulerades mer lika vattendjupen som uppskattades från sociala medier. Vattendjupen från sociala medier var dock något större i stora delar av området. Vattennivåerna som uppskattats med information från sociala medier var mellan -0,15 och 0,15 m ifrån det modellerade djupet i stora delar av området. I det östra villaområdet var dock skillnaden i vattennivåer upp till 1,1 m, figur 24.



Figur 23. Vattendjupet som simulerades med 100-årsscenarioet subtraherades från djupen uppskattade med information från sociala medier. Vattendjupet som hämtades från sociala medier är större än det simulerade i stora delar av området. I ofärgade områden i figuren var vattennivåskillnaden mellan metoderna 0,1 m eller mindre vilket ansågs som att vattendjupen stämde överens.



Figur 24. Vattendjupet som simulerades med 200-årsscenarioet subtraherades från djupen uppskattade med information från sociala medier. Vattendjupet som hämtades från sociala medier är större än det simulerade i stora delar av området, skillnaden var dock mindre än den för 100-årsscenarioet. I ofärgade områden i figuren var vattennivåskillnaden mellan metoderna 0,1 m eller mindre vilket ansågs som att vattendjupen stämde överens.

6 DISKUSSION

6.1 TILLÄMPNING AV INFORMATION FRÅN SOCIALA MEDIER VID ÖVERSVÄMNINGSMODELLERING

Informationen från sociala medier var värdefull under modelleringen och kunde utnyttjas vid flera steg i modelleringsprocessen. I början av arbetet användes bilder och filmer för att få en uppfattning om vilka områden som var översvämningskänsliga. Detta utnyttjades både för att bestämma vilka områden som skulle inkluderas i modellen och för hur upplösningen i beräkningsnätet skulle fördelas.

Informationen från sociala medier kunde även användas för att förbättra den hydrauliska modellen. Efter de första simuleringarna konstaterades det att de modellerade vattendjupen i centrala Hallsberg var låga vilket kunde härledas till att den begränsande strukturen vid Tisarvägen i Storån inte var inlagd i den ursprungliga modelluppsättningen. När strukturen lades till blev vattendjupen i centrala Hallsberg högre, det är möjligt att det inte hade upptäckts om informationen från sociala medier saknats. Utöver detta så användes inte vattennivåerna för att kalibrera modellen eftersom vattennivåerna som genererats med de två metoderna skulle jämföras. Vattendjupen som uppskattades hade dock troligtvis kunnat användas för att kalibrera parametrar som Mannings tal i den hydrauliska modellen noggrannare.

Uppskattningen av vattendjupet som gjordes med sociala medier var en tillgång för att bedöma om den hydrauliska modelleringens resultat var rimliga. I likhet med tidigare studier som tillämpat information från sociala medier för översvämningskartering (Fohringer *et al.*, 2015; Schnebele och Cervone, 2013) så kan det konstateras att informationen kompletterade tillgänglig data och tillförde ny information. Exempelvis saknades mätningar av vattendjup på markytor i vattentäckta områden från översvämningen 2015. Uppgifter från allmänheten hade även kunnat samlas in via frågeformulär eller intervjuer med lokalbefolkningen. Detta hade sannolikt tagit längre tid att genomföra men hade i det här fallet kunnat ge vattendjupet på flera platser än vad som var möjligt med informationen från de sociala medierna.

6.2 HYDRAULISK MODELLERING

Vattenutbredningen som erhöles med den hydrauliska modellen liknade översvämningen som inträffade i september 2015, figur 6. Området mellan Rösättersbäcken och Ralaån i centrala Hallsberg var översvämmade, liksom det nordöstra jordbruksområdet och bostadsområden söder om rullstensåsen, figur 19-21. Vatten rinner även in från förkastningsbranten likt det som beskrevs av Hallsbergs kommun.

Avsaknaden av detaljerad information om översvämningsens utbredning och djup över markytor innebär dock att en exakt uppskattning av likheten med översvämningen 2015 inte kunnat göras. För att undersöka modellens noggrannhet samt kalibrera modellen grundligare hade det varit fördelaktigt att simulera förhållandena som förelåg under översvämningen 2015. Detta var inte möjligt eftersom det hade krävt betydligt längre beräkningstider och dessvärre fanns inte tid för det i denna studie. Svårigheten med att kalibrera ytflöden är

möjligen en begränsning med att använda hydrauliska modeller för översvämningskartering. Utöver detta finns det även andra osäkerheter i modellen som påverkar resultatet.

