



UPPSALA
UNIVERSITET



UPTEC W 16007

Examensarbete 30 hp
Maj 2016

GIS-baserad beräkning av urbana delavrinningsområden

Utveckling av en objektorienterad metod

Maria Berg Lissel

REFERAT

Utveckling av objektorienterad metod för beräkning av delavrinningsområden i urban miljö.

Maria Berg Lissel

Målet var att identifiera geografiska problemområden vid beräkning av delavrinningsområden i urban miljö i geografiska informationssystem, GIS, och att utveckla en metod för att bemöta dessa. Beräkningen av avrinningsområden är viktig för efterföljande hydrauliska modelleringar som görs för att kunna analysera och dimensionera dagvattennät. En objektorienterad beräkningsmetod togs fram som tog hänsyn till utvalda, problematiska faktorer i bebyggelse och infrastruktur. En alternativ algoritm för bearbetning av höjdmodeller testades tillsammans med en befintlig algoritm för att se vilken som gav bäst resultat. Topografiskt baserade delavrinningsområden beräknades utifrån de bearbetade höjdmodellerna. De tre metoderna för beräkning av delavrinningsområden jämfördes med en referens i form av för hand framtagna delavrinningsområden, gjorda av specialister på hydraulisk modellering.

Den objektorienterade metoden som togs fram gav bättre resultat för de flesta viktiga målparametrarna än de topografiska när den fungerade som avsett. Dock finns det stora förbättringsbehov av metoden och den måste också effektiviseras om den ska användas för beräkningarna. Jämförelsen visar att olika algoritmer för bearbetning av höjdmodeller ger olika resultat när delavrinningsområden beräknas. En metod där en algoritm i Whitebox GAT användes för bearbetning av höjdmodellen gav bättre resultat på beräknade delavrinningsområden i flacka områden och runt dagvattenledningar som sänkts ner i höjdmodellen, än den befintliga metoden som testades. Dock gav kombinationen av bearbetning av en höjdmodell i Whitebox GAT med efterföljande beräkning av delavrinningsområden i ArcGIS vissa fel som måste utredas om den kombinerade metoden ska användas för dessa beräkningar.

Nyckelord: Hydrologisk modellering, urbant avrinningsområde, bearbetning av höjdmodell, sänkor, breaching, terränganalys, flödesanalys

*Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten-, och landskapslära, Uppsala universitet.
Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36, UPPSALA, ISSN 1401-5765*

ABSTRACT

Development of an object oriented method for catchment delineation in urban areas

Maria Berg Lissel

The aim was to identify geographical areas of concern in the process of catchment delineation in urban areas in geographic information systems, GIS. The aim was also to develop a new method for the delineation in order to address identified problems. The calculations of the catchment areas are important for subsequent hydraulic modeling, which is performed in order to properly design storm water systems capable of handling the storm water. An object oriented method was developed that took into account the identified, problematic factors in the infrastructure and buildings of the urban area. An alternative algorithm for the preprocessing of the digital elevation model, DEM, was tested to see how the results would differ from a current method for catchment delineation with another algorithm for the preprocessing of the DEM. The two different algorithms for DEM preprocessing were used before the same procedure of catchment delineation was performed on the DEMs in ArcGIS. The delineated catchments from the two different preprocessing algorithms along with the object oriented method, were evaluated against reference catchment areas manually plotted by hydraulic modeling specialists.

The object oriented method showed a higher correlation to the reference than the topographic methods for the most important target parameters when performing well. However the object oriented method has to improve in precision and efficiency if it is to be used for the calculations. The catchment delineation methods with different DEM preprocessing algorithms yields different results. For the DEM preprocessing, an algorithm from Whitebox GAT seemed to performed better in flat areas and in areas where the storm water lines have been lowered into the DEM, than the ArcGIS method did. However the combination of Whitebox GAT and ArcGIS resulted in some problems with the catchment delineation and hence the combined method has to be refined in order to be used.

Keywords: Hydrological modeling, urban catchment delineation, object oriented approach, DEM preprocessing, depression filling, breaching, flow routing

Department of Earth Sciences. Program for Air, Water and Landscape Science, Uppsala University. Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36, UPPSALA, ISSN 1401-5765.

FÖRORD

Det här examensarbetet som omfattade 30 högskolepoäng och utgjorde det avslutande momentet på civilingenjörsutbildningen i miljö- och vattenteknik vid Uppsala Universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet. Examensarbetet genomfördes hösten 2015 till våren 2016 på Tyréns AB i Stockholm på avdelningen för mark- och vattenresurser. Handledare var Karl-Martin Calestam på mark- och vattenresurser, Tyréns AB och ämnesgranskare var Thomas Grabs på Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära vid Uppsala Universitet.

Jag vill tacka min ämnesgranskare Thomas Grabs för många idéer, bra diskussioner och ett engagemang utöver det vanliga. Du visade intresse för det jag gjorde och kom med många värdefulla tips jag inte klarat mig utan. Tack för gott samarbete!

Tack Västervik och Lidingö kommun för att jag fick använda er data till beräkningar och publicering av figurer (Västervik figur 3, 7, 8, 12, 13, 14 och Lidingö figur 1, 4, 5, 6).

Thank you professor John Lindsay at University of Guelph, Canada, for new knowledge and new ideas regarding the processes of hydrological modeling, for the things I used in my thesis and for everything I take with me for the future.

Thanks Anthony Palmer and Stephen Lead for making your Python-scripts available and open for all to use, it has been of big help in this project!

Tack vänner och familj för pepp och stöd i alla dess former, ni är som alltid guld!

Stort tack till Tyréns AB region Öst för att jag fått vara en av er under den här tiden. Tack Lars, Leo, Carro, Jannike, Isabelle, Adrian, Nicklas, Anders, Anders, Christina, Lena, David, Lotta, Maria, Björn, Kajsa, Anna, Oskar, Hans, Bea, Anton, Victor, Josef, Jakob med flera med flera för den här tiden <3

Sist men allt annat än minst. Tack Karl-Martin. På riktigt. Vad skulle jag ha gjort utan dig?. Tack för att du delat med dig av din gränslösa kunskap om allt från rasterhantering till vad diverse grod- och kräldjur heter på latin, tack för att du lugnat mig när jag velat slänga ut datorn genom fönstret, tack för att du alltid tagit dig tid när jag behövt och för att du varit det bästa bollplank en kan tänka sig. Mini-me signar nu ut med sin stulna devis att ”det ju inte är svårt om det inte är roligt” ;)

Maria Berg Lissel,
Uppsala 2016-02-11

Copyright © Maria Berg Lissel och Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala Universitet. UPTEC W 16007, ISSN 1401-5765 Publicerad digitalt vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala Universitet, Uppsala, 2016

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

När regn faller på marken så tas det antingen upp av växter, infiltrerar i marken, avdunstar i form av vattenånga eller rinner längs marken, nedåt i terrängen. I naturmark ansamlas vattnet i lågpunkter där det kan skapa vattendrag i form av till exempel bäckar. I städer och andra bebyggda områden kan en större mängd vatten avrinna på markytan eftersom de hårda ytorna i form av tak, asfalterade vägar och mer gör att vattnet har svårare att infiltrera i marken. Inte heller finns det lika mycket växter som tar upp vatten. Det här gör att vattnet måste tas om hand eftersom ansamlingar av vatten i bebyggd miljö kan ställa till problem. Vattnet som syns uppe vid marken kallas dagvatten.

I städer och bebyggda områden har vi människor byggt system av rörledningar i marken som leder bort dagvattnet och dagvattenbrunnar vid markytan som leder ner vattnet från marken till dessa ledningar. För att kunna bygga ledningarna lagom stora behövs kunskap om hur mycket vatten som kommer att rinna var. Ett avrinningsområde, det vill säga ett område varifrån allt vatten kommer att rinna till ett och samma ställe, räknas ut och gör det möjligt att sedan bestämma hur mycket vatten som kommer att rinna till en viss del eller en viss punkt i vattenledningssystemet.

I naturmark rinner vattnet utefter topografin, det vill säga det rinner nedåt med marklutningen. I bebyggda områden är det dock andra faktorer som påverkar hur vattnet rinner, bland annat vattenledningssystemet, rännstenar, stuprännor på hustak med mera. Det gör att dessa avrinningsområden inte kan räknas ut på samma sätt som för naturmark när det görs automatiskt i ett beräkningsprogram.

I det här projektet har det därför tagits fram en metod för att beräkna dessa avrinningsområden i urbana områden utifrån bebyggelse och infrastruktur istället för utifrån topografi. I dagsläget används ibland en topografiskt baserad metod, det vill säga en metod som utgår från marklutning, även i städer. Av den anledningen har också ett alternativt sätt att bearbeta den tredimensionella höjdmodellen, alltså en tredimensionell bild över markytan, utvärderats för att se om det ger bättre resultat i beräkningarna av avrinningsområdena.

Testresultaten visar att det är bättre att använda beräkningsmetoden som utgår från olika faktorer i bebyggelsen eftersom gränserna mellan de olika avrinningsområdena blir jämnare och bättre uppskattningar av areor av hustak och vägar kan göras med en sådan metod. Dock fungerade den metoden som togs fram i det här projektet inte alltid som önskat varför den skulle behöva förbättras om den ska användas istället för den befintliga, topografiska metoden.

Jämförelsen av de två topografiska metoderna i det här projektet visar att det alternativa sättet att bearbeta den tredimensionella höjdmodellen fungerar bättre, speciellt i områden där markytan är platt eller där försök har gjorts att räkna med dagvattenledningarna i höjdmodellen. Dock uppkom vissa problem när två olika

beräkningsprogram skulle kombineras för bearbetningen av höjdmodellen och sedan beräkningen av avrinningsområdet, varför även den metoden skulle behöva förbättras om den ska användas.

Sammantaget rekommenderas att förbättra den metoden som utgår från byggnader, vägar och dagvattennätet för att kunna använda den i bebyggda områden. I naturmark föreslås att den alternativa metoden för bearbetning av höjdmodellen förbättras så att den kan användas i naturmark. Dessa förbättringar tros vara möjliga att åstadkomma. Utan förbättring av dessa metoder föreslås att den befintliga metoden används fortsatt då den uppvisar likvärdiga eller bättre resultat än de två nya metoderna i deras befintliga skick.

Innehåll

REFERAT	I
ABSTRACT	II
FÖRORD	III
POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING	IV
1 INLEDNING	1
1.1 INTRODUKTION	1
1.2 SYFTE OCH MÅL	1
1.3 FRÅGESTÄLLNINGAR	1
1.4 BAKGRUND	2
1.4.1 Avrinning, avrinningsområden och hydraulisk modellering	2
1.4.2 GIS	4
1.4.3 Faktorer att ta hänsyn till vid GIS-baserad avrinningsområdesberäkning i urban miljö	6
2. METOD	8
2.1 ALGORITMER	8
2.1.1 Algoritmer, olika sätt att bearbeta höjdmodellen samt efterföljande avrinningsområdesberäkning i ArcGIS	8
2.1.2 Objektorienterad algoritm för beräkning av avrinningsområden i urban miljö	9
2.1.3 Referensmetod	12
2.2 FÖRSÖKSTUDIE	13
2.2.1 Studieområden	13
2.2.2 Test av den objektorienterade algoritmen	14
2.2.3 Jämförelse av avrinningsområden beräknade med fyra olika metoder	15
2.2.4 Data	16
3 RESULTAT OCH OBSERVATIONER	17
3.1 TESTET AV DEN NYA, OBJEKTORIENTERADE ALGORITMEN	17
3.2 FÖRSÖKSTUDIEN	20
3.2.1 Test A, överensstämmelse med referensmetod	20
3.2.2 Test B, korrelation mellan metoderna	21
3.2.3 Test C, skillnader i resultat från beräkningsmetoder med olika algoritm för bearbetning av höjdmodellen	26
4 DISKUSSION	29
4.1 DEN NYA, OBJEKTORIENTERADE ALGORITMEN	29

4.2 FÖRSÖKSTUDIEN	30
4.3 SKILLNADEN MELLAN DEN OBJEKTORIENTERADE OCH DE TOPOGRAFISKA BERÄKNINGSMETODERNA.....	32
4.4 DATA OCH ANTAGANDEN.....	33
5 SLUTSATSER	35
6 REFERENSER	36
6.1 SKRIFTLIGA REFERENSER.....	36
6.2 MUNTliga REFERENSER.....	38
6.3 REFERENSER PYTHONSKRIPT	38
7 BILAGOR	39
Bilaga A, Exempel på attributtabell och förklaring av skript III.....	39

1 INLEDNING

Detta inledande kapitel presenterar ämnesområdet och ger bakgrund och frågeställningar, syfte och mål för projektet.

1.1 INTRODUKTION

Aldrig förr har urbaniseringen i världen skett i en snabbare takt och år 2008 bodde för första gången mer än femtio procent av världens befolkning i städer (SCB, 2016). Detta medför att våra städer blir fler, större och tätare. I vissa perspektiv är det effektivt resursmässigt men det medför också sårbarhet, bland annat ur hydrologisk synpunkt. Stora områden med hårdgjorda ytor ger minskad infiltration och lagring av vatten i marken, vilket leder till att en större mängd vatten avrinner på ytan vid kraftig nederbörd. Detta medför översvämningrisk om det inte finns infrastruktur med rätt dimensioner på plats som tar hand om vattenflödena. I och med väntade, framtida klimatförändringar förväntas de problem som stor avrinning kan orsaka, att förvärras.

1.2 SYFTE OCH MÅL

Syftet av den här studien är att identifiera felkällor som uppkommer i och med automatisk beräkning av avrinningsområden i ett GIS-program och att med hänsyn till utvalda identifierade problem utveckla en helt ny, objektorienterad metod för beräkning av urbana delavrinningsområden i ArcGIS. Syftet är också att testa och utvärdera toppmoderna verktyg för höjdmodellsbearbetning i och med terräng- och flödesanalyser och beräkningar av avrinningsområden. Resultaten ska jämföras med resultaten från en referensmetod med manuellt ritade delavrinningsområden.

1.3 FRÅGESTÄLLNINGAR

Nedan följer de huvudsakliga frågeställningarna för examensarbetet.

- Hur kan en beräkningsmetod i GIS skapas för att ta fram delavrinningsområden i urban miljö, där hänsyn tas till påverkande faktorer i bebyggelse och infrastruktur?
- Hur väl uppskattar den skapade beräkningsmetoden delavrinningsområdets olika parametrar jämfört med en referensmetod som anses som "bästa gissningen" enligt aktuell kunskapsnivå?
- Vad blir skillnaden i resultaten mellan en helt objektorienterad beräkningsmetod och topografiska metoder där dagvattenledningar och dagvattenbrunnar sänkts ner i höjdmodellen för att styra avrinningen?

1.4 BAKGRUND

Här presenteras bakgrundsfakta och definitioner kopplade till avrinning, avrinningsområden och hydraulisk modellering. Programvaror för analyser och beräkning presenteras och en genomgång av faktorer i urban bebyggelse och infrastruktur som påverkar flödesanalyserna görs.

1.4.1 Avrinning, avrinningsområden och hydraulisk modellering

Det här avsnittet tar upp olika aspekter av avrinning och avrinningsområden i bebyggd eller obebyggd mark.

1.4.1.1 Avrinning

När nederbörd faller på marken kan avrinning ske på markytan. Om och hur mycket vatten som avrinner bestäms av hur mycket vatten som tillförs och hur mycket som infiltrerar och lagras i marken, hur mycket som tas upp av växtligheten och hur mycket som avdunstar. Förhållandet mellan dessa faktorer bestämmer hur stor avrinningen blir. I bebyggda områden är möjligheten till infiltration och lagring i marken mindre än i de obebyggda på grund av stor andel hårdgjorda ytor. Det är den största anledningen till varför avrinningen vid ett visst regn blir större i bebyggda områden än i obebyggda. Avrinningen varierar också under året eftersom avdunstningen, som till stor del påverkar avrinningen, varierar med temperaturen och därmed årstiderna (Grip and Rodhe, 1994).

