

Examensarbete i geografisk informationsteknik nr 21

En jämförelse av algoritmer och resultat för flödesberäkning i QGIS/GRASS och ArcGIS

Jeanette Dunn Ekelund

Civilingenjörsutbildningen i Lantmäteri
Lunds Tekniska Högskola

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap
Lunds Universitet





LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

En jämförelse av algoritmer och resultat från flödesberäkning i QGIS/GRASS och ArcGIS

EXTL01 Kandidatuppsats, 15 hp
Civilingenjörutbildningen i Lantmäteri

Jeanette Dunn Ekelund

Handledare:
Karin Larsson
Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap

Juni 25, 2016

Examinator: Lars Harrie

Copyright © Jeanette Dunn Ekelund, LTH

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskaper
Lunds Universitet
Sölvegatan 12
223 62 Lund

Telefon: 046-222 30 30
Fax: 046-222 03 21
Hemsida: <http://www.nateko.lu.se>

Examensarbete i geografisk informationsteknik nr 21
Tryckt av E-tryck, E-huset, 2016

Nyckelord: Geografisk informationssystem, flödesanalys, hydrologi
ArcGIS, QGIS, GRASS

Key Words: Geographical information systems, flow analysis,
hydrology, ArcGIS, QGIS, GRASS

Förord

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Karin Larsson vid Lunds universitet, som förutom att ha lagt ner mycket tid på vägledning också visat engagemang och kommit med många kloka råd under arbetets gång. Ett tack går även till Andreas Persson vid Lunds universitet för det material och den hjälp han kommit med.

Sammanfattning

Efterfrågan på nybyggnation och behovet av infrastruktuursatsningar är en ständig och stor uppgift som kommuner och andra myndigheter arbetar med. Stora krav ställs på att samhällsplaneringen ska ske utifrån ett långsiktigt hållbart perspektiv. Att intensiva och omfattande regn har blivit allt vanligare på senare tid resulterar i att samhällsplaneringen måste anpassas därefter, och flödesanalyser och prognoser för översvämningsrisk blir allt viktigare. Att planeringsunderlaget är tillförlitligt och korrekt är av stor betydelse för att satsningarna de ligger till grund för verkligen ska vara långsiktigt hållbara.

Med geografiskt informationssystem (GIS) finns verktyg för att utföra hydrologiska modelleringar, där flödesberäkningar är en del. Det finns flera mjukvaror för geografisk information att tillgå, varav några är kommersiella och har sluten källkod medan andra finns fritt tillgängliga och har öppen källkod.

I denna kandidatuppsats har verktyg som används vid flödesanalyser i den kommersiella GIS-mjukvaran ArcGIS och de öppna GIS-mjukvarorna QGIS och GRASS studerats och jämförts. De verktyg som har studerats är ArcGIS:s *Fill*, *Flow Direction* och *Flow Accumulation* och QGIS/GRASS-modulerna *r.fill.dir* och *r.watershed*.

Studien består av tre delar: en litteraturstudie av den teoretiska beskrivningen av verktygens algoritmer, en praktisk studie på detaljnivå för att studera algoritmernas implementering i jämförda programvaror och slutligen en tillämpad del där beräkningar gjorts på ett större område och resultaten jämförts.

Flödesberäkningarna i ArcGIS och i QGIS/GRASS-modulen *r.fill.dir* grundas på en algoritm som använder iterativ länkning och visar därför liknande resultat. De skillnader som förekommer beror på implementeringen av algoritmen.

Flödesberäkningarna i QGIS/GRASS-modulen *r.watershed* grundas på A^T sök-algoritmen och följderna av detta är ett resultat som skiljer sig från ArcGIS och *r.fill.dir*. På detaljnivå gör de här olikheterna betydande skillnad, medan de är mindre uppenbara i ett större område.

Abstract

The government and municipalities of Sweden are responsible for the huge task of meeting the need of constructional and infrastructural investments. While planning and managing the land they are required to do so with long term perspectives. As intense and voluminous downpours have become common lately, the city planning and land management have to be adapted to this, which leads to flow analyses and flooding prognosis becoming increasingly important. It is essential to have accurate and correct information to be able to fulfill the demand of planning for a sustainable society.