När modellen byggdes gjordes ständigt avvägningar mellan beräkningstiden, noggrannheten och stabiliteten. På grund av det modellerade områdets stora area fick flera inställningar användas som sänkte beräkningstiden men även resultatens kvalitet och pålitlighet. En finare upplösning av beräkningsnätet i tätorten hade sannolikt gett ett noggrannare resultat. Flödesberäkningarnas noggrannhet hade förbättrats om ett mindre tidssteg använts samt om en hög ordning valts för tidsintegrationen och rumsdiskretiseringen. Men eftersom en förbättring av dessa inställningar förlängde beräkningstiden många gånger om var det inte möjligt att använda de optimala inställningarna. För att erhålla noggrannare beräkningar och resultat hade området kunnat delas i två delar som modellerats var för sig. Detta hade dock sannolikt tagit längre tid att genomföra. Det är även möjligt att en finare upplösning kunnat användas om en dator med högre prestanda använts.

När 1D- och 2D-modellen kopplades samman uppstod instabilitet i beräkningar som inte fanns när modellerna kördes var för sig. Modellerna blir således känsligare när de kopplas samman. Det är viktigt att beräkningarna är stabila för att modellen ska fungera. I första hand ska vanligen beräkningstekniken justeras för att förbättra stabiliteten, men för att få den kopplade modellen stabil krävdes justering av andra parametrar i modellen. Mannings tal sänktes längs de norra och nordöstra gränserna för att minska instabilitet som uppkom till följd av de öppna gränserna. Detta kan påverka vattendjupen nära kanterna och bör finnas i åtanke när resultatet tolkas. Vattendjupet nära dessa gränser är således mycket osäkert.

Osäkerheter i modellen kommer även av antaganden och förenklingar som gjorts. Regnet som användes var ett homogent typregn och ett verkligt regn varierar i högre grad i tid och rum. Ett schablonmässigt avdrag gjordes för vatten som ryms i avloppssystemet, vilket motiverades med att ledningarna fylls fort vid skyfall och att vattenvolymen som ryms i systemet är liten i förhållande till ytavrinningen. Uppgifter om vilket regn som systemets designats för saknades och fick därför uppskattas. I verkligheten kan avloppssystemets kapacitet variera för olika områden och påverkas av faktorer som inträngande markvatten, backflöden och föremål som hindrar vattenflödet. Vatten som går in i avloppsledningarna på en plats kan även transporteras i rören och skapa översvämningsar i andra områden. Detta för med sig att översvämmade ytor kan underskattas och överskattas i olika områden i modellen i jämförelse med verkligheten. Förenklingar gjordes även av strukturer i vattendragen, små strukturer togs bort helt genom justeringar i höjdmodellen. Söder om Hallsberg centrum finns en punkt längs med järnvägsspåret där vatten ackumuleras och vattendjupet är stort. I verkligheten finns förmodligen en kulvert under järnvägen detta område som inte är med i 2D-modellen, på grund av tidsbrist så kunde det inte åtgärdas när det upptäcktes.

Antaganden gjordes även om randvillkoren längs med modellens gränser. Vattenhastigheterna som valdes längs den norra och nordöstra gränsen påverkade hur snabbt vattnet transporterades över gränserna. En för snabb hastighet transporterar bort för mycket vatten medan en för långsam dämmer upp vattenflödet och sprider ut det längs gränsen. Hastigheterna valdes genom att göra upprepade försök där olika hastigheter testades.

Randvillkoren hade eventuellt kunnat formuleras som konstanta vattennivåer istället för hastigheter. Det valdes dock bort eftersom vattenytan böjs av om vattennivån nära gränsen är högre än den definierade i randvillkoret. Den västra gränsen i modellen är stängd vilket innebär att vattnet hindras från rinna ut ur modellområdet där. Längs med gränsen ackumuleras vatten allteftersom simuleringen går, detta åskådliggörs av tiden då maxnivåerna inträffar 5 timmar efter regnet vid simuleringens slut i området, figur 18. Genom att definiera ett öppet randvillkor längs den västra gränsen så hade detta kunnat avhjälpas. Eftersom det är en relativt liten volym vatten som ansamlas i dessa områden tros det inte ha en väsentlig effekt på vattenutbredningen och djupen i övrigt.

Rösättersbäckens dimensioner brändes inte ned i höjdmodellen annat än för att justera för kulvertar och broar. Det innebär att vattendragets botten i modellen är detsamma som vattenytans höjd när laserscanningen av området utfördes. Således kan dess dimensioner och kapacitet vara något underskattade. Detta påverkar inte de mindre vattendragen, som inte har ett inflöde och bara påverkas av nederbörden, i lika stor utsträckning. I dessa vattendrag innebär förenklingen att regnet faller på en befintlig vattenyta som är lika hög som den som förelåg vid laserscanningen. När en översvämning inträffar är det möjligt att vattennivåerna skiljer sig från de som använts initialt i modellen, exempelvis kan fördröjningsmagasinen vara fullare. Samma initialvillkor användes för 100-årsscenarioet som för 200-årsscenarioet, om initialvillkoret hade anpassats efter flödena i vattendragen under 200-årsscenarioet så är det möjligt att vattennivåerna hade blivit något högre vid simuleringen.