1.4.1.2 Avrinningsområde

För att ta reda på hur mycket vatten som avrinner var beräknas ett så kallat avrinningsområde, vilket definieras som det område som bidrar med avrinning från nederbörden till en specifik punkt. Topografin bildar naturliga avgränsningar mellan avrinningsområdena, så kallade ytvattendelare. Det finns också grundvattendelare, men med svenska förutsättningar, som tunt jordtäcke och sprickfattig berggrund, kan vattendelarna anses sammanfalla och därmed behandlas som en och samma (Grip and Rodhe, 1994). Vatten rinner nedåt i terrängen med gravitationen och ansamlas i lågpunkter i landskapet där de bildar vattendrag.

1.4.1.3 Avrinning i urban miljö

Avrinning i urbana områden skiljer sig från avrinning i obebyggda områden. I bebyggda områden styrs avrinningen till punkter där den samlas upp och leds vidare, till exempel till dammar eller dagvattenbrunnar i dagvattennätet och sedan till recipienten. Detta görs för att bebyggda områden med liten mängd växtlighet, stor andel hårdgjord yta och minskad lagring och infiltration annars riskerar väldigt snabb och volymmässigt stor avrinning, vilket kan leda till översvämningsproblematik (Salvadore et al., 2015). Avrinningen till en viss punkt i det urbana avrinningsområdet bestäms av områdets storlek, form och lutning, marktyp, bebyggelse, tomtstorlekar, nederbördsintensitet med mera (Svenskt Vatten, 2004). I städer med tät, hög bebyggelse påverkas nederbörden av saker som partikeltäthet, luftcirkulation och stadens värmeö. Det har inverkan på vattentillförseln och därmed också avrinningen (Salvadore et al., 2015).

1.4.1.4 Urbant avrinningsområde

Det finns ingen allmängiltig definition på vad som karaktäriserar ett urbant avrinningsområde. En parameter som brukar användas för klassificering är andel hårdgjord yta eftersom den påverkar avrinningens momentana storlek och därmed hur dagvattnet måste tas om hand. Några allmänt vedertagna storleksordningar finns dock inte och olika vetenskapliga rapporter använder allt från fem procent hårdgjord yta till helt hårdgjort område, för att området ska klassas som urbant (Salvadore et al., 2015). Enligt Brun och Band (2000) har ett tröskelvärde på 20 procent hårdgjord yta observerats och då detta överskrids, ändras avrinningens omfattning i större utsträckning än för områden med mindre andel hårdgjord yta. Det avrinningsområde som behandlades i Brun och Bands (2000) rapport var ett område på 17 000 hektar med både bostadsområden, jordbruksmark, naturmark och områden för kommersiell verksamhet. Sett till delavrinningsområden på kvartersnivå med andra meteorologiska och hydrologiska förutsättningar är inte samma tröskelvärde applicerbart. Den här studien behandlar urbana områden med minst 10 procent bebyggd eller hårdgjord yta där dagvattennät inklusive servisledningar till fastigheter finns.

1.4.1.5 Flödesanalyser

För att beräkna hur mycket vatten som potentiellt kan avrinna från ett område utförs terräng- och flödesanalyser. Syftet är primärt att minska risken för översvämningar och att skydda människors hälsa och miljön (Fletcher et al., 2012). Informationen som erhålls från analyserna används sedan vid hydraulisk modellering där en modell byggs upp för att simulera vattenflöden i ledningar och dimensionera dagvattennät och utföra andra åtgärder för att ta hand om det vatten som faller över marken och avrinne.

1.4.1.6 Dagvattennätet

Dagvattenledningarna som utgör dagvattennätet är konstgjorda vattenvägar, skapade av människor för att kontrollera vart vattnet tar vägen. Dagvattenledningarna är oftast självfallsledningar, det vill säga att de oftast följer topografin. I dagens vattenledningar är avloppsledningssystemen oftast separerade, det vill säga spillvatten och dagvatten leds i olika ledningar och dränvattnet avleds tillsammans med antingen spillvattnet eller dagvattnet (Svenskt Vatten, 2004). Detta görs för att översvämning av dagvattennätet som följd av ett skyfall, inte ska innebära att spillvatten kommer upp till markytan. När det byggs nya avloppsledningssystem i Sverige är systemen uteslutande separerade. I de fall då separata ledningar används, leds dagvattnet ofta direkt till recipienten via ledningar och diken, eventuellt med sedimentationsdammar eller oljeavskiljare innan utloppet.

1.4.1.7 Hydraulisk modellering

När nederbördsdata används i hydraulisk modellering av dagvattennät så används så kallade återkomsttider för regn. Regnets ”storlek” bestäms av varaktigheten, det vill säga hur länge det regnar, samt intensiteten, det vill säga hur mycket nederbörd som faller per tidsenhet. Olika storlekar på regn förekommer olika ofta, ju lägre intensitet och kortare varaktighet desto mer ofta förekommer det och tvärtom. Ett 100-årsregn eller ett regn med en återkomsttid på 100 år har en viss varaktighet och intensitet, ett

regn med en återkomsttid på 50 år har en annan varaktighet och intensitet. Enligt svensk standard ska dagvattennät dimensioneras så att det inte översvämmas av ett 10årsregn (Svenskt Vatten, 2004). Olika ytor tilldelas olika avrinningskoefficienter, baserat på strukturen av den aktuella markytan, marklutning, infiltration med mera.

Avrinningskoefficienten är ett mått på hur stor andel av ytan som bidrar med avrinning i ett område efter ett regn. Värdet på avrinningskoefficienten ligger i intervallet 0 till 1 där högre värde betyder att större andel av ytan bidrar till avrinningen. De hydrauliska modellerna på vattenflöden baseras oftast på olika återkomsttider för regn, avrinningskoefficienter, samt det aktuella områdets area. Om hydrauliska modelleringar av vattenflöden görs och ledningsnätet dimensioneras efter felaktiga uppgifter om avrinningsområden riskeras över- eller underkapacitet på ledningsnätet som följd av de felaktiga beräkningsresultaten. För stora dimensioner på vattenledningar är resursineffektivt och kan leda till bland annat sämre självrensning vid för lågt vattenflöde. För små dimensioner kan leda till översvämning.

1.4.1.8 Att beräkna delavrinningsområden i urban miljö

I urban miljö med hus, vägar och dagvattennät, finns konstgjorda vattenvägar i form av bland annat stuprännor, rännstenar och dagvattenledningar som påverkar vattnets flödesmönster. Om avrinningsområden beräknas på konventionellt sätt så tas ingen hänsyn till infrastrukturen och de konstgjorda vattenvägarna. Det gör att de beräknade, höjdbaserade avrinningsområdena kan ge en felaktig bild av verkligheten i urbana områden. Efterbearbetning av de konventionellt beräknade avrinningsområdena krävs därför för att dessa ska stämma bättre överens med verkligheten. En metod för beräkning av avrinningsområden som tar hänsyn till urban bebyggelse och infrastruktur kan ge en bättre bild av vilket vatten som tas omhand var i dagvattennätet och andra konstgjorda vattenvägar och då skulle behovet av efterbearbetning, innan resultatet används för hydraulisk modellering, att minska. Detta skulle effektivisera processen med areaberäkningarna som ligger till grund för de efterföljande hydrauliska modelleringarna. Det finns många osäkerheter och påverkande faktorer i beräkningsprocessen av urbana avrinningsområden och i dagsläget finns ingen standardiserad metod som tar hänsyn till dessa (Salvadore et al., 2015).

1.4.2 GIS

I hydrologisk modellering används ofta geografiska informationssystem, så kallade GIS-verktyg eller GIS-programvaror. Med dessa utförs olika typer av beräkningar, analyser och visualiseringar av digital kartinformation.

ArcGIS är en sådan programvara. Programmet innehåller olika verktygslådor med olika funktioner för att utföra olika typer av analyser och operationer på geografisk data. Bland annat finns en verktygslåda, "ArcHydroTools", som innehåller verktyg för terränganalys och hydrologiska operationer som till exempel flödesanalys och beräkning av avrinningsområden (ESRI Sverige, 2015a).

I Model Builder i ArcGIS kan modeller för egna automatiserade arbetsflöden skapas när samma funktioner eller operationer ska utföras på många olika filer, eller när ett antal funktioner ska köras sekventiellt och inga manuella inslag behövs mellan stegen.

Esri som är utgivare för ArcGIS har en sektion på sin supportsida som heter ”ArcScripts”. I ArcScripts har ArcGIS-användare tidigare kunnat bidra med egna programmerade funktioner, skript, som läggs ut för fri användning av allmänheten. Dessa skript kan implementeras och användas som ytterligare funktioner till ArcGIS (ESRI Sverige, 2015b).

GeoWizard är ett tillägsprogram till ArcGIS med en samling gratisfunktioner som kan användas i ArcGIS vid sidan av programmets vanliga funktioner.

Whitebox GAT är ett GIS-program med öppen källkod där alternativa algoritmer för vissa hydrologiska operationer har implementerats. Data kan överföras mellan ArcGIS och Whitebox GAT vilket gör det möjligt att kombinera funktioner från de olika GIS-programmen.

I en GIS-programvara används två sorters data, rasterdata och vektordata. Vanlig rasterdata är uppbyggda av ett kvadratisk rutnät där varje rastercell kan tilldelas olika värden. Till exempel är en höjdmodell ett raster som har ett höjdvärde för varje rastercell. Rastrets upplösning bestämmer cellernas storlek. Ett exempel på höjdmodellsraster är en så kallad ”digital elevation model”, förkortat DEM. Vektordata i GIS utgörs av så kallade shapefiler, till exempel linjer, punkter och polygoner. Dessa har olika attribut som storlek/area och linjerna har även riktning och en riktningsvinkel som beror av hur de är placerade i ett visst koordinatsystem. En shapefil kan bestå av ett antal former, till exempel punkter. Varje punkt i shapefilen kan tilldelas olika egenskaper, attribut, som till exempel identifikationsnummer, koordinater med mera. Alla punkterna i shapefilen tillsammans med attributen för respektive punkt finns samlade i shapefilens så kallade attributtabell. Exempel på en attributtabell kan ses i Bilaga A. Olika typer av vektordata i GIS-programvaror kallas även objekt.

En algoritm eller funktion i GIS kan vara fältbaserad, det vill säga baserad på rasterdata, eller objektorienterad, baserad på vektordata. I den här studien skapades en objektorienterad algoritm, alltså en algoritm som utgår från vektordata, närmare bestämt shapefiler för bebyggelse och infrastruktur. Den konventionella algoritmen för beräkning av avrinningsområden utgår från en höjdmodell och är alltså istället fältbaserad.

När avrinningsområden ska beräknas i ett GIS-program så bearbetas höjdmodellen varpå terräng- och flödesanalys utförs och utifrån det beräknas sedan avrinningsområden.

1.4.3 Faktorer att ta hänsyn till vid GIS-baserad avrinningsområdesberäkning i urban miljö

I följande stycken beskrivs några av de viktigaste faktorerna som påverkar avrinningen i bebyggda områden och därmed måste tas hänsyn till vid GIS-baserad beräkning av avrinningsområden. Det innefattar bland annat dagvattennätet, sänkor i höjdmodellen, avledning av vatten från tak, vägar, pumpning av dagvatten och upplösning på höjdmodellen.

1.4.3.1 Upplösning på höjdmodellen

Upplösningen på höjdmodellen spelar stor roll när man utför terränganalys och beräknar avrinningsområden. För att få med detaljer i bebyggd miljö som påverkar flödesriktningar med mera, är det bättre ju högre upplösningen på höjdmodellen är (Vaze et al., 2010). För låg upplösning på höjdmodellen gör att mindre höjdskillnader som exempelvis diken/rännstenar, som är av stor betydelse för avrinningens flödesriktning, inte ”syns” i höjdmodellen och därmed inte tas med i beräkningarna. Vattnet rinner till exempel sällan vinkelrätt över en väg med oförändrad riktning och storlek utan leds ofta längs med vägen, i diken eller i rännstenar mot dagvattenbrunnar. Ett avrinningsområde uträknat utifrån en höjdmodell av för låg upplösning kommer att ha svårt att fånga upp detta. I vissa beräkningsmetoder sänks vägarna ner i höjdmodellen om upplösningen på höjdmodellen är allt för låg så att vägarna inte syns (Jones et al., 2000). Vägarna ligger ofta lite högre och har en viss lutning för att vatten inte ska ansamlas på dem. Det gör att de ofta utgör vattendelare, det vill säga gränser mellan två avrinningsområden. Om vägen sänks ner däremot så utgör den oftast inte en vattendelare.

1.4.3.2 Sänkor i en höjdmodell

När flödesriktningar och flödesackumulering deriveras i beräkningen av delavrinningsområden är det nödvändigt att först bearbeta så kallade sänkor i höjdmodellen som används. Sänkor är områden i en höjdmodell varifrån vattnet inte kan rinna vidare på grund av att de omges av rasterceller med större höjdvärden. Sänkorna utgör alltså lokala lågpunkter i terrängen. I flödesanalysen rinner vattnet från en cell till den av de omgivande celler som har det minsta höjdvärdet. Om vattnet har runnit till en cell eller ett område och det inte finns någon omgivande cell med lägre höjdvärde, så kan vattnet alltså inte rinna vidare. Om ArcGIS används för modifieringen av en höjdmodell så fylls sänkorna igen, det vill säga höjdvärdet i cellerna höjs eller sänks för att matcha omgivningen. Den modifieringen kan ändra en höjdmodell mer än avsett. De flesta metoder tenderar att både ”platta ut” höjdmodeller och sänka vissa områden i dem mer än avsett (Callow et al., 2007). Det riskerar att ge stora fel när flödesriktningar och flödesackumulering sedan beräknas. Whitebox GAT använder en annorlunda metod för bearbetning av sänkor. Metoden kallas ”breaching” och innebär att en minsta kostnad-metod används för att leda vattnet förbi sänkor på ett sätt som i övrigt påverkar höjdmodellen så lite som möjligt (Lindsay, 2015).

1.4.3.3 Dagvattennätet

Styrningen av dagvattnet till och i dagvattennäten innebär att topografin inte är den enskilt styrande faktorn för avrinningens riktning. I verkligheten rinner vattnet ner via dagvattenbrunnarna till dagvattenledningarna, men dagvattennätet som ligger nedgrävt ”syns” inte i höjdmodellen när analys av vattnets flödesriktning utförs. Utan bearbetning av höjdmodellen ingår flödet i ledningarna därför inte i flödesanalysen. Det kan lösas genom att dagvattenbrunnar och dagvattenledningar sänks ned i höjdmodellen, det vill säga höjdvärdet i de celler i höjdmodellen där en dagvattenbrunn eller dagvattenledning ligger, minskas med något visst värde. Det resulterar i att dagvattenledningen i analysen behandlas som en öppen kanal, som till exempel ett dike, där dagvatten kan rinna ner. Dagvattenbrunnarna behandlas som interna utlopp i dagvattennätet varifrån vattnet inte rinner vidare (Calestam, 2013) vilket avser att resultera i att ett delavrinningsområde erhålls per dagvattenbrunn. Sänkingsprocessen av dagvattenledningar har visat sig inte vara helt problemfri och risken finns att höjdmodellen modifieras mer än avsett, vilket kan ge faktiska fel i höjdmodellen (Lindsay, 2016). Enligt Lindsay (2016) är det bästa sättet att sänka ner vattendrag, i vårt fall representerade av dagvattenledningar, att bland annat använda sig av uppströms längd på vattendraget för att kalibrera skalan i sänkingsprocessen.

1.4.3.4 Avledning av regnvatten från tak

Ett annat analyseringsproblem rör nederbörd som leds från hustak till dagvattennätet. När nederbörd faller på tak så leds vattnet oftast ner till marken via stuprör. Stuprören kan antingen leda vattnet ut på marken utanför huset eller vara kopplade via så kallade servisledningar till dagvattennätet. I de fall då vattnet leds från stuprännorna till dagvattennätet, är det möjligt att vattnet leds i motsatt riktning mot topografin om dagvattenledningen ligger högre topografiskt sett än markytan huset står på. Om delavrinningsområdet beräknas med hjälp av topografin, kommer det att behöva korrigeras för att få med hela fastigheten åt rätt håll, det vill säga mot dagvattenledningen.