Geographic information systems (GIS) offers tools to perform hydrologic modelling, where the flow analysis is one part. There are several GIS software available, of which some are open source and others are commercial.

Tools for calculating flow in the commercial GIS software ArcGIS and the open source GIS software QGIS and GRASS are studied and compared in this bachelor thesis. The tools studied are ArcGIS's *Fill*, *Flow Direction* and *Flow Accumulation* and the QGIS/GRASS modules *r.fill.dir* and *r.watershed*.

This study consists of three parts: a literature study of the theoretical descriptions of the tools' algorithms, a practical study in detail to examine the algorithms' implementations in the different software and, lastly, an applied study where the results of flow calculations on a digital elevation model of a bigger area are compared.

Since the flow calculations in ArcGIS and the QGIS/GRASS module *r.fill.dir* are both based on an iterative linking algorithm, their results are very similar. The few occurring differences are caused by the implementation of the algorithm. Flow calculations done with the QGIS/GRASS module *r.watershed* are based on the A^T search algorithm, approaching flow estimates in another way than the iterative linking algorithm, causing results different from the results of the ArcGIS tools and the QGIS/GRASS module *r.fill.dir*. These differences are prominent on a detailed level, while they are not as obvious on a bigger area.

1. INNEHÅLL

Sammanfattning.....	vi
Abstract	vii
1 Introduktion	1
1.1 Syfte och frågeställning	3
1.2 Upplägg och avgränsningar	3
2 Bakgrund	4
2.1 Hydrologisk modellering	4
2.2 GIS för hydrologiska tillämpningar.....	5
2.3 Programvara	6
2.3.1 Open Source Geospatial Foundation	6
2.3.2 QGIS.....	6
2.3.3 GRASS	7
2.3.4 ArcGIS.....	7
2.4 Beräkning av flöden i GIS-program	8
3 Teori - flödesberäkning i raster	8
3.1 Algoritm med iterativ länkning	10
3.2 A ^T sök-algoritm – Algorithm Tree	12
3.3 Implementering i ArcGIS	14
3.4 Implementering i QGIS/GRASS	16
3.4.1 r.fill.dir.....	16
3.4.2 r.watershed.....	17
4 Metod.....	19
4.1 Litteraturstudie	19
4.2 Flödesberäkningar på detaljnivå.....	20
4.3 Flödesberäkningar på digital höjdmodell över Abisko.....	21
5 Resultat.....	24

5.1	Flödesberäkningar på detaljnivå – implementering av algoritmen med iterativ länkning i ArcGIS och GRASS	24
5.2	Flödesberäkningar på detaljnivå – Implementering av A ^T -algoritmen i GRASS.....	29
5.2.1	r.watershed på en plan yta	33
5.3	Sammanställning av flödesberäkningar på detaljnivå	33
5.4	Flödesberäkningar på digital höjdmodell Abisko.....	34
5.4.1	Akkumulerat flöde	38
6	Utvärdering.....	41
6.1	Litteraturstudie	41
6.2	Flödesberäkningar på detaljnivå.....	42
6.3	Flödesberäkningar på digital höjdmodell Abisko.....	43
6.3.1	Akkumulerat flöde.....	45
7	Slutsatser.....	46
	Referenser.....	48

1 Introduktion

En av många utmaningar kommuner och andra myndigheter står inför är att avgöra var nybyggnadsprojekt, infrastruktursatsningar och andra samhällsfunktioner ska byggas. För att underlätta samhällsplaneringen är det viktigt att det finns bra planeringsunderlag att tillgå. Enligt Plan- och bygglagen (PBL) ska samhällsutvecklingen främjas med en långsiktigt hållbar livsmiljö för människorna i dagens samhälle och för kommande generationer. Ett klimat i förändring gör att risken för bland annat översvämning är en väsentlig faktor att ta hänsyn till för att uppfylla detta krav. Översvämningsrisk är en av många lägesbundna faktorer inom samhällsplaneringen och med geografiskt informationssystem (GIS) som hjälpmedel kan analyser för att identifiera sårbara områden tas fram.