Simuleringstiden sex timmar valdes för att begränsa beräkningstiden. Tiden var tillräcklig för att ytvattnet skulle börja rinna undan men allt regnvatten hann inte rinna undan till vattendragen innan simuleringen var slut. Detta upptäcktes efter några körningar och berodde förmodligen på att vattnet rann långsammare över marken än 0,5 m/s som antagits när simuleringstiden valdes. Eftersom de maximala vattennivåerna uppnåddes under simuleringstiden (figur 18) så förlängdes den inte. Risker med beslutet är att flödestoppar som orsakas av ytavrinningen och inträffar med en viss fördröjning kan missas. Men med tanke på att vattnet fördröjdes på mycket få ställen i området ansågs det inte vara sannolikt att två toppar skulle inträffa i det här fallet.

6.3 KARTLÄGGNING MED INFORMATION FRÅN SOCIALA MEDIER

På sociala medier återfanns bilder och filmer där vattendjup och plats gick att identifiera från översvämningen 2015 i Hallsberg. Vattendjupet gick att uppskatta i tillräckligt många punkter för att översvämningen skulle kunna kartläggas i centrala tätorten, figur 22. Översvämningens utbredning var mycket lik de som simulerats med den hydrauliska modellen men kartläggningen täckte ett mindre område.

Noggrannheten som vattendjupet identifierades med var beroende av bildernas kvalité och vilket referensobjekt som användes. Eftersom det gjordes manuellt är det påverkat av subjektivitet. Identifiering av vattendjup med automatisk bildanalys eller liknande hade varit ett alternativ för att kringgå detta. Det vore intressant att göra en liknande analys över Hallsberg med automatisk bildanalys av samma bilder och jämföra resultaten.

Resultatet påverkas av interpolationsmetoden och antalet punkter med vattendjupsdata. Ju fler punkter desto säkrare är interpoleringen. I gränserna av det kartlagda området är vattennivåerna negativa vilket kan vara en följd av att interpoleringen är osäkrare där eftersom avståndet till andra punkter är längre. Eftersom de flesta punkterna ligger nära Rösättersbäcken och mycket färre punkter ligger längre söderut (figur 17) så är även interpoleringen av vattendjup mer osäker där. Interpolationsmetoden tar inte hänsyn till flödesdynamiken i området eller faktorer som naturliga flödesvägar och markens råhet. Det som skapas är en ögonblicksbild av vattenytan men inte hur den rör sig.

På Facebook, Youtube och Twitter fanns datumet som bilderna och filmerna var uppladdade, på Instagram gick det endast att se i vilken vecka som bilderna laddats upp. Bilder från Instagram användes trots detta för att tillgången till data annars hade varit för liten. Det innebär dock att informationen från de andra sociala plattformarna kan vara mer pålitliga. I samtliga sociala forum saknades information om i vilket klockslag som bilderna/filmerna var tagna eller upplagda. Vattennivån ändrades relativt fort och vissa bilder/filmer från samma område återgav olika vattendjup. Därmed är det möjligt att några av vattennivåerna som uppskattats i punkterna är från olika klockslag och stadier under översvämningen. Det är även möjligt att alla nivåer som uppskattats inte motsvarar maxnivåerna som inträffade.

6.4 JÄMFÖRELSE AV METODERNA

Den hydrauliska modellen gav utöver vattenutbredning och djup även information om översvämningens förlopp och karaktär. Modellen kunde även användas för att utreda översvämningsskydd och undersöka scenarier som ännu inte inträffat. Kartläggningen med bilder från sociala medier visade endast vattenutbredning och vattendjup under ett event som redan inträffat. Men kartläggningen gick betydligt snabbare att göra än modelleringen. En kartläggning med information från sociala medier kan genomföras på några dagar, beroende på tillgång till information och dess kvalitet. Söktiden och tiden det tar att analysera vattendjupet kan kortas ned ytterligare om program för dataextraktion och automatisk bildanalys kan användas. En hydraulisk modell är mer komplicerad att göra och kan ta veckor att sammanställa och köra. Används kopplade modeller kan tiden ökas med det dubbla eller tredubbla. Således kan metoderna användas i olika syften. Kartläggningen med sociala medier var en väldigt bra tillgång både när modellen byggdes och när den validerades.