1.4.3.5 Pumpning av dagvatten

Ibland finns det anledning att avleda dagvatten åt något visst håll dit det inte kan ledas med självfallsledningar. Om känsliga ställen riskerar att översvämmas kan det finnas pumpar installerade som pumpar vattnet mot den topografiska lutningsriktningen. Det ställer ännu större krav på att vattenledningar ritas in med korrekt riktning i GIS-modeller eftersom en ledning kan misstas för felvänd om den inte följer topografin på grund av pumpning. Att identifiera vattenledningar som inte följer topografin och utvärdera om dessa är vända åt rätt håll kan vara avgörande för korrekta beräkningar.

2. METOD

I det här kapitlet presenteras tre olika algoritmer för beräkning av avrinningsområden. Tillvägagångssättet för ett test som utfördes på data från Lidingö och Västerviks kommun för validering av den objektorienterade metoden, samt en försökstudie på Västerviks kommun med de tre olika algoritmerna samt en referensmetod, presenteras också.

2.1 ALGORITMER

I det här kapitlet presenteras de olika algoritmerna för beräkning av avrinningsområden. De som presenteras i kapitel 2.1.1 är två fältbaserade metoder som utgår från höjdmodellen och kapitel 2.1.2 redovisar algoritmen som skapades i det här projektet.

2.1.1 Algoritmer, olika sätt att bearbeta höjdmodellen samt efterföljande avrinningsområdesberäkning i ArcGIS

Två olika uppsättningar av algoritmer för bearbetning av höjdmodell användes. Den ena var en metod i ArcGIS som fyller igen sänkor med funktionen ”fill sinks”. Efter det sänks konstgjorda vattenvägar, i form av dagvattenledningar, ner i höjdmodellen för att representera öppna kanaler. Det görs med funktionen ”DEM reconditioning”.

I den andra metoden användes Whitebox GAT för att sänka ner dagvattenledningarna i höjdmodellen på liknande sätt som i ArcGIS metod, men där med Whitebox GATs funktion ”burn streams”. En ytterligare förbättrad metod för att sänka ner vattendrag, eller om önskas dagvattenledningar, i höjdmodeller håller på att utvecklas men är ännu inte implementerad i Whitebox GAT (pers. komm, Lindsay). Därför användes ”burn streams” för att kunna jämföra bearbetningsalgoritmer från de två olika GIS-programmen. Efter att dagvattenledningarna sänkts ner användes en algoritm som istället för att fylla igen sänkor, bryter sig igenom dem så att vatten kan rinna förbi. Funktionen heter ”breach depressions” och ska enligt Lindsay (2015) reducera påverkan på höjdmodellen i övrigt jämfört med metoder som fyller sänkorna.

Efter dessa två olika varianter av bearbetning av höjdmodellen användes samma parameteruppsättning och beräkningsprocess av avrinningsområden i ArcGIS. Beräkningsprocessen innefattade funktionerna i verktygslådan ”ArcHydroTools” samt en funktion skapad för att sänka ner dagvattenbrunnarna i höjdmodellen, skapad i ett tidigare examensarbete av Karl-Martin Calestam (2013). Beräkningsprocessen i ArcGIS syftar till att beräkna ett delavrinningsområde per dagvattenbrunn. Samma beräkningsprocess användes för de höjdmodeller som bearbetats med respektive GIS-programs algoritmer, för att skillnader i de resulterande delavrinningsområdena skulle kunna hänvisas till de olika bearbetningsalgoritmerna.

2.1.2 Objektorienterad algoritm för beräkning av avrinningsområden i urban miljö

När den nya algoritmen skapades, användes ArcGIS samt programmeringsspråket Python för att programmera in egna funktioner, så kallade skript. Dessa skript kan köras i ArcGIS på samma sätt som ArcGIS egna funktioner körs. Den specifika programvaran som användes var ArcMap, licensnivå ”desktop standard” med tilläggen ”spatial analyst” och ”3D analyst” vilket ger ett grundläggande utbud av funktioner.

Anledningen till den grundläggande nivån på programvaror var att försöka hålla algoritmen så öppen och tillgänglig som möjligt. En höjdmodell, polygoner för vägar och byggnader samt linjer för dagvattenledningar och punkter för dagvattenbrunnar användes.

Algoritmen blev en semi-automatisk process bestående av fyra olika programmerade skript varav två egenskrivna och två återanvända och/eller modifierade. Beskrivning av de fyra olika skripten presenteras i Tabell 1. Algoritmen förutsätter normal datahantering med metadata. Förklaring av skript III och exempel på en attributtabell och attributfält återfinns i Bilaga A.

Tabell 1, Beskrivning av de fyra skripten som ingår i den skapade, objektorienterade algoritmen

Benämning	Sammanfattning av skriptets funktion	Skriptets ursprung	Indata
Skript I ¹	Jämför, med hjälp av höjdmodellen, höjden i början och slutet av linjer och jämför med linjens riktning. Pekar ut linjer vars riktning inte matchar topografin	Skript från ArcScripts, modifierat för att kunna användas i ArcGIS 10.0 och senare versioner.	Höjdmodell, dagvattenledningar (linjer)
Skript II ²	Drar linjer från var och en av punkterna i en shapefil innehållandes punkter, till alla andra punkter i en annan punktshapefil. I det här projektet drogs linjer från varje skärningspunkt mellan en fastighet och en servisledning i dagvattennätet, herefter kallad servispunkt, till alla omgivande dagvattenbrunnar. Eftersom linjerna ser ut som spindelnät kallas linjerna för ”spindellinjer”.	Skript från ArcScripts	Dagvattenbrunnar, Servispunkter (punkter)
Skript III	Jämför vinkel och avstånd från varje servispunkt till alla dagvattenbrunnar i omgivningen. Skriptet testar för ett givet vinkelintervall i taget om det finns någon dagvattenbrunn inom ett den vinkeln och ett visst avstånd. Vinkelintervallet är riktningsvinkeln på närmaste huvudledning i dagvattennätet plus minus en vinkel. I spindellinjernas attributtabeller finns information om vilken vinkel och vilket avstånd det är från servispunkten till de olika dagvattenbrunnarna. Om en dagvattenbrunn hittas inom det första vinkelintervallet så tilldelas fastigheten det identifikationsnummer som finns lagrat i attributtabellen i dagvattenbrunnarnas shapefil. Om fler än en dagvattenbrunn hittas inom samma vinkelintervall så väljer skriptet den brunn som ligger närmast	Egenskrivet skript	Spindellinjer (linjer) med attributfält (se Bilaga A) för vilken servispunkt respektive linje utgår från, riktningsvinkel på huvudledningen närmast servispunkten, samt avstånd och vinkel från servispunkten till alla dagvattenbrunnar i omgivningen. Fastigheter (polygoner) som har ett attributfält

¹ Se referens i kap 6.3

² Se referens i kap 6.3

servispunkten. Om ingen brunn hittas så testas nästa vinkelintervall i en lista av vinkelintervall som ökar successivt. Avståndet inom vilket skriptet ska välja ut en dagvattenbrunn till respektive fastighet anges av användaren utifrån lokala förhållanden.

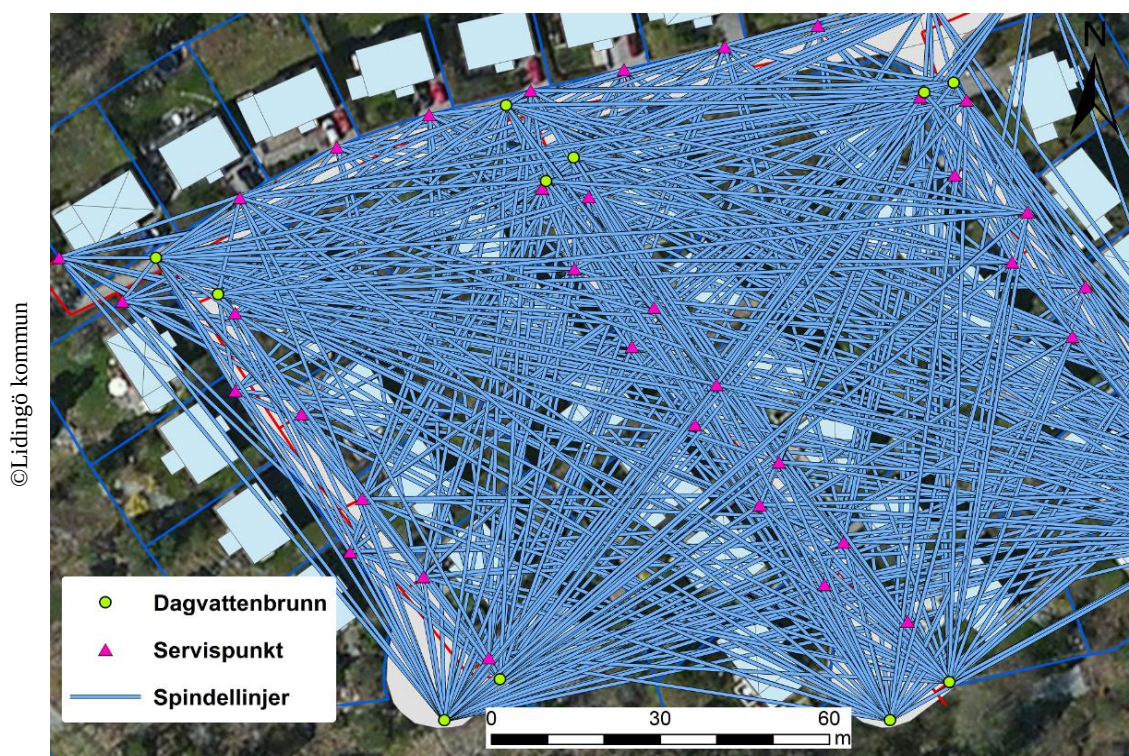
för den servispunkt som tillhör fastigheter.

Skript IV Läger ihop alla fastigheter som har tilldelats samma dagvattenbrunns ID-nummer till en och samma shapefil. En shapefil fås då för varje uppsättning av fastigheter som kommer tillhöra samma delavrinningsområde.

Egenskrivet skript

Fastigheter (polygoner) som i skript III tilldelats ett fält i attributtabellen med ID-nummer för den dagvattenbrunn de tillhör.

Figur 1 illustrerar resultatet av en körning av skript II. Från varje servispunkt går det en "spindellinje" till varje dagvattenbrunn i omgivningen.



Figur 1, illustration av "spindellinjer" som erhålls när skript II körs

Användning av ArcGIS- och GeoWizard-funktioner förekom mellan körningarna av skripten i algoritmen. Figur 2 visar översiktligt algoritmens steg i form av ett flödesschema med både skript och funktioner.



Figur 2, flödesschema över algoritmen för den objektorienterade beräkningsmetoden av delavrinningsområden

I algoritmen kunde inte funktionen "build konvex hull" göras automatiskt för alla shapefiler bestående av de fastigheter som tillhörde respektive dagvattenbrunn. Detta eftersom det krävde en betallicens till GeoWizard som inte fanns att tillgå. Manuell användning av funktionen var däremot tillgänglig varför de två sista stegen i försökstudien som presenteras i kapitel 2.2.3, endast utfördes för de avrinningsområden som ingick i jämförelsen.

2.1.3 Referensmetod

Referensmetoden består av handritade delavrinningsområden framtagna av specialister på hydraulisk modellering från Tyréns AB i Stockholm. Delavrinningsområdena anses vara "bästa gissningen" enligt aktuell kunskapsnivå. Indelningen av

avrinningsområdena har gjorts efter platsbesök där dagvattennätet, rännstenar, vägar och andra styrande faktorer har kartlagts (pers komm, Hammarlund). När referensmetodens delavrinningsområden skapades, låg fokus på att räkna med alla hårdgjorda ytor som är kopplade till dagvattennätet eftersom dessa resultat är de som främst används i den hydrauliska modelleringen.

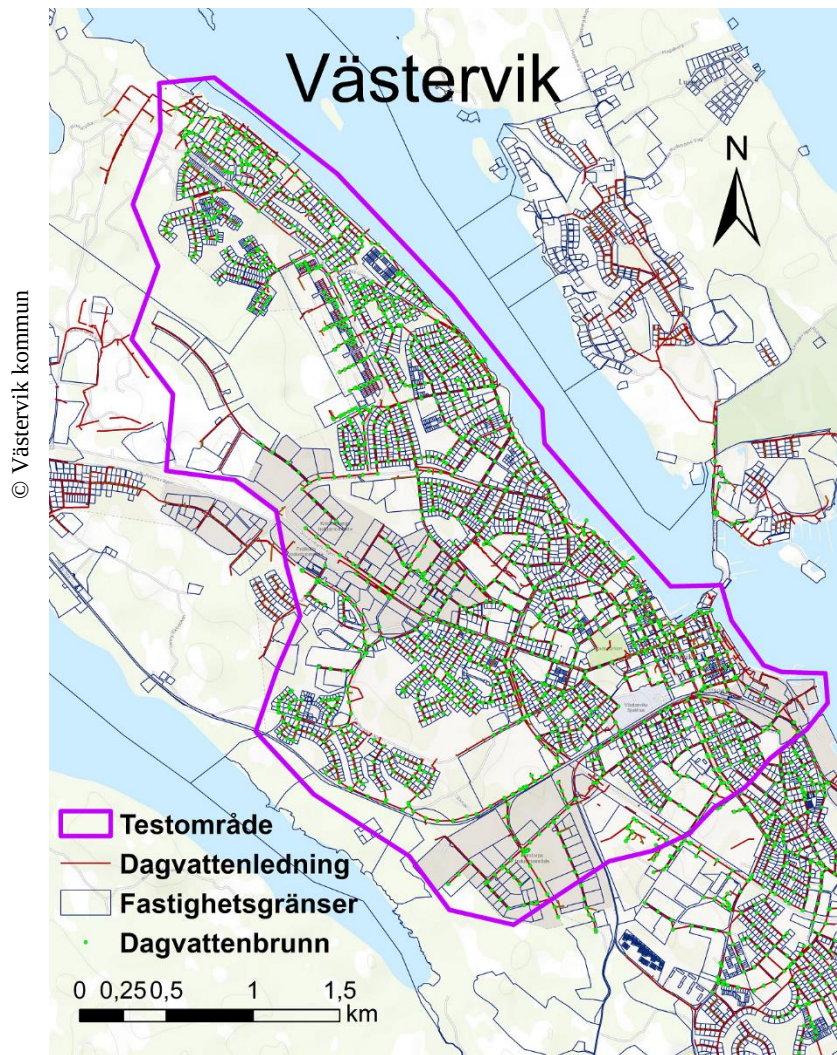
2.2 FÖRSÖKSTUDIE

I det här kapitlet presenteras en försöksstudie i två delar. Den första delen var ett test av den skapade, objektorienterade metoden på data från Lidingö- och Västerviks kommun. Den andra delen var en jämförande studie som utfördes på data från Västerviks kommun. Platserna och metoden presenteras såväl som data som användes i försöken.

2.2.1 Studieområden

Data från Lidingö kommun användes när den objektorienterade metoden skapades och testades. Lidingö är en ö utanför Stockholm som är drygt 3000 hektar (30 km^2) till ytan och har ungefär 45 000 invånare (Lidingö Stad, 2015). Kvarteret på Lidingö som användes låg på sydvästra delen av ön, var ungefär 4 hektar stort och innefattade 43 fastigheter och 13 dagvattenbrunnar. Lidingö valdes för att nödvändig data över infrastruktur och bebyggelse fanns tillgänglig.