En del av översvämningsanalysen är att undersöka och analysera vattenflöde. Det finns inbyggda funktioner och verktyg i en del GIS-program för att göra detta, men de är en förenkling av verkligheten och kommer endast ge en fingervisning om var vatten kan komma att ackumuleras. De bakomliggande metoderna för att skatta vattenflöde varierar mellan programvarorna, vilket leder till att resultaten också kan variera. Att kunna lita på planeringsunderlag är grundläggande för att kunna planera för ett hållbart samhälle, och frågan är om det går att avgöra hur verktygens resultat varierar och vad det beror på. En tidigare jämförelse av resultaten av en hydrologisk modellering gjord över ett flodområde i Panama med två olika metoder visade att en minsta-kostnad-algoritm (A^T -sök-algoritmen) gav det mest realistiska resultatet. Det poängterades dock att för stora områden var denna algoritm långsam och ineffektiv (Kinner et al. 2005).

En annan anledning att undersöka programvarornas resultat är att licens för en kommersiell mjukvara kan vara mycket dyr. Att GIS blir ett alltmer betydande verktyg för samhällsplanering tillsammans med kommunernas stora budgetkrav väcker frågan om en satsning på fritt tillgänglig mjukvara vore lämplig. Många kommuner använder redan fritt tillgänglig mjukvara. Skillnaden i finansieringen kan vara en bidragande faktor att satsa på fritt tillgänglig mjukvara men då bör även en bedömning av vilken av programvarorna som lämpar sig bäst för en given situation göras.

GIS-mjukvara som QGIS och GRASS har öppen källkod vilket för med sig att de ständigt utvecklas av olika individer med olika målsättningar. Detta ger en programvara med breddade förmågor men kan också innebära en viss svårhet i att avgöra hur den ska användas. Kommersiell mjukvara som ArcGIS kostar, men har också fördelar som att det i större utsträckning finns ett ansvar gentemot kunden att programvarans beräkningar och resultat ska vara pålitliga samt att det tillhandahålls support från företagets sida.

1.1 Syfte och frågeställning

Syftet med denna studie är att jämföra olika algoritmer för flödesberäkning utifrån en rasterbaserad digital höjdmodell. Algoritmernas implementering jämförs i en kommersiell och en fritt tillgänglig mjukvara. För att göra denna jämförelse kommer studien i huvudsak besvara följande frågor:

- Hur skiljer sig algoritmerna som ligger till grund för beräkning av flödesriktning och ackumulerat flöde i de studerade programvarornas moduler?
- Hur skiljer sig resultaten från beräkningar av flödesriktning och ackumulerat flöde utifrån mjukvarornas moduler?

1.2 Upplägg och avgränsningar

Studien består av tre delar: en litteraturstudie rörande den teoretiska beskrivningen av de algoritmer som jämförs, en praktisk studie på detaljnivå för att studera algoritmernas implementering i jämförda programvaror och därefter en tillämpad del med beräkningar över ett större geografiskt område. Detta följs av en utvärdering av algoritmerna, och slutligen ett kapitel med sammanfattande slutsatser.

Jämförelsen görs mellan de tillgängliga verktygen för flödesberäkningar inom två mjukvarors moduler för hydrologisk modellering. De verktyg som jämförs tar inte hänsyn till infiltration, avdunstning och andra delar av en komplett hydrologisk modellering, utan antar att ytan är icke-permeabel samt att dess friktion är homogen.

Studien är en jämförelse mellan GIS-mjukvaror med öppen respektive sluten källkod. Jämförelsen sker mellan QGIS/GRASS och ArcGIS. Programversionerna som används i studien är QGIS 2.14.1 Essen, GRASS 7.0.3 och ArcGIS 10.3.1.

2 Bakgrund

2.1 Hydrologisk modellering

Hydrologin beskriver vattnets förekomst, fördelning, egenskaper och inte minst dess kretslopp (SMHI). För att ta fram prognoser över detta simuleras samtliga av vattnets processer i en fullständig hydrologisk modellering.

Enligt Plan- och bygglagen (PBL) ska alla kommuner ha en aktuell översiktsplan som omfattar hela kommunen. Denna översiktsplan ska ge riktlinjer för den långsiktiga utvecklingen av den fysiska miljön och ge vägledning för beslut om hur mark- och vattenområden ska användas.

Översiktsplanen ska också ge vägledning om hur den byggda miljön ska användas, utvecklas och bevaras och i förlängningen ligger den till grund för den juridiskt bindande detaljplanen.