Upplösningen som användes i modellen och vid kartläggningen med sociala medier skiljde sig åt. I modellen var upplösningen som minst 4x4 m i området där kartorna jämfördes, men vid kartläggningen med sociala medier användes samma upplösning som NNH, 2x2 m. Detta kan ha orsakat vattennivåskillnaderna som uppstod i närheten av byggnaderna när resultaten subtraherades ifrån varandra. Eftersom upplösningen var lägre i modellen så återgavs byggnader trubbigare där varpå områden närmast några av husen var torra i modelleringsresultatet men vattenfyllda i kartläggningen med bilder/filmer. Detta kan förklara de stora vattennivåskillnaderna nära husen i det östra villaområdet.

Vid kartläggningen med information från sociala medier var vattendjupen större över stora delar av markytan i jämförelse med de modellerade vattendjupen, figur 23-24. Med tanke på

metodernas noggrannhet var vattendjupen dock tämligen lika varandra, utöver det som redan diskuterats så kan skillnaden bero på att scenarierna som modellerades skilde sig från det som inträffade i september 2015 samt begränsningar i modellen och skattningarna av vattendjupen från bilderna/filmerna. Vattenutbredningen var dock mycket lika i de två metoderna.

Fohringer *et al.*, (2015) fick liknande resultat vid en jämförelse med vattendjup uppskattade från sociala medier och satellitfoton, de uppskattade vattendjupen var högre än på satellitfotona. Detta är ett intressant resultat och frågan är om det är ett sammanträffande eller om det innebär att det kan ifrågasättas med vilken noggrannhet som vattendjup kan uppskattas från bilder. Det hade varit intressant att jämföra resultaten från den här studien med satellitbilder från översvämningen 2015 för att få en bättre uppfattning om hur väl de stämde överens med verkligheten.

7 SLUTSATS

Analysen av bilder och filmer från sociala medier gav en inledande uppfattning om översvämningsens utbredning och djup i centrala Hallsberg och kunde även användas i slutet av studien för att förbättra modellen. De uppskattade vattendjupen var ett mycket bra komplement till övrig tillgänglig mätdata över vattendjup på markytor. Informationen från sociala medier var således en värdefull in situ källa vid modelleringen av översvämningen i Hallsberg.

Tillgången till bilder och filmer från sociala medier var tillräckligt stor och hade tillräckligt bra kvalité för att det skulle vara möjligt att kartlägga översvämningen i centrala Hallsberg. Området som uppskattades var mindre än det som modellerades med den hydrauliska modellen och begränsades till platser som människor fotograferat eller filmat och som var möjliga att identifiera.

Vattendjupen som togs fram med bilder/filmer från sociala medier var högre än de modellerade vattendjupen i stora delar av området som jämfördes. Det är svårt att dra slutsatser av jämförelsen eftersom skillnaden kan bero på många olika orsaker, en trolig anledning skulle dock kunna vara att scenarierna som modellerades skilde sig från det som inträffade i september 2015. En bättre uppfattning om metodernas noggrannhet hade förmodligen kunnat fås om resultaten jämförts med satellitbilder från översvämningen.

Metoderna som undersöktes kan användas i olika syften. Kartläggningen med information från sociala medier går snabbare att genomföra men ger endast vattendjupet under ett tillfälle. Den hydrauliska modellen har ett bredare användningsområde men tar längre tid att göra. Båda metoderna har dock hög potential att utvecklas och tillämpas inom översvämningskartering i framtiden. Karteringar med sociala medier kompletterar hydrauliska modeller på ett bra sätt och tillför information som kan vara till hjälp vid skapandet samt kalibrerandet av modeller. Hydrauliska modeller kräver att många antaganden och förenklingar av verkligheten görs. Tillgång till mycket information och data är viktigt för att modellen ska bli så verklighetstrogen som möjligt. Med bra tillgång till data kan modellen förbättras och osäkerheter kan minskas.

Det finns otroligt mycket information på sociala plattformar på internet som kan tillämpas inom olika områden. Information om vattenutbredning och djup kan med fördel användas vid hydraulisk modellering av översvämnningar för att förbättra modeller och kontrollera deras kvalité. Metoder för att extrahera och analysera information tidseffektivt är områden som skulle vara intressanta att utforska vidare i framtiden.