Data från Västervik användes när de olika metoderna testades mot varandra. Västervik är en tätort belägen på södra delen av Sveriges östkust. Kommunen har totalt cirka 36 000 invånare (Västervik kommun, 2016). Figur 3 visar området på vilket testen utfördes. Testområdet var ungefär 900 hektar stor och innefattade cirka 2900 fastigheter med servisledningar samt 1470 dagvattenbrunnar. Vägar och byggnader utgör ungefär 30 procent av testområdets totala yta. Data fanns för ett betydligt större område varför det var nödvändigt att ta ut ett avgränsat testområde vilket valdes så att studien fokuserades till den urbana miljön. Västervik valdes för att nödvändig data över infrastruktur och bebyggelse fanns tillgänglig och för att manuellt utritade delavrinningsområden fanns att tillgå som referens i försöken.



Figur 3, karta över Västervik tätort och testområdet

2.2.2 Test av den objektorienterade algoritmen

Den objektorienterade algoritmen testkördes på ett kvarter på Lidingö som bestod av 43 fastigheter samt på testområdet i Västervik.

För att utvärdera hur väl algoritmen presterade beräknades för området på Lidingö, hur många huvudledningar i dagvattennätet som inte följde topografin och därför vändes av algoritmen, hur många huvudledningar som följde topografin men ändå var felvända i ArcGIS och därför efter inspektion vändes manuellt, samt antal fastigheter som kopplats till rätt dagvattenbrunn. Utvärdering gjordes på hur det såg ut när alla fastigheter som tillhörde samma dagvattenbrunn hade slagits ihop till en polygon som symboliserar delavrinningsområdet för den dagvattenbrunnen. En visuell utvärdering av de beräknade delavrinningsområdena gjordes också.

På området i Västervik som var betydligt större uppskattades antal fastigheter som kopplats till rätt dagvattenbrunn och antal huvudledningar i dagvattennätet som vändes av algoritmen beräknades. Det observerades också hur det såg ut när någon fastighet delats in på ett sånt sätt att delavrinningsområdet blivit helt felaktigt.

2.2.3 Jämförelse av avrinningsområden beräknade med fyra olika metoder

I det här kapitlet presenteras de olika beräkningsmetoderna samt testen som gjordes för att utvärdera dem.

2.2.3.1 Beräkningsmetoder

Tabell 2 beskriver de olika metoderna för beräkning av delavrinningsområden. Metoderna kommer härfter refereras till som metod 1, 2, 3 och 4 där metod 1 är referensmetoden.

Tabell 2, Beskrivning av de fyra metoderna som utvärderas

Metod	Beskrivning	Indata
1	Handritad indelning, referens	Dagvattenbrunnar, dagvattenledningar, fastighetsgränser, vägar, hus, fältobservationer, höjdmodell
2	Skapad objektorienterad algoritm	Fastighetsgränser, dagvattenledningar, vägar, dagvattenbrunnar, höjdmodell
3	Höjdmodellsbearbetning i ArcGIS med nedsänkning av dagvattenbrunnar, beräkning av delavrinningsområden i ArcGIS	Höjdmodell, dagvattenbrunnar, dagvattenledningar, ArcHydroTools
4	Höjdmodellsbearbetning i Whitebox GAT, nedsänkning av dagvattenbrunnar och beräkning av delavrinningsområden i ArcGIS	Höjdmodell, dagvattenbrunnar, dagvattenledningar, ArcHydroTools

Metoderna i Tabell 2 användes i tre olika test för att kunna jämföras och utvärderas gentemot referensmetoden och varandra. Jämförelsens kärna var att se hur väl referensmetodens delavrinningsområden kan uppskattas med en helt objektorienterad metod, samt med de två topografiska metoderna där bearbetningen av höjdmodellen gjorts på ett sätt som ämnar integrera dagvattennätet i topografin.

Referensmetodens delavrinningsområden innehöll fler än en dagvattenbrunn. Då delavrinningsområdena för metod 2, 3 och 4 alla beräknas på ett sätt som ska ge ett delavrinningsområde per dagvattenbrunn, så slogs delavrinningsområdena från respektive metod ihop för de dagvattenbrunnar som ingick i referensens delavrinningsområde.

2.2.3.2 Test A överensstämmelse med referensmetod

Test A gick ut på att se hur väl metoderna stämmer överens med referensmetoden, metod 1, med avseende på area, ledningslängd, dräneringstäthet, area hårdgjord yta samt andel hårdgjord yta. Dessa parametrar valdes för att de är av betydelse för efterföljande hydrauliska modelleringar. Dräneringstätheten är antal meter

ledningslängd per kvadratmeter områdesyta och fungerar som ett normaliserande mått på delavrinningsområdets avvattningskapacitet. Dräneringstätheten räknades ut som del av jämförelsen då den ger ytterligare information om överrensstämningen med referensen. Utvärderingen av metodernas duglighet utgick från hur väl parametrarna kunde uppskattas med de olika metoderna. Särskild vikt i utvärderingen lades vid total area hårdgjord yta och andel area hårdgjord yta vilka spelar störst roll för efterföljande hydrauliska modellering enligt Hammarlund (pers. komm).

I test A valdes ett beräknat delavrinningsområde ut och area, ledningslängd, dräneringstäthet och andel av olika typer av hårdgjord yta jämfördes. Det delavrinningsområde som valdes ut till test A var ett område där metod 2 hade lyckats koppla alla fastigheter till rätt dagvattenbrunnar. Valet gjordes för att målet med jämförelsen var utvärdera en korrekt, objektorienterad beräkningsmetod gentemot övriga metoder.

2.2.3.2 Test B korrelation mellan metoderna

Ytterligare tjugo områden slumpvaldes och användes i test B. Detta gjordes för att möjliggöra jämförelse av korrelationen mellan de olika metoderna- och referensens resultatserie. Korrelationen beräknades genom linjär regression av de olika metodernas resultatserier för de olika parametrarna gentemot referensmetodens. Test B syftade till att utvärdera hur väl de olika metoderna presterade överlag. Om ett område slumpvaldes där mer än 50 procent av fastigheterna saknade servisledning så slumpades ett nytt område fram eftersom ett område med för få medräknade byggnader inte skulle ge något resultat att jämföra.

2.2.3.3 Test C skillnader i resultat från beräkningsmetoder med olika algoritm för bearbetning av höjdmodellen

Test C var en jämförelse av skillnader som uppkommer när Whitebox GAT används för bearbetning av höjdmodellen jämfört med när ArcGIS används, det vill säga en jämförelse mellan metod 3 och metod 4. Whitebox GAT har påstått vara bättre än andra metoder för bearbetning av höjdmodellen i allmänhet, men särskilt på flacka områden (Lindsay, 2015). Jämförelsen gjordes för att avgöra om det gick att observera något, visuellt eller numeriskt, som låg till stöd för Lindsays (2015) teori om att Whitebox GATs bearbetningsmetod är bättre än andra.

2.2.4 Data

I försöksstudien användes geografisk data, både rasterdata och vektordata. Dessa innefattade en höjdmodell för Lidingö respektive Västervik, med en upplösning på 2x2 meter, samt shapefiler för infrastruktur och bebyggelse. Höjdmodellen är utgångspunkten för de topografiska beräkningsmetoderna, metod 3 och 4. Shapefilerna som användes bestod av polygoner för vägar och byggnader, punkter för dagvattenbrunnar samt linjer för fastighetsgränser och dagvattenledningar.

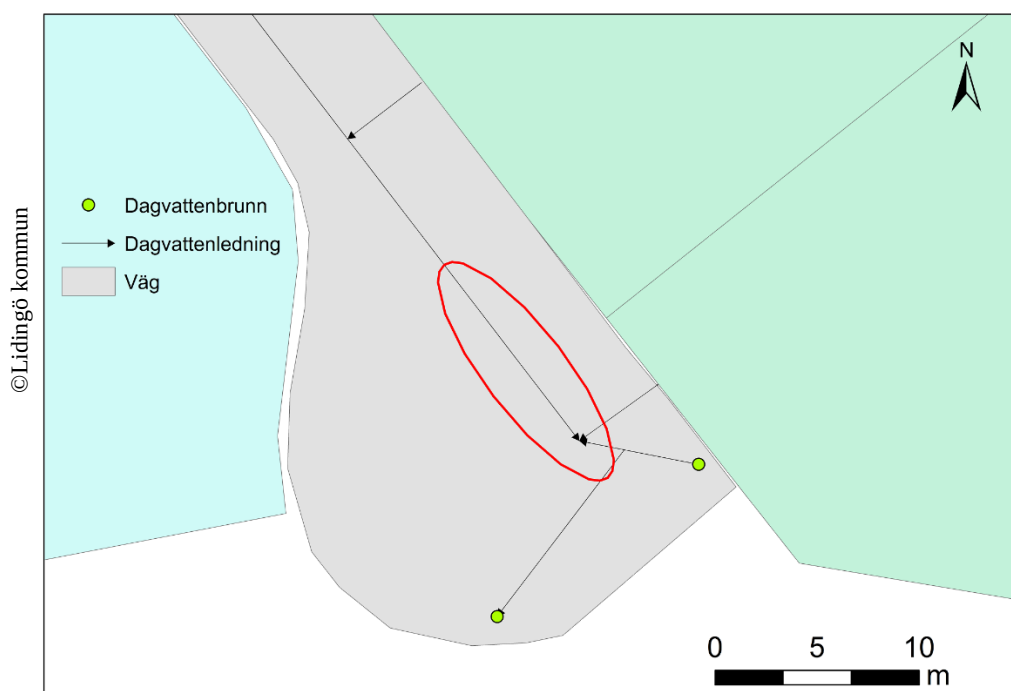
Höjddata och shapefiler som beskrivs ovan erhöles av respektive kommun. Dessa data är grundläggande och nödvändiga vid topografiskt baserad beräkning av avrinningsområden.

3 RESULTAT OCH OBSERVATIONER

Det här kapitlet redovisar resultaten av testet av den skapade, objektorienterade algoritmen samt jämförelsen av försökstudien med de fyra olika metoderna för delavrinningsområdesberäkning.

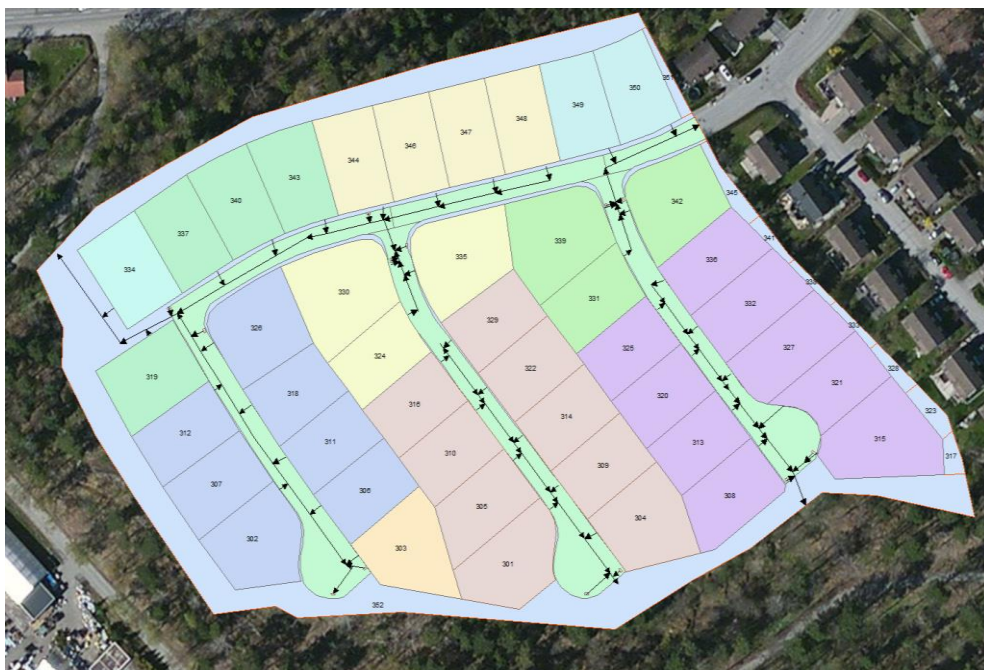
3.1 TESTET AV DEN NYA, OBJEKTORIENTERADE ALGORITMEN

På kvarteret på Lidingö hittade och vände algoritmen på alla huvudledningar i dagvattennätet som inte följde topografin. Figur 4 visar hur en huvudledning i dagvattennätet ändå är riktad mot två dagvattenbrunnar där dagvattennätet tar slut. Ledningen är antingen felaktigt inritad i GIS men vändes inte eftersom den följer topografin, alternativt så har den blivit felaktigt vänd. Det här är av stor betydelse för processen eftersom felvända huvudledningar ger en felaktig tilldelning av dagvattenbrunnar till fastigheterna. Av de 43 huvudledningar som fanns i kvarteret hittades och vändes 11 ledningar så att de fick korrekt riktning. 4 huvudledningar med felaktig riktning fanns dock fortfarande kvar. I det här området hade alltså 25 procent av huvudledningarna en felaktig riktning och efter att algoritmen hade körts hade ungefär 10 procent fortfarande felaktig riktning varför de fick vändas manuellt.



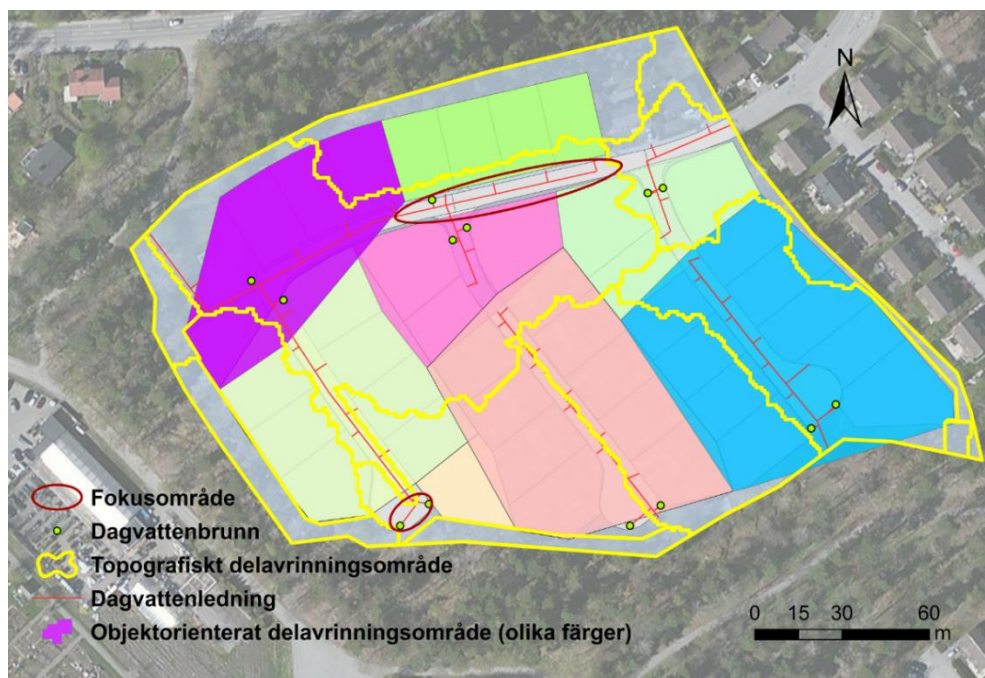
Figur 4, Illustration av dagvattenledning med felaktig riktning. Pilhuvudet i slutet av ledningen visar ledningens riktning. De gröna och blå områdena är fastigheter.

Samtliga 43 fastigheter kopplades till närmaste brunn nedströms i flödesriktningen i dagvattennätet, se Figur 5. De fastighetspolygoner som har samma färg i figuren har blivit kopplade till samma dagvattenbrunn.