Krav ställs också på att mark- och vattenområden ska användas för de ändamål som de är mest lämpade för med hänsyn till dess beskaffenhet (3 kap. 1 § Miljöbalken). Det är av stor betydelse att kommuner utifrån trovärdigt underlag kan avgöra huruvida markområde är lämpliga för bebyggelse. En avgörande faktor för markområdets beskaffenhet och ifall de är lämpliga för bebyggelse är de hydrologiska förutsättningarna som råder. Omfattande och intensiva regn som drar förbi under kort tid har blivit allt vanligare, vilket ställer höga krav på att anpassa samhället därefter (MSB 2009).

Risk för översvämning och andra vattenrelaterade hot måste undersökas och analyseras för att kunna planera och besluta för en hållbar utveckling då översvämningar kan medföra allvarliga konsekvenser för samhällets infrastruktur. Utöver bebyggelse, vägar, dammar, industri och jordbruk är även dricksvattenförsörjning utsatt då översvämningar kan innebära stora påfrestningar på ledningssystemet eller att vattentäcker kan förorenas. Elförsörjningen riskerar också att slås ut då översvämning av el-stationer kan leda till långvariga elavbrott (Länsstyrelsen). Denna sårbarhet kräver att översvämningsrisk och andra vattenrelaterade hot bör undersökas och analyseras, för att kunna ringa in de riskdrabbade områdena och för att kunna uppskatta hur stora åtgärder som behövs för att avvärja de hot som vattnet kan utgöra. En del av svaret ligger i den del av

en hydrologisk modellering där vattnets flöde över en yta simuleras utifrån sina och markens egenskaper. Vattenflöde är endast en del av de processer som ska simuleras i en fullständig hydrologisk modellering, i vilken både fysikaliska och kemiska faktorer inkluderas. Vad gäller just ytavrinning är exempelvis jordart och vegetation två viktiga faktorer (Khazaei 2014).

2.2 GIS för hydrologiska tillämpningar

Vatten fyller en avgörande funktion i vårt samhälle av uppenbara anledningar som att vi behöver rent dricksvatten för att kunna överleva. På grund av sin förmåga att transporteras är vatten även en ovärderlig källa för elproduktionen i Sverige (Energimyndigheten 2015). Att försöka förutsäga hur och var vatten transporteras på grund av gravitationen är av stor betydelse också för att beräkna dräneringsområden som i sin tur ger underlag för att skatta ytavrinning och risk för näringsläckage och bedöma av risk för jorderosion, jordskred och översvämning (Pilesjö 2008).

Geografiska informationssystem används för att svara på frågorna var, vart och varifrån och är ett redskap för att analysera och tolka geografisk information. Det används för att tolka stora datamängder och visualisera komplex information och rumsligt utbredda data på ett överskådligt sätt. Med GIS blir det enklare att se mönster, trender och påverkansfaktorer i informationen vilket bidrar till bättre beslutsfattande och ett effektivare samhälle. GIS kan tillmötesgå behovet av att på ett systematiskt sätt angripa modellering, analys och presentation av stora datamängder.

Riskerna för översvämning har en mer eller mindre platsbunden rumslig lokalisering. En av faktorerna som påverkar översvämningsrisk är vattnets flödesväg och -utbredning, vilka till stor del beror på markens höjdförändring över en yta. Den rumsliga kopplingen samt nyttan av effektiv bearbetning gör att geografiska informationssystem är lämpliga att använda för flödesanalyser (Nyberg 2010).

För att i förlängningen nå ett så realistiskt resultat som möjligt krävs att man i analysen tar hänsyn till många fler faktorer än flödesutbredning, exempelvis

vegetation och jordart, och i ett geografiskt informationssystem är detta möjligt (Khazaei 2014).

2.3 Programvara

Det finns ett stort antal GIS-programvaror på marknaden idag och det pågår utveckling av förfinade och förbättrade algoritmer för användning inom hydrologisk modellering. I denna studie har valet fallit på att jämföra två programvaror som har många användare i Sverige, inte minst inom samhällsplanering. Det var också av intresse att jämföra dels resultat från, men också tillgängligheten till dokumentation om, kommersiell kontra öppen källkod programvara. Utifrån detta resonemang gjordes studien på ESRI® ArcGIS samt QGIS/GRASS.