8 REFERENSER

- Affärstidningen Näringsliv (2014). *Hallsberg Sveriges starkaste järnvägsknut*. [online] (2014-03). Tillgänglig från: <http://www.naringsliv.se/tidningar/2014-3/orebro/kommuner/hallsberg-sveriges-starkaste-jarnvagsknut/>. [Accessed 2016-04-11].
- Arcement, G. J., Schneider, J. & Schneider, V. R. (1989). *Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains*. USGS. (United States Geological Survey Water-supply Paper; WSP2339).
- Bergdahl, D. (2011). *Översvämningar i Örebro län, En analys av inträffade översvämningar i länets större avrinningsområden*. Örebro: Länsstyrelsen Örebro län. (2011:18).
- Brunner, G. W. (2010). *HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual*. US Army Corps of Engineers. (CPD-69).
- Butler, D. & Davies, J. (2010). *Urban Drainage, Third Edition*. 3. ed London: Taylor and Francis. ISBN 978-0-203-84905-7.
- Dahlström, B. (1979). *Regional fördelning av nederbördsintensitet: en klimatologisk analys*. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning : Sv. byggtjänst (distr.). (Rapport / Byggnadsforskning; 1979:18). ISBN 978-91-540-2986-0.
- Dahlström, B. (2010). *Regnintensitet - en molnfysikalisk betraktelse*. Svenskt Vatten. (2010-5).
- DHI (2016a). *MIKE 21 Flow Model FM, Hydrodynamic module user guide*.
- DHI (2016b). *Mike Flood, 1D-2D Modelling user manual*.
- DHI (2016c). *Mike 11, River and Channel Modelling*.
- DHI (2016d). *Mike - Our products*. [online]. Tillgänglig från: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products>. [Accessed 2016-05-16].
- DHI (2012). *Mike Zero, Mesh Generator step-by-step training guide*.
- ESRI (2007). *ArcGIS Desktop Help 9.2 - How Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation works*. [online] (2007-07-08). Tillgänglig från: [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=How_Inverse_Distance_Weighted_\(IDW\)_interpolation_works](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=How_Inverse_Distance_Weighted_(IDW)_interpolation_works). [Accessed 2016-04-28].
- Fohringer, J., Dransch, D., Kreibich, H. & Schröter, K. (2015). Social media as an information source for rapid flood inundation mapping. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15, pp 2725–2738.
- Gottfridsson, J. (2015). *Översvämning i Hallsbergsområdet i september 2015 - Konsekvenser för växtodlingen*. Hushållningssällskapet, HS konsult AB.
- Hernebring, C. & Mårtensson, E. (2013). *Pluviala översvämningar - Konsekvenser vid skyfall över tätorter*. Göteborg och Lund: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, (MSB567-13). ISBN 978-91-7383-347-9.
- Jeffery, S (2011). *Ushahidi: crowdmapping collective that exposed Kenyan election killings*. [online] (2011-04-07) (The Guardian). Tillgänglig från: <http://www.theguardian.com/news/blog/2011/apr/07/ushahidi-crowdmap-kenya-violence-hague>. [Accessed 2016-05-11].
- Jonsson, M. (2009). *Täljeåns avrinningsområde - Miljösituationen i sjöar och vattendrag*. Örebro: Länsstyrelsen i Örebro län. (2009:31).
- Joyce, K. E., Bellis, S. E., Samsonov, S. V., McNeill, S. J. & Glassey, P. J. (2009). A review of the status of a satellite remote sensing and image processing techniques for mapping natural hazards and disasters. *Progress in Physical Geography*, (33(2)), pp 183–207.
- Lantmäteriet (2015). *Produktbeskrivning: Laserdata*. (Dokumentversion 2.2).