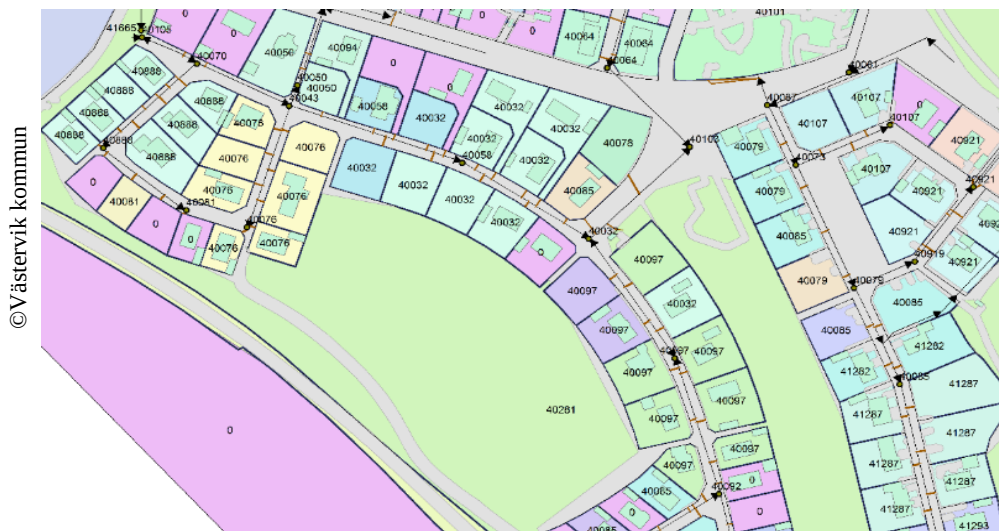
Figur 5, Illustration av steg i beräkningsalgoritmen där fastigheter delas in i grupper efter vilken dagvattenbrunn de kopplas till. Alla polygoner i samma färg i figuren tillhör samma brunn

Figur 6 visar hur delavrinningsområdena från algoritmen slutligen blev. I de fall då fastigheter endast ligger på ena sidan om vägen riskerar vägen att inte komma med i något delavrinningsområde vilket är ett problem, se fokusområdet i Figur 6. Figur 6 visar också topografiskt beräknade delavrinningsområden från metod 3.



Figur 6, Illustration av delavrinningsområden beräknade topografiskt eller med den objektorienterade algoritmen

För det betydligt större testområdet i Västervik lyckades skriptet tilldela dagvattenbrunnar till ungefär 80 procent av fastigheterna som hade servisledning. Många fastigheter i testområdet saknade servisledning. Knappt 10 procent av de ungefär 6000 huvudledningarna i dagvattennätet vändes av skriptet eftersom de inte följde topografin. Enstaka ledningar som fortfarande var felvända efter att korrigeringen gjorts, kunde observeras men hela området var för stort för att alla felvända ledningar skulle kunna hittas och vändas. Figur 7 illustrerar resultatet av indelningen av fastighetspolygoner till dagvattenbrunnar i ett område. Då området var stort och fastigheterna väldigt många var det svårt att avgöra hur stor andel som hade kopplats rätt. Uppskattningsvis blev åtta av tio fastigheter kopplade till en rimlig dagvattenbrunn. Det som kunde observeras i vissa områden var att vinkeln hade fått för stor betydelse i urvalet så att en brunn längre bort blev vald istället för en som låg närmare och med en något större skillnad i vinkel. I Västervik saknade ett stort antal fastigheter servisledning. De tilldelades då ingen dagvattenbrunn av algoritmen vilket gjorde att delavrinningsområden inte kunde beräknas överallt i området.



Figur 7. Översikt över område i Västervik där fastigheter delats in i grupper efter vilken dagvattenbrunn de tillhör. Fastigheter som har samma färg har tilldelats samma dagvattenbrunn.

Att beräkna delavrinningsområden med hjälp av de skript och automatiserade arbetsgångar som skapats tog ungefär en till två timmars manuellt arbete och de olika körningarna av skripten tar sammanlagt upp till 12 timmar för ett område motsvarande testområdet i Västervik.

3.2 FÖRSÖKSTUDIEN

I det här kapitlet redovisas resultaten från de tre olika testen som utfördes i försökstudien.

3.2.1 Test A, överensstämmelse med referensmetod

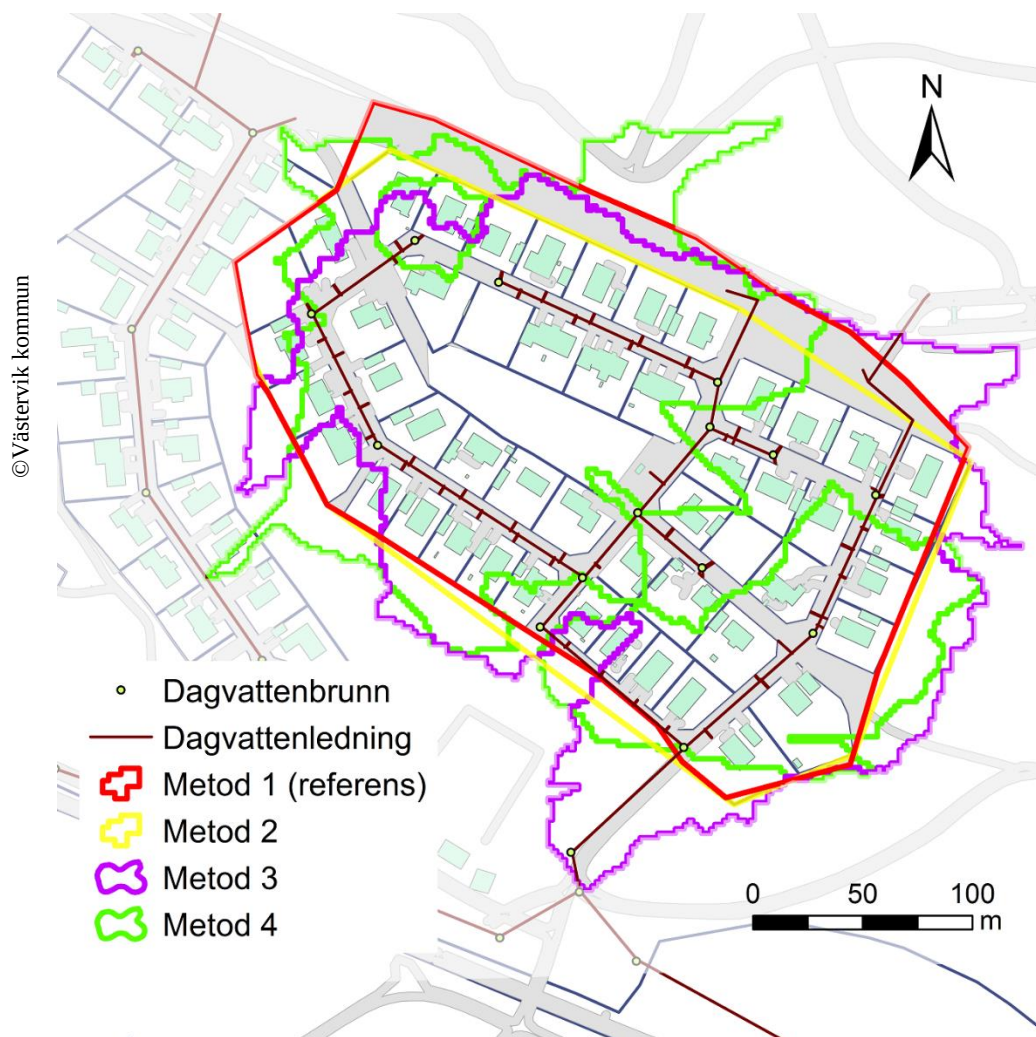
Tabell 3 redovisar resultaten för test A. Area, ledningslängd, dräneringsdensitet och olika mått på hårdgjorda ytor redovisas. Värdena är normaliserade med avseende på referensen, metod 1, enligt ekvation 1.

$$\text{Normaliserat värde} = \frac{\text{beräknat värde}}{\text{referensvärde}} \cdot 100 \quad (1)$$

Tabell 3, resultat av test A, normaliserat efter referensmetoden, metod 1. Värden >100 betyder att aktuell metod har överskattat en parameter och värden <100 betyder att den har underskattat den.

Parameter	Metod1	Metod2	Metod3	Metod4
Area väg	100	70	128	82
Area hus	100	100	87	84
Area övrigt	100	105	118	79
Area total	100	93	115	81
Area hårdgjord	100	80	111	83
Ledningslängd	100	97	111	93
Dräneringsdensitet	100	104	97	115
Andel hårdgjord yta	100	85	97	103

Figur 8 visar delavrinningsområdet som jämförelsen i Tabell 3 syftar till. Observera metod 4 som, till skillnad från övriga metoder, består av två mindre, sammankopplade delavrinningsområden istället för ett enda stort (se Figur 8).



Figur 8, Test A, ett utvalt delavrinningsområde beräknat med var och en av de fyra olika metoderna

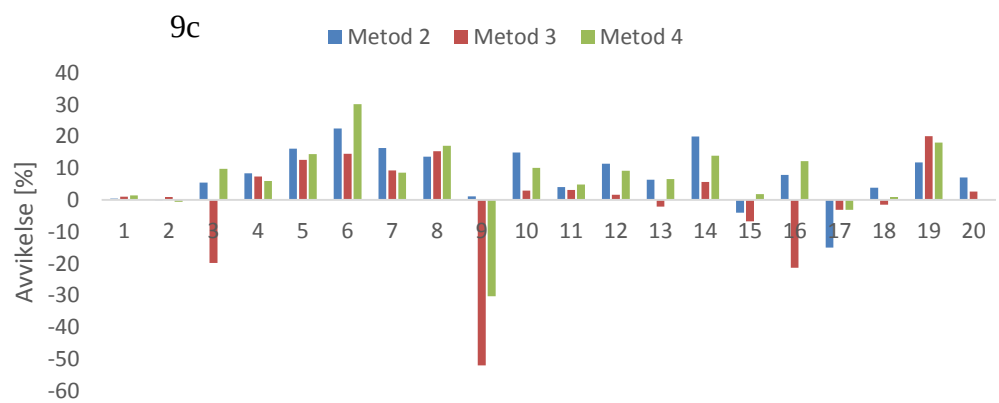
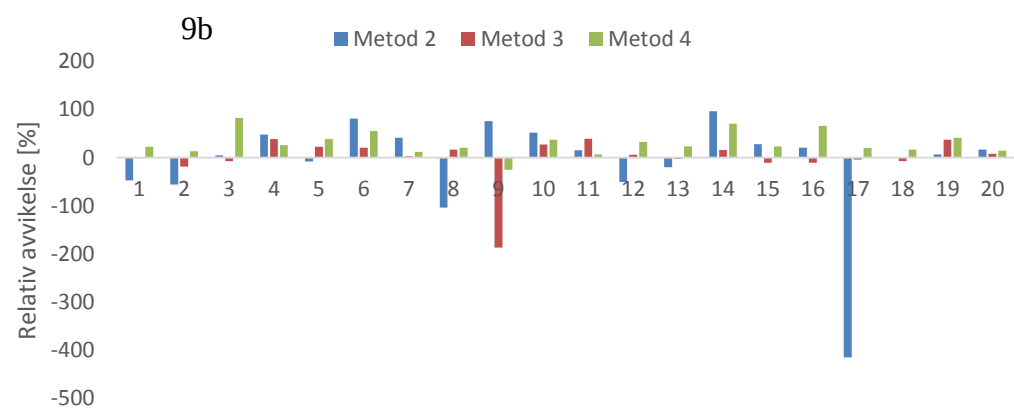
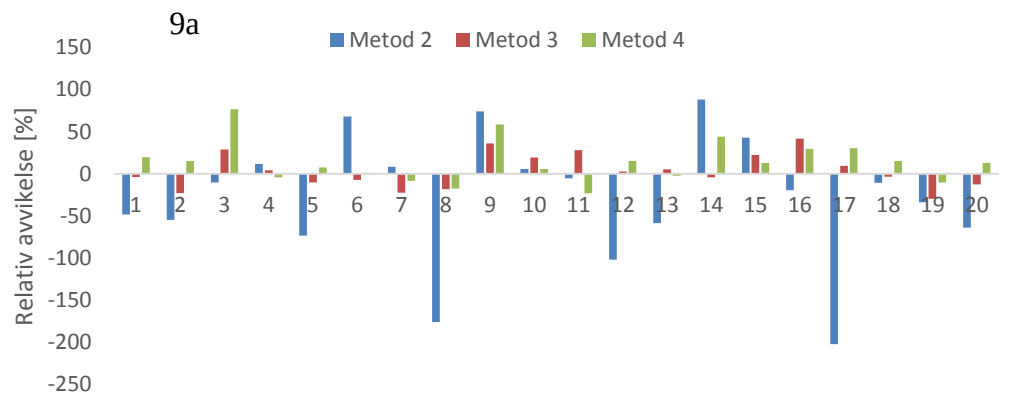
Tabell 3 visar jämförelsen för det utvalda delavrinningsområdet där metod 2 lyckades koppla alla fastigheter som hade servisledningar, till rätt dagvattenbrunnar. Överensstämmelsen är dock inte generell för alla delavrinningsområden.

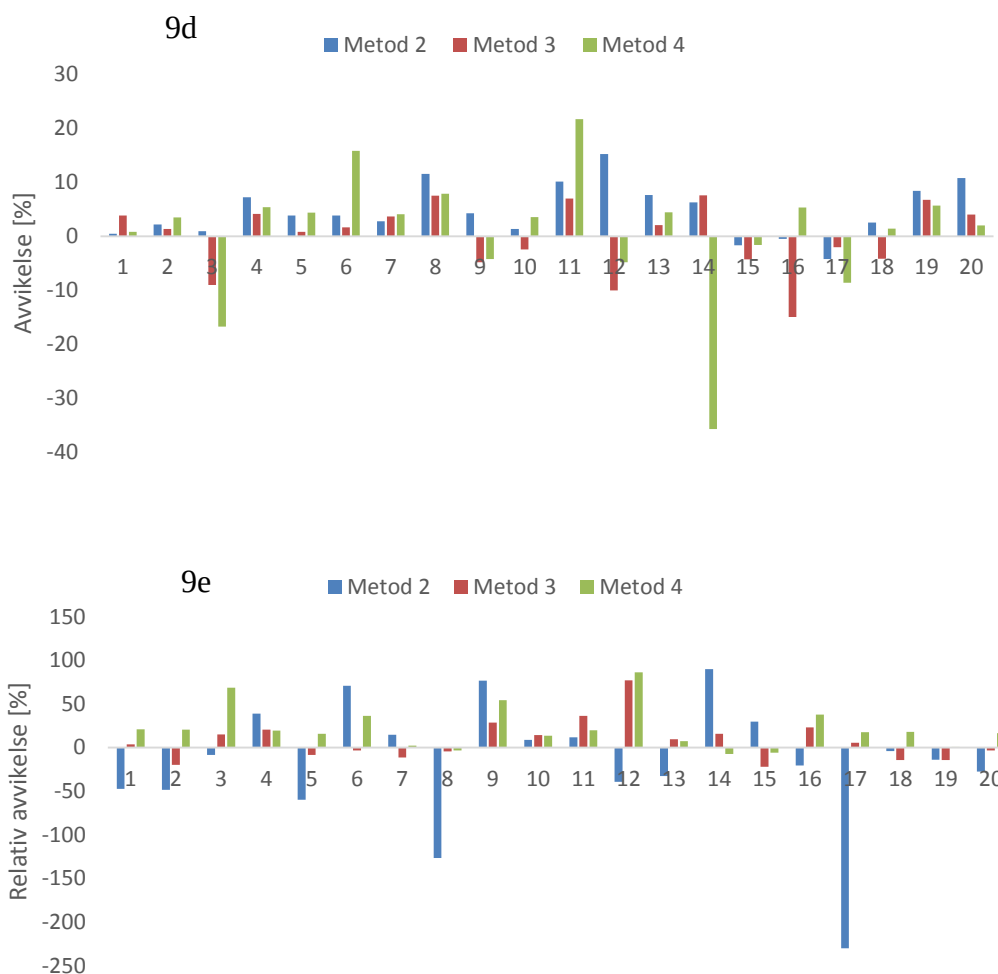
3.2.2 Test B, korrelation mellan metoderna