2.3.1 Open Source Geospatial Foundation

Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) är en icke-vinstdrivande organisation som drivs ideellt för att främja användande och utveckling av teknologi för geografisk information. Organisationens målsättning är att denna utveckling sker genom samarbete och öppenhet så att teknologin är tillgänglig för alla att använda och vidareutveckla. För tillgänglighetens skull är teknologin och programkod öppen och fritt tillgänglig. Organisationen verkar för att möjliggöra och förenkla samarbete och kommunikation mellan olika OSGeo-projekt, varav QGIS och GRASS är två exempel (OSGeo Foundation).

2.3.2 QGIS

QGIS är en gratis GIS-mjukvara baserad på öppen källkod som ligger under GNU General Public License (GPL). Programmet finns för Linux, Unix, Mac, OSX, Windows och håller på att utvecklas Android (QGIS).

Programmet som från början QUANTUM GIS började utvecklas 2002 och var därmed ett tidigt projekt i OSGeo-samfundet (Open Source Geospatial Foundation 2011). Underhåll och utveckling av QGIS sköts kontinuerligt av människor över hela världen och finansieras delvis av donatorer och sponsorer som vill stödja QGIS-projektet (QGIS). Programvaran finns översatt till ett 40-tal språk och används internationellt i både akademiska och professionella sammanhang (QGIS). Den senaste versionen (maj 2016) är 2.14 Essen som gavs ut den 29

februari 2016 (QGIS). Essen var värdstaden för utvecklingskonferenserna 2012 och 2014 (Fischer 2016).

För att erbjuda ett omfattande användningsområde finns möjligheten att integrera QGIS med ett flertal andra mjukvarupaket med öppen källkod, och att köra dem i QGIS:s gränssnitt. GRASS är en av de mjukvaror som går att integrera med QGIS (QGIS).

2.3.3 GRASS

GRASS GIS (Geographic Resources Support System GIS) är en GIS-mjukvara som är licensierad under GNU General Public License (GPL). GRASS GIS är en fritt tillgänglig programvara med öppen källkod som går att köra på flertalet operativsystem, som Windows, Linux och OS X (Grass Development Team 2016).

Mjukvaran utvecklades ursprungligen av den amerikanska militären på tidigt 1980-tal, som ett redskap för markförvaltning och miljömässig planering för det militära.

Med tiden som GRASS och andra GIS-mjukvaror utvecklades såg man verktygets fördelar och användningen av GIS blev alltmer utbredd. GRASS-projektet togs över av Baylor University i Waco, Texas 1997 varefter det flyttades till universitetet i Hannover, Tyskland. GRASS växte och blev så småningom ett av de åtta startprojekten i OSGeo och idag utvecklas programmet av personer spridda över hela världen med finansieringsstöd från sponsorer och donatorer (GRASS Development Team 2014, 2015). Den senaste versionen (maj 2016) släpptes 2015 och är GRASS 7. GRASS går att använda i sitt eget gränssnitt eller som en insticksmodul i andra mjukvaror, exempelvis QGIS (Grass Development Team 2016).

2.3.4 ArcGIS

Bakom GIS-mjukvaran ArcGIS står ESRI (Environmental Systems Research Institute) som grundades i Redlands, Kalifornien 1969 (Esri) och släppte sitt första GIS-program, ArcINFO, 1982. ESRI:s produkter används av större delen av marknaden (Schutzberg 2011), däribland många svenska myndigheter som kommuner och länsstyrelser.

Den första versionen av ArcGIS i den form den finns i idag släpptes 1999. Sedan dess har programvaran successivt utvecklats och den senaste versionen är ArcGIS for Desktop 10. Programvaran finns utvecklad för Windows och som applikation för Android (Esri).

ArcGIS är en proprietär kommersiell mjukvara, vilket för med sig att den har sluten källkod och att användaren måste betala för mjukvaran (gnu.org 2016). För konsumenten finns tre nivåer av mjukvarupaket i ArcGIS vars pris och omfattning skiljer sig åt. Dessutom finns olika programtillägg vilka har olika användningsområden. Exempelvis finns ett programtillägg för rasteranalys, vilket krävs för hydrologisk modellering (Esri).