- Länsstyrelsen Örebro län (2016a). *Länsstyrelsen i Örebro län - Hallsberg och Långängen, Vattenskyddsområde för att skydda grundvattentäkten i Hallsberg*. [online]. Tillgänglig från: <http://www.lansstyrelsen.se/orebro/Sv/miljo-och-klimat/vatten-och-vattenanvandning/vattenskydd/skydd-av-dricksvatten/vattenskyddsomrade/hallsberg/hallsberg-och-langangen/Pages/index.aspx>. [Accessed 2016-04-11].
- Länsstyrelsen Örebro län (2016b). *Utredning av översvämning i Hallsberg 5-9 september 2015*. Örebro. (2016:17).
- Melin, M. (2012). *Hallsbergs kommun översiktlig dagvattentredning, Industriområdet Rala III fullt utbyggt*. Örebro: VAP VA-Projekt AB.
- MSB (2015). *Vägledning för utredning om översvämningar*. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, (MSB869). ISBN 978-91-7383-582-4.
- Mårtensson, E. & Gustafsson, L.-G. (2014). *Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet - Framtagande av metodik för utredning på kommunal nivå*. Malmö: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, (MSB694). ISBN 978-91-7383-446-9.
- Nyberg, R. (2010). *GIS-tillämpningar inom översvämningshantering - en forskningsöversikt*. Karlstad: Centrum för klimat och säkerhet, Karlstads Universitet, ISSN 1403-8099, ISBN 978-91-7063-304-1. (2010:2).
- OpenStreetMap (2016). *OpenStreetMap* [online] Tillgänglig från: <https://www.openstreetmap.org/about>. [Accessed 2016-05-12].
- Poser, K., Kreibich, H. & Dransch, D. (2009). *Assessing Volunteered Geographic Information for Rapid Flood Damage Estimation*. Hannover, Germany: Leibniz Universität.
- Postnord AB (2011). *Hallsbergterminalen blir första steget i Postens stora framtidssatsning*. [online] (2011-09). Tillgänglig från: <http://www.postnord.com/sv/media/pressmeddelanden/postnord-sverige/2011/hallsbergterminalen-blir-forsta-steget-i-postens-stora-framtidssatsning/>. [Accessed 2016-04-11].
- Schnebele, E. & Cervone, G. (2013). Improving remote sensing flood assessment using volunteered geographical data. *Natural Hazards and Earth System Science*, 13(3), pp 669–677.
- SMHI (2015a). *SMHI - Hydrologisk lägesbeskrivning*. [online] (6 sep 2015). Tillgänglig från: <http://www.smhi.se/2.153/sakerhet-och-beredskap/hydrologiska-prognoser/2.896/hydrologisk-lagesbeskrivning-1.93533>. [Accessed 2016-02-04].
- SMHI (2015b). *SMHI - September 2015 - Översvämningar i Hallsberg*. [online] (8 okt 2015). Tillgänglig från: <http://www.smhi.se/klimat/manadens-vader-och-vatten/sverige/laget-i-sveriges-sjoar-och-vattendrag/september-2015-oversvamningar-i-hallsberg-1.93422>. [Accessed 2016-02-05].
- SMHI (2015). *Skyfallsuppdraget - ett regeringsuppdrag till SMHI*. (Klimatologi Nr 37). ISSN 1654-2258.
- Sommer, T., Karpf, C., Haase, D., Weichel, T., Peetz, J. V., Steckel, B., Eulitz, K. & Ullrich, K. (2009). Coupled modelling of subsurface water flux for an integrated flood risk management. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, pp 1277–1290.
- svenskgeografi.se (2016). *Svensk geografi, Hallsberg*. [online] Tillgänglig från: http://www.svenskgeografi.se/oerebro/hallsbergs-kommun/hallsberg/2708511_hallsberg. [Accessed 2016-04-08].
- Svenskt Vatten (2004). *Dimensionering av allmänna avloppsledningar*. Stockholm. (P90). ISSN 1651-4947.
- Svenskt Vatten (2011). *Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem*. Stockholm. (P104). ISSN 1651-4979.

- Svenskt Vatten (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten*. (P110–Del 1). ISSN 1651-4947.
- USGS (2016). *Did You Feel It?* [online] (United States Geological Survey's - Did You Feel it?). Tillgänglig från: <http://earthquake.usgs.gov/data/dyfi/>. [Accessed 2016-05-12].
- Vägverket (2008). *VVMB 310 Hydraulisk dimensionering*. (2008:61). ISSN 1401-9612.
- Weichel, T., Pappenberger, F. & Schulz, K. (2007). Sensitivity and uncertainty in flood inundation modelling - concept of an analysis framework. *Advances in Geosciences*, 11/2007, pp 31–36.

Personliga möten

- Christiansen, M. (2016). Möte med Marianne Christiansen, förvaltningschef Hallsbergs kommun, 2016-02-18.
- Jewert, M. (2016). Personligt möte med Magnus Jewert, ingenjör på Norconsult, 2016-05-25.

APPENDIX A

Inflöden som användes i 1D-modellen lades till där mindre vattendrag anslöt till det modellerade vattendraget, figur 1.