Figur 9 a-e visar resultaten från test B, jämförelsen av area, ledningslängd, dräneringsdensitet, andel hårdgjord yta och area hårdgjord yta för tjugo slumpmässigt utvalda delavrinningsområden, beräknade med de olika metoderna. Avvikelse och relativ avvikelse beräknas enligt ekvation 2 och 3. Alla avvikelser anges i procent.

$$\text{Avvikelse} = \text{referensvärde} - \text{beräknat värde} \quad (2)$$

$$\text{Relativ avvikelse} = \frac{\text{referensvärde} - \text{beräknat värde}}{\text{referensvärde}} \quad (3)$$

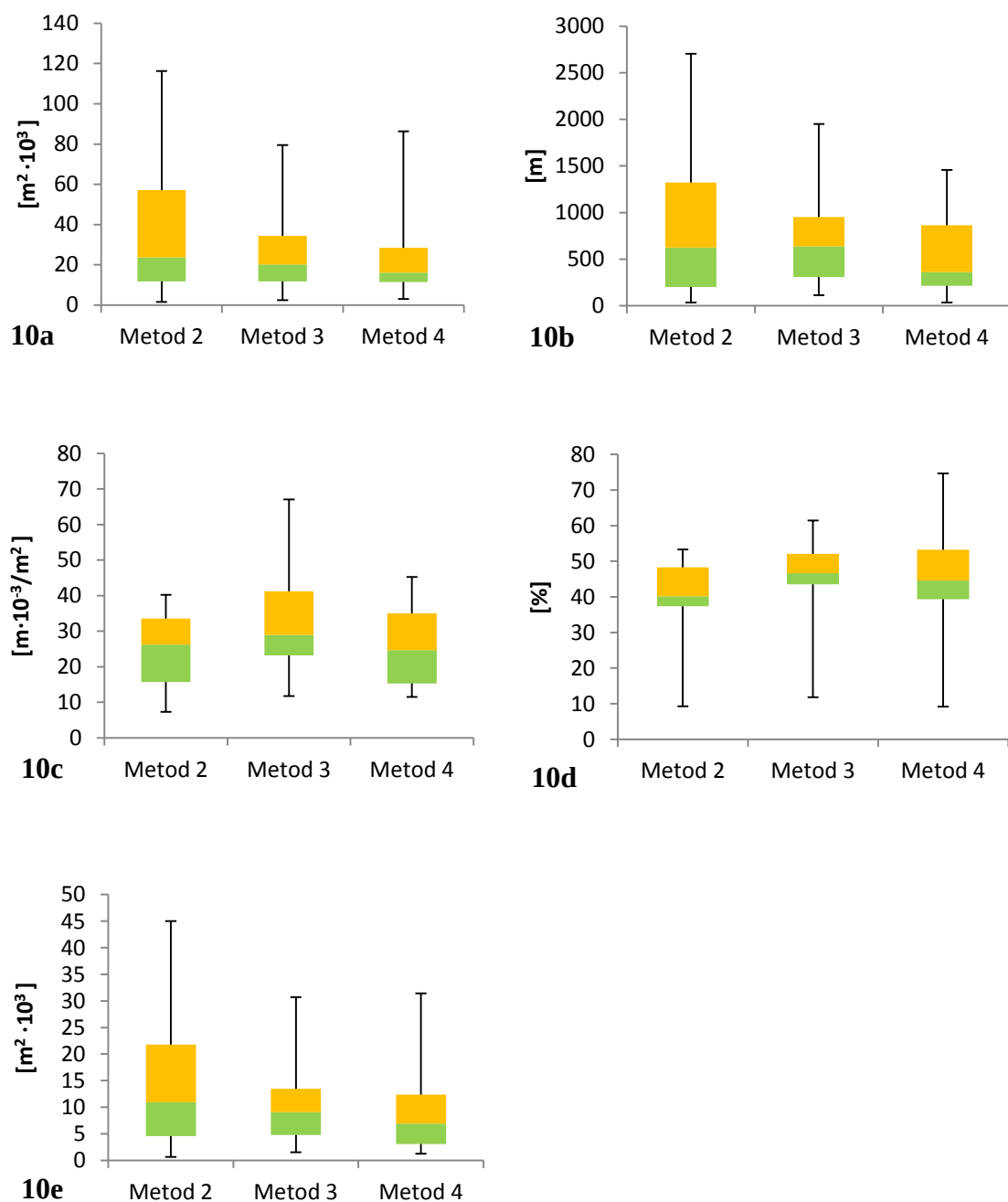




Figur 9a-e, diagram över **a)** area, **b)** ledningslängd, **c)** dräneringsdensitet, **d)** andel hårdgjord yta samt **e)** area hårdgjord yta för de olika metoderna på 20 slumpvalda delavrinningsområden

Överlag visar Figur 9 a-e ganska jämna resultat av de olika parametrarna för de olika metoderna. Det som kan observeras är att avvikelsen respektive den relativa avvikelsen för area, ledningslängd och hårdgjord yta för fyra till fem delavrinningsområden från metod 2 är högre än för resterande metoder (Figur 9a, 9b, 9e). Vidare är dräneringstätheten högre för metod 3 för några delavrinningsområden och på några delavrinningsområden har både metod 2, 3 och 4 ett lägre värde än referensen på samma parameter (Figur 9c).

Figur 10a-e visar statistik för resultatserierna för de olika parametrarna beräknade med de olika metoderna. Ur boxplottarna utläses minimivärden, maxvärden, medianvärde samt 25%- och 75%-percentilerna.



Figur 10a-e, boxplottar över resultat av test B för metod 2, 3 och 4 för **a)** area, **b)** ledningslängd, **c)** dräneringsdensitet, **d)** andel hårdgjord yta samt **e)** area hårdgjord yta

I figur 10 syns återigen att det är stor spridning på värdena beräknade med metod 2 för area, ledningslängd och area hårdgjord yta (Figur 10a, 10b, 10e) och att maxvärdena för de parametrarna är högre för metod 2 än för resterande metoder. För samma parametrar syns i figur 10 också att det finns en förskjutning åt värden högre än medianvärdet för metod 2. Metod 4 har något lägre medianvärden för area, ledningslängd och area hårdgjord yta än övriga metoder (Figur 10a, 10b, 10e). För dräneringsdensiteten har metod 3 högre maxvärde och också större spridning än övriga metoder.

Tabell 4 visar korrelationen mellan resultaten för de 20 delavrinningsområdena för metod 2, 3 och 4 jämfört med referensmetoden, metod 1, på resultatserierna för de olika parametrarna. Av det kan utläsas att de topografiska metoderna, metod 3 och 4, har stor korrelation för både area och ledningslängd, men de normaliserande värdena för dräneringsdensitet har sämre korrelation, allra lägst i metod 3. Metod 2 har något lägre korrelation vad gäller area och ledningslängd men lika bra korrelation för dräneringstätheten och högst korrelation av alla metoder vad gäller andel hårdgjord yta.

Tabell 4, korrelationskoefficienter för de olika metoderna relativt referensen, på resultatserier av fyra målparametrar

Korrelation med Metod 1	Metod 2	Metod 3	Metod 4
Area totalt	0,79	0,99	0,97
Ledningslängd	0,67	0,95	0,93
Dräneringstäthet	0,73	0,32	0,50
Area hårdgjord yta	0,79	0,88	0,87
Andel hårdgjord yta	0,92	0,87	0,64

För att se hur resultatet blev för metod 2 om algoritmen i större utsträckning lyckades med den objektorienterade indelningen, så togs de fem delavrinningsområden bort där totalarean skilde sig mest från referensen varpå korrelationen åter beräknades. Detta gjordes för att eliminera de delavrinningsområden där metod 2 har misslyckats med indelningen av fastigheter till dagvattenbrunnarna. Tabell 5 visar beräknad korrelation när delavrinningsområde 8, 9, 12, 14 och 17 tagits bort.

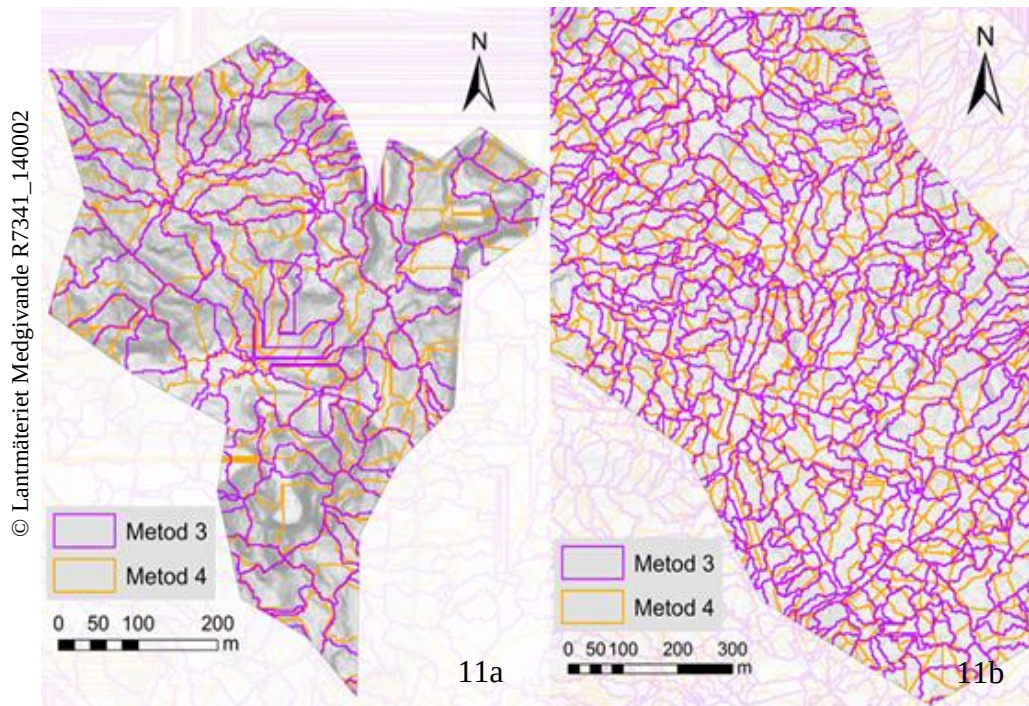
Tabell 5, korrelation gentemot referensen, sett till 15 delavrinningsområdena för metod 2

Korr med metod 1	Metod 2
Area	0,91
Ledningslängd	0,88
Dräneringsdensitet	0,81
Area hårdgjord	0,94
Andel hårdgjord yta	0,95

3.2.3 Test C, skillnader i resultat från beräkningsmetoder med olika algoritm för bearbetning av höjdmodellen

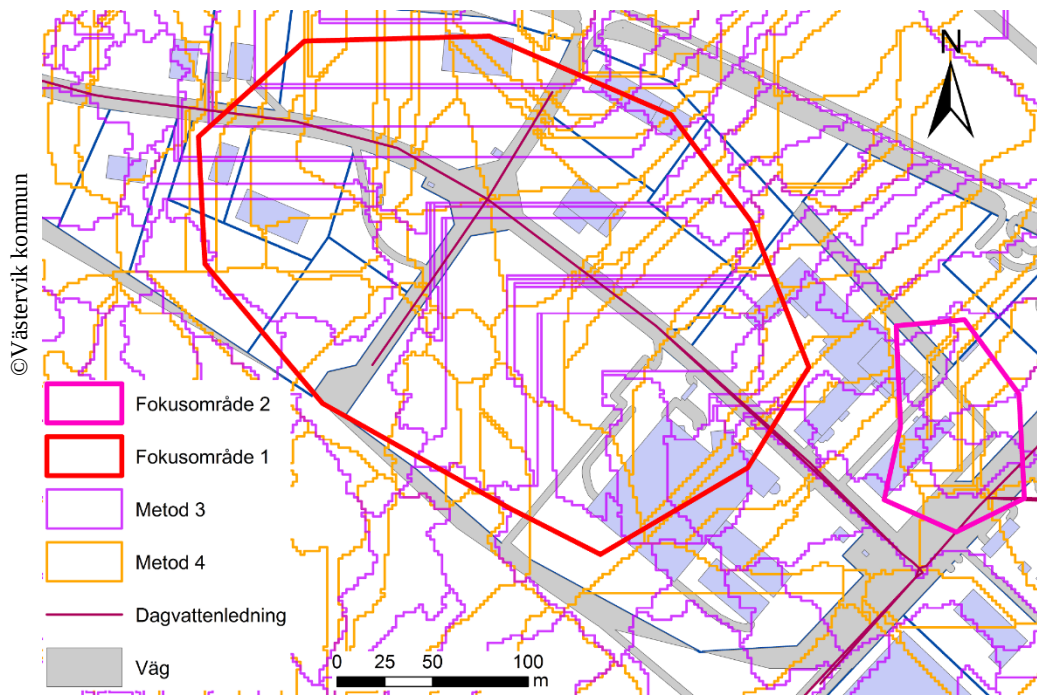
Jämförelse av ArcGIS och Whitebox GATs metod för hantering av sänkor och bearbetning av höjdmodeller.

Figur 11a och 11b visar exempel på delavrinningsområden i flacka respektive kuperade områden. Mellan dessa områden med olika grad av kupering är det svårt att se vad skillnaden är förutom att vattendelarna har olika placering.



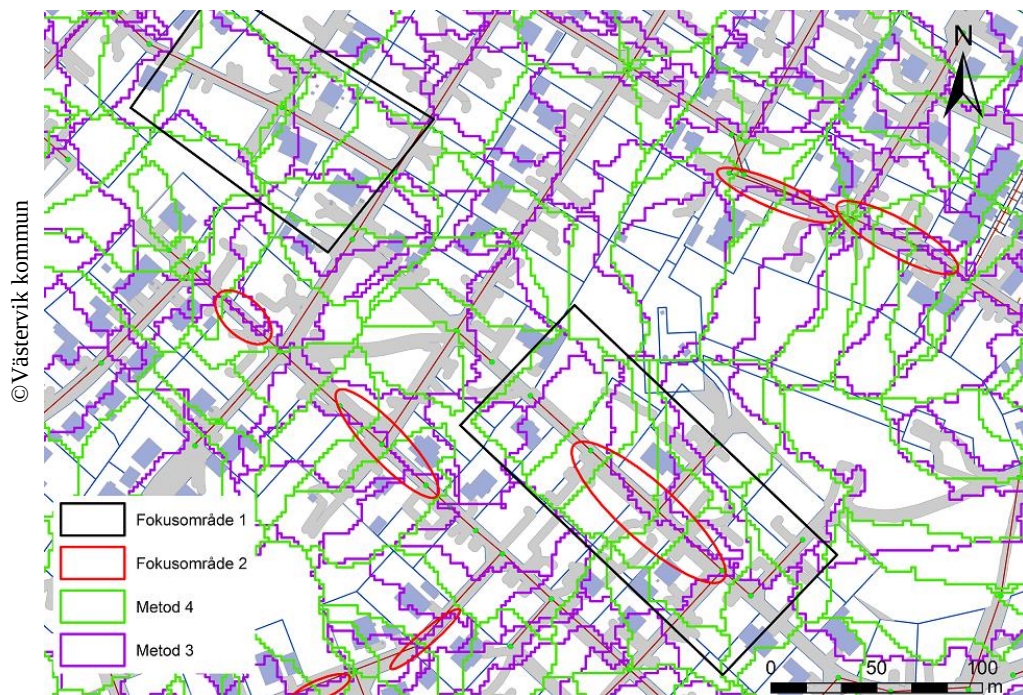
Figur 11a-b, delavrinningsområden beräknade i **a)** kuperade respektive **b)** flacka områden med metod 3 och 4. Observera att det är olika skalor i figurerna.

Figur 11a och 11b visar att placeringen av vattendelarna blir annorlunda för de två olika topografiska beräkningsmetoderna. Figur 12 visar hur skillnaden kan se ut mellan i ett område som i princip inte har någon lutning alls. Där syns att både metod 3 och metod 4 har svårt att bestämma delavrinningsområden i de mest flacka områdena vilket resulterar i vattendelarna ritas ut som raka linjer istället. Metoderna har problem på olika ställen men metod 3 har ett större område med raka linjer än vad metod 4 har.