2.4 Beräkning av flöden i GIS-program

En förutsättning vid hydrologisk modellering är att avgöra åt vilket håll vattnet rinner. Man behöver veta varifrån vattnet kommer och vart det tar vägen – *flödesriktning* –, samt skatta den samlade mängd vatten – *ackumulerat flöde* – som rinner över varje cell i ett raster. Härifrån kan man sedan skatta andra topografiska parametrar, som till exempel dräneringsområde och sluttningens längd. Flödesriktningen kan användas för att i förlängningen skatta flödesackumulation, dräneringsområde och för att lokalisera vattendrag.

3 Teori - flödesberäkning i raster

På grund av gravitationen färdas vatten nedåt, och det innebär att man genom att analysera höjddata kan uppskatta vattnets sannolika flödesväg. För att skapa nya, höjdrelaterade rasterlager är det därför lägligt att använda en digital höjdmodell (DEM) i rasterform och utföra grannskapsberäkningar på denna. För varje cell används de närliggande cellerna för att beräkna ett värde – exempelvis riktning för största höjdfall – för varje cell (Pilesjö 2008).

Minsta-kostnad-algoritmer och filteroperation är två tillvägagångssätt där de närliggande cellerna används för att beräkna ett nytt värde för varje cell. Minsta-kostnad-algoritmer söker efter den väg från en punkt till en annan punkt som är den ”billigaste”, genom att undersöka alla möjliga vägar. Kostnaden är definierad för varje förflyttning, i ett höjdraster definieras den lämpligtvis av höjdförändring (Ehlschlaeger 1989).

I en filteroperation används ett filterfönster med en bestämd storlek, exempelvis 3x3 celler, för att beräkna varje cells nya värde. Filterfönstret flyttas över hela rastret så att varje cell kommer vara centrumcell någon gång. Rastrets kantceller, alltså de celler som utgör ramen för rastret, har inte grannceller åt alla håll och därför kan inga filteroperationer utföras på de här cellerna. Av denna anledning ges kantcellerna ofta ett unikt och avvikande värde för att tydligt markera att deras värden inte representerar resultatet ur grannskapsoperationen. Kantcellerna ingår alltså inte i det område som ska analyseras.

Ett exempel på filteroperation när det gäller hydrologisk modellering är att man för varje cell beräknar höjdförändringen mot alla dess grannceller. Mot den granncell som höjdfall, dvs. sluttningslutningen, är som störst sätts den så kallade *flödesriktningen*. Flödesriktningen är alltså den riktning dit det lutar mest nedåt (Jenson och Domingue 1988; Pilesjö 2008).

Enligt ovanstående metod anges flödesriktningen som en av åtta möjliga. Detta är egentligen orealistiskt då det knappast är troligt att allt vatten i en cell alltid flyter till endast en av cellens grannar. Att låta flöde spridas som andelar till cellens grannar vore en mer realistisk metod (Pilesjö 2008). På grund av rastrets matrisstruktur kan endast en riktning per cell lagras i ett riktning raster, och för att ange flödesriktning som andelar till cellens åtta grannar krävs åtta lagringsutrymmen per cell. Metoder för att skatta och ange flödesriktning åt mer än ett håll finns, men behandlas inte i denna studie.

Flödesriktningen kan användas för att skatta flödesackumulation, där det samlade flödet beräknas till varje cell. Olika GIS-program tar sig an skattningen av flödesackumulationen på skilda sätt; det finns de som grundar den på flödessandelar till flera grannceller medan andra utgår ifrån att varje cell har en enda flödesriktning (Ehlschlaeger 2016; Environmental Systems Research Institute Inc 2016).

Sänkor definieras som en cell eller en grupp sammanhängande celler som har ett mindre höjdvärde än alla sina grannceller. I en DEM kan naturliga sänkor som sjöar eller dammar förekomma men enligt vissa metoder för flödesskattning definieras sänkor som datafel, eftersom algoritmen kräver detta, och därför fylls

de innan skattningen av flödesriktningen påbörjas (Jenson och Domingue 1988; Ehlschlaeger 1989).

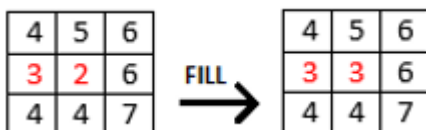
Terrasser är områden där en grupp sammanhängande celler har exakt samma höjdvärde. Där finns ingen höjdförändring mellan cellerna och flödesriktningen går därför inte att skatta utifrån de närmsta granncellernas höjdvärde (Pilesjö 2008).