PLATS	KOORDINAT SWEREF99	Q50 (m3/s)		Q100 (m3/s)		Q200 (m3/s)		Högsta flöde (m3/s)	
		Lokal tillrinning	Flöde vid plats	Lokal tillrinning	Flöde vid plats	Lokal tillrinning	Flöde vid plats	Lokal tillrinning	Flöde vid plats
Utløppet Vibysjön	493461 6544843	3.7	3.7	4.6	4.6	4.9	4.9	5.4	5.4
Uppströms Torpabäcken	498109 6555606	9.6	13.3	11.8	16.3	12.5	17.4	13.8	19.2
Uppströms Stenebäcken	506736 6559758	16.5	29.8	20.3	36.6	21.6	38.9	23.9	43.1
Täljeån uppströms Kumlaån	511437 6560355	14.5	44.3	17.9	54.5	19.0	57.9	21.0	64.0
Ralaån vid Kumla	509842 6552568	7.3	7.3	8.9	8.9	9.5	9.5	10.5	10.5
Kumlaån vid mynningen i Täljeån	511437 6560355	9.4	16.6	11.5	20.5	12.2	21.7	13.5	24.0
Almbro	513977 6561925	4.1	65.0	5.0	80.0	5.4	85.0	5.9	94.0
Östra Kvismarens utlopp	524233 6559520	26.9	91.9	33.1	113.1	35.2	120.2	38.9	132.9
Täljeåns utlopp i Hjälmaren	533630 6560293	15.3	107.2	18.8	131.9	20.0	140.2	22.1	155.0

Figur 1. Flöden som användes i 1D-modellen. Lokal tillrinning representerar inflöden och flöde vid plats anger det totala flödet vid platsen.

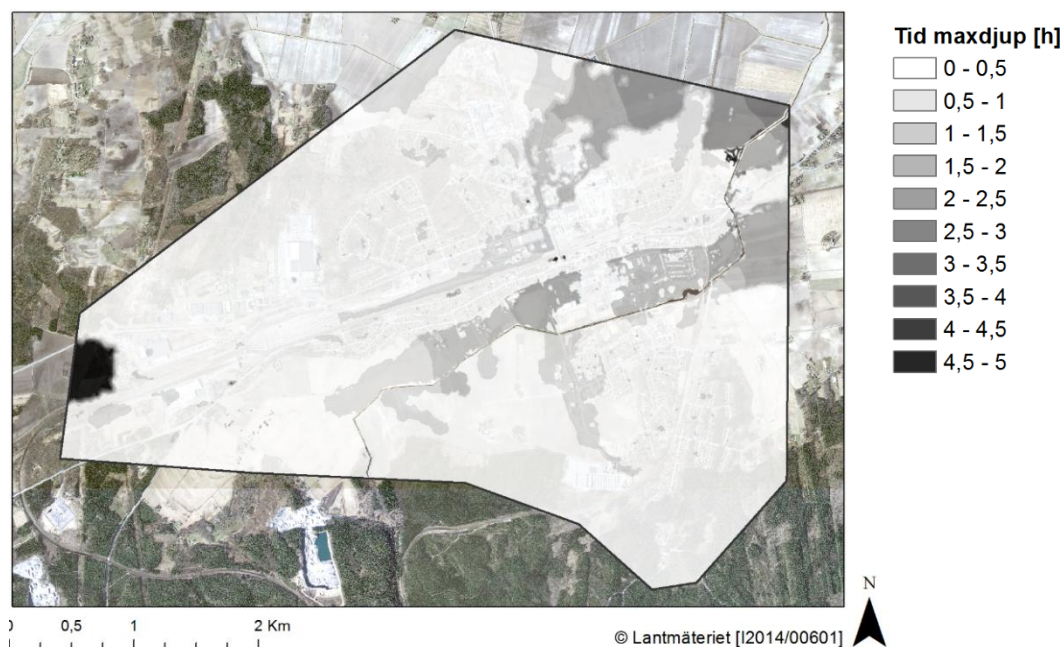
Mannings tal halverades vid kalibreringen och sänktes till 5 längs den nordöstra och östra gränsen, figur 2.



Figur 2. Det kalibrerade värdena på Mannings tal i modellområdet. Mannings tal har även sänkts till 5 längs den nordöstra och östra gränsen.