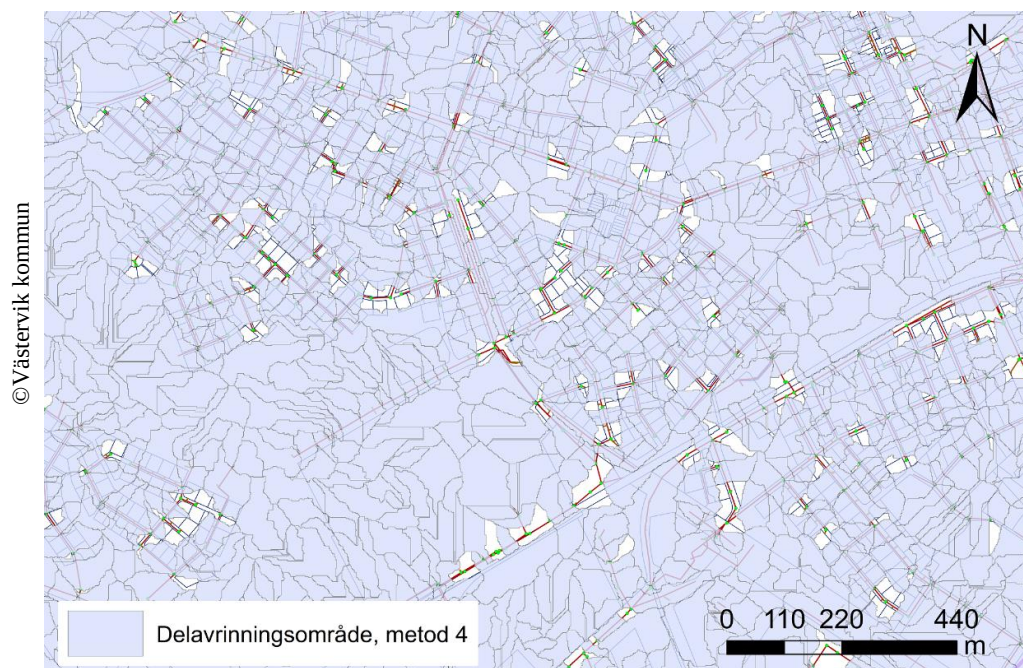
Figur 12, delavrinningsområden i ett flackt område beräknade med metod 3 och 4 som har olika algoritmer för bearbetning av höjdmodellen

Figur 13 visar på två fenomen som observerats för delavrinningsområdena beräknade med metod 3 och 4. I fokusområde 1 i Figur 13 syns en önskvärd form på delavrinningsområden som innebär att vattendelarna går i närheten av fastighetsgränserna längst bort från vägen och att fastigheterna på var sida om dagvattenledningen ingår i samma delavrinningsområde. Det tyder på att bearbetning av höjdmodellen med metod 4 i högre grad ger önskat utslag i vattendelarnas placering och form. I fokusområde 2 syns ett av problemen med beräkningen som den objektorienterade indelningen i metod 2 avsåg att avhjälpa, nämligen att vattendelare går parallellt längs med vägarna istället för att skära dem rakt över.



Figur 13, illustration av placering av vattendelare för metod 3 respektive 4

Kombinationen av höjdmodellsbearbetning i Whitebox GAT och beräkning av delavrinningsområden i ArcGIS som användes i metod 4, resulterade i att det på vissa ställen blev "hål" i täcket av delavrinningsområden i området. Figur 14 visar exempel på detta. De vita områdena i figuren tillhör, enligt den beräkningen, inget delavrinningsområde alls. Detta är ett oönskat resultat då all yta ska vara med i beräkningarna. Det här förklarar också den avvikande formen på delavrinningsområdet från metod 4 i test A som illustrerades i Figur 8.



Figur 14, illustration av täcket av delavrinningsområden där "hål" uppkommit när metod 4 användes för beräkningen

4 DISKUSSION

I följande stycken diskuteras resultaten av de olika testen, osäkerheter vad gäller data och antaganden samt den slutliga skillnaden mellan resultaten av de topografiskt beräknade delavrinningsområdena och de delavrinningsområden som beräknats med den objektorienterade algoritmen.

4.1 DEN NYA, OBJEKTORIENTERADE ALGORITMEN

Testet av den objektorienterade algoritmen visar att idén med algoritmen och de olika stegen är genomförbar. Metoden skulle troligtvis kunna fortsätta utvecklas och göras betydligt mer effektiv, men det låg utanför tidsramarna för det här projektet. Det finns ett flertal saker som behöver lösas för att precisionen ska bli större och tilldelningen av fastigheter till brunnarna ska bli bättre.

Om en helt objektorienterad algoritm ska användas, bör även de fastigheter som saknar servisledningar delas in. Problemen med det är att det inte är säkert att anta att en fastighet som saknar servisledning ska kopplas åt dagvattenledningens håll.

Skapandet av ett nätverk av dagvattenledningarna i ArcGIS "Network analyst" skulle i teorin kunna göra indelningen av fastigheter till brunnarna mer träffsäker, men i och med vad som framkommit i det här projektet om omfattningen av felvända dagvattenledningar, så skulle troligen Network analyst ge stora fel så den kräver att linjerna är vända åt rätt håll för att ett nätverk ska kunna skapas.

De felvända dagvattenledningarna är förvisso ett problem i algoritmen, men om skript III förbättras så att det alltid är den närmaste dagvattenbrunnen på huvudledningen utanför fastigheten som väljs så skulle i värsta fall fastigheterna kopplas till brunnen uppströms istället för nedströms. Om hela ledningssträckningar betraktas spelar det mindre roll eftersom det troligtvis ändå blir samma sträckning av ledningar som får fastigheten tilldelad sig. Att vända på dagvattenledningar helt utifrån topografin kan också vara riskabelt eftersom de ledningarna kan ha grävts ner på ett sånt djup att vattnet rinner med självfall även om ledningen inte följer markytans lutning överallt.

Tilldelningen av fastigheter till brunnar skulle definitivt kunna göras både mer precis och mer effektiv. En strategi för hur stor vikt som ska läggas vid vinkelintervall respektive avstånd i urvalet bör tas fram, samt ett sätt att kalibrera dessa förhållanden efter platsspecifika förutsättningar. I Västervik observerades att ett flertal av de fall där indelningen var fel, berodde på att en brunn längre bort hade valts för att den fick en mindre skillnad i vinkel just tack vare det större avståndet. Det går dock inte att rakt av välja den närmaste brunnen eftersom den kan ligga på en annan ledningssträckning, men större vikt åt avståndet och möjlighet till platsspecifik kalibrering i skript III skulle kunna förbättra algoritmen. I Västervik var det 20 % av fastigheterna som inte tilldelades någon dagvattenbrunn trots att de hade servisledningar. Det problemet tyder ytterligare på att platsspecifik kalibrering av vinkel och avstånd mellan fastigheter och dagvattenbrunnar behöver göras.

När de fastigheter som valts ut till respektive brunn sedan slås ihop med GeoWizards funktion ”build konvex hull” så finns det två saker som kan gå fel. Det ena är om en fastighet långt bort felaktigt tilldelats samma dagvattenbrunn som resterande fastigheter som hör till dagvattenbrunnen. Då kommer all area mellan den fastigheten och resterande fastigheter att komma med i den resulterande polygonen. Att i skriptet lägga in en varning när fastigheter kopplas till en dagvattenbrunn långt bort, så att manuell utvärdering kan göras, skulle kunna avhjälpa det problemet. Alternativt skulle det problemet kunna avhjälpas om det maximala avståndet programmerades in redan i skript II, då skulle dessutom betydligt färre linjer behöva skapas vilket skulle spara både tid och mängd data. Det andra problemet är när fastigheter som tillhör en brunn endast ligger på en sida om vägen eftersom vägen då inte räknas med i delavrinningsområdet. Möjligheten att skapa en buffert i riktning av servisleddningarna ut från den skapade polygonen skulle kunna lösa det problemet.

Med en licens till GeoWizard skulle det inte behöva göras några manuella steg mellan de som lagts i automatiserade arbetsflöden. Det skulle effektivisera processen mycket. Dessutom skulle flera tunga processer, både skapandet av spindellinjerna och indelningen av fastigheter till brunnarna kunna göras ”in memory” det vill säga att det inte skapas några faktiska shapefiler förrän delavrinningsområdena är färdiga. Som algoritmen är nu skapas det filer mellan alla steg vilket tar stor plats och gör algoritmen betydligt långsammare än den skulle behöva vara.

Det finns sammantaget ett stort behov av vidareutveckling av algoritmen om den ska användas för beräkning av delavrinningsområden. Dock visar Tabell 5 från test B i försökstudien på att det finns god potential för algoritmen att uppskatta de olika viktiga parametrarna bra för delavrinningsområden i den urbana miljön om algoritmen förbättras.

4.2 FÖRSÖKSTUDIEN

I test A är den objektorienterade metoden, metod 2, bättre än metod 3 på uppskattningen av fyra av sju undersökta parametrar och bättre än metod 4 på fem av sju parametrar. Att endast se till antal parametrar för att avgöra vilken metod som är bäst går inte utan att värdera vilka parametrar som är viktigast för efterföljande modelleringar. Eftersom arean av hårdgjorda ytor och då framförallt hustakytorna spelar störst roll, talar det till fördel för metod 2 och 3. Metod 2 fick med precis all takyta som ritats in i referensen. På sammanlagd hårdgjord yta var metod 3 dock bättre än metod 2 på grund av fenomenet med missade vägstycken som illustrerades i Figur 6 och också syns i Figur 8 över delavrinningsområdet från test A. Det påverkar resultaten för hårdgjord yta i relativt stor utsträckning, vilket syns på resultaten av total hårdgjord yta och andel hårdgjord yta för metod 2 i test A. I jämförelsen av total hårdgjord yta i test B på de 20 slumpvalda delavrinningsområdena visar sig metod 2 ha något lägre korrelation till referensen än övriga metoder som jämfördes.

Överensstämmelsen i placering av vattendelarna är betydligt bättre i metod 2 i test A än övriga metoder, vilket syns i figur 14. Resultaten visar, i likhet med vad Jankowskysy

med flera (2013) kommit fram till, att en väl fungerande objektorienterad metod kan ge en bättre approximation av ett avrinningsområde i urban miljö än vad en topografiskt baserad gör. I test A har metod 2 bäst resultat för dräneringsdensitet och ledningslängd vilket Jankowsky med flera (2013) också konstaterar att en objektorienterad metod kan åstadkomma.

Resultatet från test A och det faktum att de viktigaste parametrarna för att utvärdera metodernas duglighet är hårdgjord yta, framförallt hustak, och andel hårdgjord yta så kan metod 2, den objektorienterade metoden, anses ha presterat bäst av metoderna för det området. Dock var den här formen på område väldigt passande för att slå ihop fastigheterna på det sättet som metod 2 gör, det kan finnas områden där resultaten blir sämre, till exempel om alla fastigheter skulle ha legat på samma sida om en väg.

Tabell 4 visar att metod 2 har lägre korrelation till referensen än vad metod 3 och 4 har vad gäller area och ledningslängd, men högre korrelation än dessa för dräneringsdensiteten. Förklaring till detta hittas i Figur 9. Några gånger har nämligen metod 2 gett en för stor area för delavrinningsområdet men då har även ledningslängden överskattats, vilket resulterar i hög korrelation vad gäller dräneringstätheten. Detta tycks inträffa på de delavrinningsområden där algoritmen för metod 2 har lyckats dåligt med indelningen av fastigheter.

Metod 4 gav sämst uppskattning av den totala arean i test A med 19 procent för liten area. Utan problemet med de saknade ytorna i indelningen av delavrinningsområden som illustrerats i Figur 14 blir felet betydligt mindre. Det skulle vara intressant att se hur resultaten skulle bli om kombinationen av Whitebox GATs algoritmer för bearbetning av höjdmodellen och ArcGIS process för beräkning av avrinningsområden utvecklades. Det skulle troligen gå att hitta ett sätt att göra detta men det låg utanför det här projektet.

I test B har metod 3 högst korrelation för area och ledningslängd av metoderna, men samtidigt lägst korrelation för dräneringstätheten. Eventuellt spelar dräneringsdensiteten mindre roll vid så pass hög korrelation på både arean och ledningslängden men det visar på större oregelbundenhet i delavrinningsområdets form, vilket gör att risken att få fel proportioner på hårdgjord respektive icke hårdgjord yta, är stor. Om formen varierar som för metod 4 i Figur 8, så riskerar metoden att få för låga värden på till exempel ledningslängden vilket också observerades för topografiska metoder med sänkning av dagvattenledningarna i Jankowskys studie (2013). I det här projektet var däremot korrelationen gentemot referensmetoden hög för de topografiska metoderna med avseende på ledningslängd. I Tabell 4 utläses att metod 4 nästan har lika hög korrelation som metod 3 för area och ledningslängd men högre korrelation för dräneringstätheten och lägre för andel hårdgjord yta. Om metod 4 kunde förbättras enligt vad som diskuterats tidigare så kunde troligtvis högre korrelationen erhållas. Resultaten för metod 3 och 4 från test B som redovisas i Tabell 4 visar att metod 3 och 4 har

ganska likvärdig korrelation till referensmetoden, metod 3 presterar bättre, men ytterst lite, på alla parametrar utom dräneringstätheten.

Det faktum att områden togs med i test B där fastigheter saknar servisledningar påverkar resultatet för metod 2. Tack vare att de fastigheterna låg utspridda, ibland mellan byggnader som hade servisledningar, kommer byggnaderna ofta med i det beräknade delavrinningsområdet i alla fall. Problem uppstår om fastigheterna utan servisledningar ligger ute i hörnen av delavrinningsområdena. Att områden som hade mindre än 50 procent fastigheter med servisledningar valdes bort innan jämförelsen spelar roll för det här resultatet. Dock så innehöll nästan varje delavrinningsområde en eller flera fastigheter utan servisledningar varför valet ändå blev att göra så. De fastigheter som saknade servisledningar men ändå var med i testen, tros inte ha påverkat resultatet i särskilt stor utsträckning, varför de kunde tillåtas vara med trots att studien egentligen gällde fastigheter med servisledningar.

Figur 12 visar skillnaden som uppkommer, framförallt i flacka områden, när den alternativa metoden för bearbetning av höjdmodellen används. Det talar för att algoritmen för bearbetning som används i metod 4 är bättre än konventionella algoritmer vilket Lindsay (2015) också fastställer i sin rapport. Intressant var också resultatet som illustreras i Figur 13 där metod 4 visar på de önskade förbättringarna av lokaliseringen av vattendelarna runt det nedsänkta dagvattennätet gentemot metod 3. Om den förbättringen beror på den alternativa metoden för hantering av sänkor, den alternativa metoden för nedsänkning av dagvattenledningarna i höjdmodellen, eller av en kombination av dem båda är dock oklart eftersom båda användes i det här projektet. Att vattendelare kunde placeras i områden där dagvattenledningarna var nedsänkta var dock ett oväntat resultat. Det beror sannolikt på att topografin går vinkelrätt mot dagvattenledningen vilket gör att det faktiskt blir en vattendelare även när dagvattenledningen är nedsänkt.

Metod 4 medför förbättringar vad gäller avrinningsområden i flacka områden och vattendelarnas placering i närheten av dagvattenledningar. Dock har den ändå något sämre korrelation till referensen än metod 4 för de olika målparametrarna (Tabell 4). En förbättring av metod 4, så att delavrinningsområdena täcker hela markytan, skulle göra att metod 4 skulle kunna anses bättre än metod 3. I dagsläget är dock metod 3 något bättre.

4.3 SKILLNADEN MELLAN DEN OBJEKTORIENTERADE OCH DE TOPOGRAFISKA BERÄKNINGSMETODERNA

Sammantaget beskriver den framtagna, objektorienterade metoden delavrinningsområdet från referensmetoden endast bättre än de topografiska när den lyckas med indelningen av rätt fastigheter till rätt dagvattenbrunn. Det händer dock att den inte lyckas perfekt, vilket påverkar slutresultatet. Körtiden för skripten i den objektorienterade algoritmen är i dagsläget betydligt längre och kräver mer arbete än vad de topografiska metoderna kräver. Den skulle dock gå att förbättra och effektivisera enligt vad som framkommit i kapitel 4.1. Den topografiska metoden skulle också

potentiellt kunna utvecklas till det bättre om ett bra sätt att kombinera Whitebox GATs metod för bearbetning av höjdmodellen med ArcGIS metod för beräkning av delavrinningsområdena utreddes.

Skillnaderna mellan den objektorienterade metoden och de topografiska som behandlats är, förutom arbetsinsatsen, att de topografiska ofta presterar bra vad gäller uppskattning av total area och ledningslängd, men i och med en mer oregelbunden form på delavrinningsområdet stämmer total hårdgjord yta, andelarna hårdgjord yta och den normaliserande dräneringsdensiteten inte alltid lika bra överens med referensen. Den objektorienterade metoden är då förhållandevis bra på att approximera hårdgjord yta, andelarna hårdgjord yta och dräneringstäthet, förutsatt att indelningen av fastigheter lyckas. I de fallen då den objektorienterade algoritmen misslyckas blir dock felet i resultatet av den totala arean för delavrinningsområdet oacceptabelt stor. Den objektorienterade metoden är den bästa metoden om den fungerar fullt ut, men inte tillräckligt bra i de fall då den misslyckas. Den känsligheten i algoritmen gör att en av de topografiska metoderna, metod 3 eller metod 4 om den förbättras, är att föredra om inte algoritmen för metod 2 effektiviseras och görs mer träffsäker och robust. Om en kombination av Whitebox GAT och ArcGIS funktioner hittas så att lika bra överensstämmelse med referensen erhålls med den kombinerade metoden, så är den att föredra över den befintliga topografiska tack vare bättre analys av flödesriktningar i flacka områden och bättre placering av vattendelare i områden där dagvattenledningar sänkts ner i höjdmodellen. En ytterligare skillnad är att topografiskt baserade delavrinningsområden kan beräknas utan tillgång till data över dagvattennätet även om ledningarna då inte kan sänkas ner för att förbättra resultatet. Utan data över dagvattennätet kan den objektorienterade algoritmen inte användas alls.

4.4 DATA OCH ANTAGANDEN

Det här projektet har utförts under antagandet att referensmetoden är den bästa gissningen av det urbana delavrinningsområdet. De handritade delavrinningsområdena som utgör referensen i den här metoden har dock väldigt stort fokus på hårdgjorda ytor då det är dessa som spelar störst roll för den efterföljande hydrauliska modelleringen. Referensens delavrinningsområden är framtagna efter platsbesök och kartläggning av diken, rännstenar med mera men har utgångspunkt i att modellering ska göras på resultaten för främst total hårdgjord yta. I och med detta är den totala arean av avrinningsområdet inte lika intressant för referensmetoden vilket också kan ses i Figur 8 där referensens delavrinningsområde är väldigt begränsat till bebyggelsen. Av den anledningen är total area egentligen inte en så bra parameter att jämföra då till exempel metod 3 troligtvis stämmer bättre överens med det verkliga delavrinningsområdets area (se Figur 8). Om metod 3 är närmare sanningen vad gäller den parametern så är det inte så intressant att se hur väl den totala arean, i en metod där den totala arean inte spelar så stor roll, kan uppskattas med en metod där den gör det. I övrigt påverkar antagandet om "bästa gissningen" inte resultaten då målet var att jämföra de olika metoderna med just den referensmetoden. Referensens delavrinningsområden innesluter alla de viktigaste ytorna som behöver beräknas för att kunna göra hydrauliska modeller på resultaten och

därför blir jämförelsen som gjorts i det här projektet ett test på hur väl de olika metoderna kan uppskatta de olika parametrar som behövs till hydraulisk modellering, snarare än ett test på hur väl de beskriver det riktiga delavrinningsområdet.

Algoritmen i metod 2 utgår från antagandet att en hel fastighet, som har en servisledning, ska kopplas åt dagvattnets håll. Till exempel vid ett skyfall så kan vattenmättnad i marken leda till ytavrinning även över fastigheternas tomter, vilket gör antagandet felaktigt. Slutsatserna utgår från att vanliga förhållanden beaktas, inte extremförhållanden. Dagvattennät dimensioneras efter betydligt mindre regn än skyfall vilket motiverar att beräknade delavrinningsområden som ska användas till hydrologisk modellering, inte heller tar hänsyn till skyfall.

Indata har väldigt stor påverkan på resultaten i den här sortens beräkningar, ännu mer i objektorienterade beräkningssätt än i topografiska på grund av den större mängden indata. Med bättre kvalitet på indata i form av framförallt större andel rättvända dagvattenledningar, skulle resultaten från metod 2 ha blivit bättre automatiskt. Den objektorienterade metoden är endast applicerbar på områden där data finns över dagvattennätet.

Det finns få studier som behandlar objektorienterad beräkning av delavrinningsområden i urban miljö. Den största anledningen till det är de omfattande data som krävs för att använda en objektorienterad metod. Dessa data finns inte alltid att tillgå på grund av bristande vetskap om framförallt placering och förekomst av dagvattenledningar i marken. Att validera resultaten mot andra studier har därför varit svårt. I och med ökad digitalisering i samhället i stort, är det troligt att tillgången på data kan öka i framtiden.

5 SLUTSATSER

En objektorienterad metod för beräkning av delavrinningsområden i urban miljö kan skapas genom att låta varje fastighet tillhöra närmaste dagvattenbrunn nedströms och slå ihop alla fastigheter som tillhör samma brunn till en polygon. Detta kan göras genom en semi-automatisk metod i GIS där ett antal funktioner programmeras i Python.

Den objektorienterade algoritmen beskriver referensmetodens parametrar väldigt bra i de fall när indelningen av fastigheter till dagvattenbrunnar blir rätt. Undantaget är vissa fall då vägsektioner missas för att de inte ligger mellan huslängor. När indelningen inte blir rätt blir felen stora. Integrering i algoritmen av de fastigheter som saknar servisledningar och utveckling av det skript i algoritmen som delar in fastigheterna till dagvattenbrunnarna skulle kunna göra metoden mer träffsäker.

De topografiska metoderna ger troligtvis en bättre bild av de verkliga vattendelarna medan den objektorienterade är fokuserad till och bättre fångar upp de faktorer som styr avrinningen i den urbana miljön. Oregelbunden form i de topografiska delavrinningsområdena gör att viktiga ytor riskerar att missas i beräkningen. Försökstudien visade dock att förbättringsbehovet hos den objektorienterade algoritmen är sådant att de topografiska metoderna är att föredra tills den objektorienterade algoritmen förbättras.

6 REFERENSER

6.1 SKRIFTLIGA REFERENSER

Brun, S, Band, L., (2000). Simulating runoff behavior in an urbanizing watershed. *Computers, environment and urban systems*, vol. 24, ss. 5-22

Calestam, K.-M., (2013). *Bestämning av vattendelare i urban miljö : Metod för avgränsning av avrinningsområden i ArcGIS utgående från dagvattenssystemet*. Uppsala Universitet. Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten-, och landskapslära/ civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik. (Examensarbete: UPTEC W 13 029)

Callow, J.N., Van Niel, K.P., Boggs, G.S., (2007). How does modifying a DEM to reflect known hydrology affect subsequent terrain analysis? *Journal of Hydrology*, vol. 332, ss. 30–39

Carluer, N., Marsily, G.D., (2004). Assessment and modelling of the influence of man-made networks on the hydrology of a small watershed: implications for fast flow components, water quality and landscape management. *Journal of Hydrology*, vol.285, ss. 76–95.

Fletcher, T.D., Andrieu, H., Hamel, P., (2012). Understanding, management and modelling of urban hydrology and it's consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in water resources*, vol. 51, ss. 261-279

Grip, H., Rodhe, A., (1994). *Vattnets väg från regn till bäck*, 3e utgåvan. Hallgren och Fallgren, Uppsala, ss. 11-12

Jankowsky, S., Branger, F., Braud, I., Gironás, J., Rodriguez, F., (2013). Comparison of catchment and network delineation approaches in complex suburban environments: application to the Chaudanne catchment, France. *Hydrological Processes*, vol. 27, ss. 3747–3761

Jones, J., Swanson, F., Wemple, B., Snyder, K., (2000). Effect of roads on hydrology, geomorphology, and disturbance patches in stream networks. *Conservation Biology*, vol. 14, ss. 76–85

Lidingö Stad, (2015). *Befolkningsstatistik*. Tillgänglig:
<http://www.lidingo.se/toppmeny/stadpolitik/omstaden/statistikochfakta/statistik/befolkningsstatistik.4.4751ae41124dec9b2578000491.html> [2016-02-15]

- Lindsay, J.B.**, (2016). The practice of DEM stream burning revisited. *Earth Surface Processes and landforms*. Early view, online. doi:10.1002/esp.3888
- Lindsay, J.B.**, (2015). Efficient hybrid breaching-filling sink removal methods for flow path enforcement in digital elevation models. *Hydrological Processes*. Early view, online. doi:10.1002/hyp.10648
- Lindsay, J.B., Evans, M.G.**, (2008). The influence of elevation error on the morphometrics of channel networks extracted from DEMs and the implications for hydrological modelling. *Hydrological Processes*. vol. 22, ss. 1588–1603.
- Salvadore, E., Bronders, J., Batelaan, O.**, (2015). Hydrological modelling of urbanized catchments: A review and future directions. *Journal of Hydrology*, vol. 529, Part 1, ss. 62–81
- SCB**, (2013-10-10). *Världens städer växer allt snabbare*. Tillgänglig: http://www.scb.se/sv_/Hitta-statistik/Artiklar/Varldens-stader-vaxer-allt-snabbare/ [2016-01-10]
- Svenskt Vatten**, (2004). Dimensionering av allmänna avloppsledningar. *Publikation No. P90*, ss 17-22.
- Vaze, J., Teng, J., Spencer, G.**, (2010). Impact of DEM accuracy and resolution on topographic indices. *Environmental Modeling and Software*, vol. 25, ss. 1086–1098.
- Västervik kommun**, (2016). *Befolkning*. Tillgänglig: <https://www.vastervik.se/Kommun-och-politik/Kommunfakta/Befolkning/> [2016-02-15]

6.2 MUNTliga REFERENSER

Hammarlund, Hans, specialist, hydraulisk modellering, Tyréns AB Stockholm (personlig kommunikation, Jan 2016)

Lindsay, John, geografiprofessor, Guelph Universitet, Kanada (personlig kommunikation, Jan 2016)

6.3 REFERENSER PYTHONSKRIPT

Lead, S., (2008). *Flip drainage arcs downhill*. Tillgänglig:
<http://arcscrippts.esri.com/scripts.asp?pg=1&sb=1&ob=asc&eDate=&n=&top=&eLang=&eProd=&perPage=10&eQuery=flip+arcs&Submit2=search/> [2015-10-10]

Palmer, A., (2007). *Spider Diagram Tools for ArcGIS 9.2 (New and Improved)*.
Tillgänglig:
<http://arcscrippts.esri.com/scripts.asp?eLang=&eProd=&perPage=10&eQuery=spider&Submit2=Search> [2015-10-15]

7 BILAGOR

Bilaga A, Exempel på attributtabell och förklaring av skript III

Tabell 6, exempel attributtabell från fastighetspolygonen som är indata i skript III

FID	ORG_ID	DES_ID	DES_LENGTH	ET_ANGLE	ET_ANGLE_1	diffvinkel
0	30006	40022	15,542869	32,1149	50,3952	-18,28030014
1	30006	40035	188,942516	103,7479	50,3952	53,35269928
2	30006	40050	199,416268	167,7831	50,3952	117,3880005
3	30006	40051	191,990504	102,1163	50,3952	51,72109985
4	30006	40070	183,249095	183,2377	50,3952	132,8419952
5	30006	40094	161,418272	159,879	50,3952	109,4840012
6	30006	40099	149,15494	166,4262	50,3952	116,0309982
7	30006	40105	172,764951	193,1188	50,3952	142,723999
8	30006	40139	117,358829	156,8792	50,3952	106,4840012
9	30006	40143	96,092778	175,7411	50,3952	125,3460007
10	30006	40147	82,027315	185,0967	50,3952	134,7019958
11	30006	40151	60,752978	182,0208	50,3952	131,6260071
12	30006	40155	48,219802	144,4139	50,3952	94,01869965

Tabell 6 visar ett exempel på hur en attributtabell kan se ut för en shapefil, i det här fallet är det shapefilen för spindellinjerna som skapades i skript II (se Figur 1). Det kan finnas många fler attributfält, alltså kolumner, i tabellen men här har bara de viktigaste för skriptets funktion tagits med. Poängteras ska att det här bara är en bråkdel av tabellen, fältet ORG_ID visar vilken servispunkt raden avser och var och en av de 2900 fastigheterna i försöksstudien på Västervik har varsin servispunkt. I den här tabellen är dessutom de spindellinjer utvalda som är kortare än 200 meter, egentligen går det en spindellinje från varje servispunkt till varje dagvattenbrunn.

FID är ett fält som räknar varje objekt i filen som kan bestå av polygoner, punkter, linjer eller annan form. ORG_ID, DES_ID, DES_LENGTH och DES_ANGLE kommer från linjerna som skapas i skript II. ORG_ID är identifikationsnummer för punkterna som valts att studera, i det här fallet servispunkterna och DES_ID, DES_LENGTH och DES_ANGLE är ID, längd och vinkel till de punkter vars placering ska jämföras i förhållande till servispunkterna, vilka i det här fallet är punkterna för dagvattenbrunnarna.

ET_ANGLE är riktningsvinkeln på närmaste huvudledning från servispunkten sett. Den riktningsvinkeln används för att den berättar vilket håll som är nedströms och därför också indikerar var närmaste dagvattenbrunn nedströms finns. Fältet diffvinkel är skillnaden mellan huvudledningens riktningsvinkel och vinkeln från servispunkten till dagvattenledningen. I de allra flesta fall är den skillnaden liten från servispunkten till rätt dagvattenbrunn.

Skript III använder informationen i shapefilens attributtabell och söker efter olika vinkelintervall i fältet diffvinkel. Om intervallet skulle vara till exempel plus minus 10

grader skulle den inte hitta någon matchning i attributfältet i Tabell 6. Intervallet utökas successivt och om vinkelintervallet är plus minus 20 grader så hittas dagvattenbrunnen med ID 40022 som matchande dagvattenbrunn till fastighetspolygonen vars servispunkt har ID 30006. Skulle det finnas två dagvattenbrunnar som matchar inom samma vinkelintervall så väljer skriptet ut den dagvattenbrunn vars DES_LENGTH är minst, det vill säga den dagvattenbrunn som ligger närmast. Om dagvattenbrunnen ligger väldigt nära servispunkten kan värdet på diffvinkel bli väldigt stort, varför skriptet först väljer ut att alla servispunkter som ligger mindre än 10 meter från en dagvattenbrunn, ska tillhöra den brunnen.

I skriptet läses även shapefilen för fastighetspolygonerna in och i dess attributtabell finns ett fält där ID för servispunkterna som tillhör respektive fastighet, är angivet. Skriptet skapar ett nytt fält i fastighetspolygonens attributtabell som heter ”matchbrunn”. Med hjälp av attributfältet i shapefilen för fastighetspolygonerna tillsammans med en lista den skapat där den parat ihop varje servispunkt-ID med ett dagvattenbrunns-ID, så för den in ett ID-nummer på en matchande dagvattenbrunn i varje rad i fastighetspolygonens attributfält. När skriptet körts klart finns information i shapefilen för fastighetspolygonerna om vilken dagvattenbrunn fastigheten tillhör.