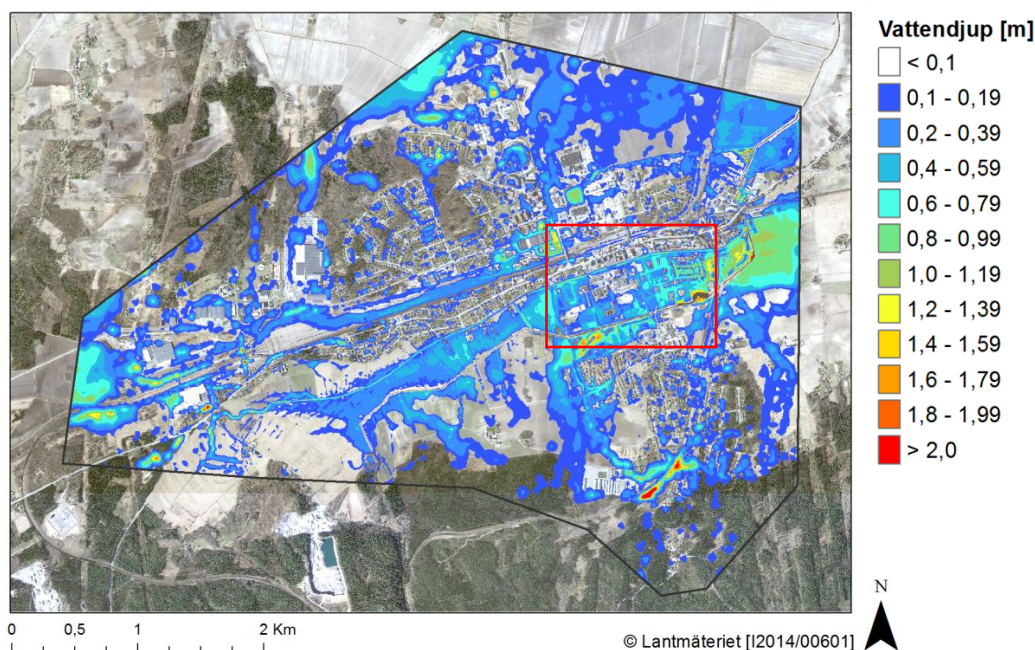
APPENDIX B

Tiden till maxdjup vid 200-årsscenariot var mycket lika de för 100-årsscenariot. I stora delar av området infaller maxnivåerna i samband med regnet, i Hallsberg centrum mellan Rösättersbäcken och Storån infaller maxnivåerna 1,5-2 timmar efter regnets början. Det är endast vid den västra gränsen som maxnivåerna inte uppnås inom simuleringstiden, figur 3.

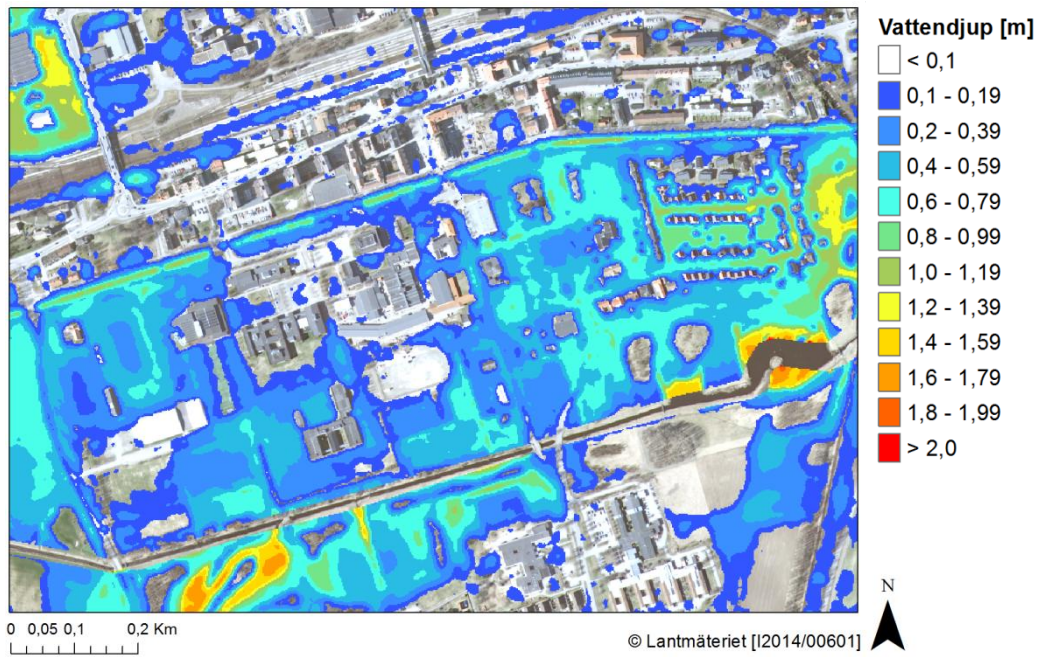


Figur 3. Tid till maxdjup i timmar från skyfallets början för 200-årsscenariot.

Vid simuleringen av 200-årsscenariot blev vattennivåerna upp till 0,2 m högre än i 100-årsscenariot. Vattenutbredningen blev även något större, figur 4-5.



Figur 4. Översvämmade områden samt vattendjup från 200-årsscenariot, området i centrala Hallsberg som ligger mellan Rösättersbäcken och Storån är markerat i rött, figur 4.



Figur 5. Vattendjup mellan Rösättersbäcken och Storån i centrala Hallsberg från 200-årsscenarioet.