Eftersom man i en hydrologisk modellering strävar efter att ge alla celler en flödesriktning och att allt vatten ska ha en flödesväg som leder ut ur rastret finns det vissa situationer som ställer till besvär vid skattningen av flödesriktningen. Utöver sänkor och terrasser är det problematiskt att avgöra åt vilket håll flödesriktningen ska sättas om det är exakt samma största höjdfall till två eller fler grannceller. För att utföra flödesberäkningar finns flertalet metoder och i kapitel 3.1 och 3.2 beskrivs de två som används av ArcGIS och QGIS/GRASS.

3.1 Algoritm med iterativ länkning

Jenson och Domingue (1988) beskriver ett tillvägagångssätt där man använder sig av filteroperationer för att bestämma flödesriktning utifrån en digital höjdmmodell. I de fall största höjdfall mot en granncell inte är möjlig att avgöra med denna filteroperation skattas flödesriktningen genom en så kallad iterativ länkning.

I ett första steg fylls alla en-cells-sänkor i den digitala höjdmmodellen genom att sätta cellvärdet till det höjdvärde som cellens lägst belägna granne har, se figur 3.1.

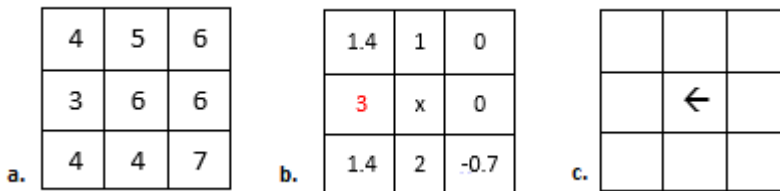


Figur 3.1. En-cells-sänkor fylls.

Efter att en-cells-sänkorna är fyllda är det maximala höjdfallet mellan alla celler aldrig mindre än 0. Efter att en-cells-sänkorna har fyllts påbörjas skattningen av flödesriktningen hos varje cell.

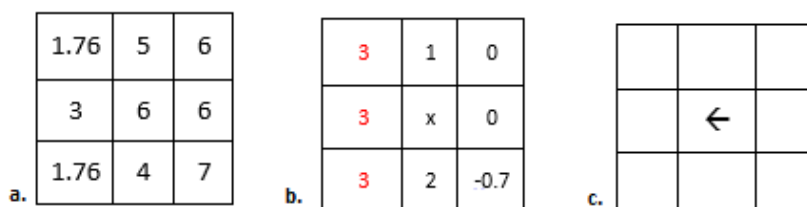
I en sänkfylld DEM kan följande tre situationer uppstå:

- 1) Det avståndsviktade höjdfallet är större mot **en** granncell än mot de sju övriga granncellerna. Centrumcellen tilldelas då den riktningsskod som representerar den granncellen mot vilken det avståndsviktade höjdfallet är störst. Avståndsviktad flödesriktning beräknas genom att dividera differensen mellan granncellens och centrumcellens höjdvärden med avståndet dem emellan. Om en cell har upplösning 1x1m är detta avstånd 1 till horisontella och vertikala grannceller och $\sqrt{2}$ till diagonala grannceller. Att höjdfallet är större mot en granncell än mot de sju övriga granncellerna är den vanligaste situationen och är även den enklaste när det kommer till att skatta flödesriktning. Figur 3.2 visar denna situation.



Figur 3.2. a. visar höjddata i en DEM, b visar höjdfallet till mittcellens grannar och c visar den flödesriktning mittcellen tilldelas.

- 2) Det största avståndsviktade höjdfallet sker mot fler än en cell och är skild från noll. Här används en uppslagstabell för att avgöra vilken som är den mest logiska flödesriktningen (Greenlee 1987; Jenson och Domingue 1988). Det innebär exempelvis att om det avståndsviktade höjdfallet sker mot de tre granncellerna längs filterfönstrets kant (se figur 3.3) kommer den mittersta av dem att väljas som flödesriktning, eller om det avståndsviktade höjdfallet sker mot två celler på varsin sida om centrumceller kommer en av dem att *godtyckligt* väljas (Jenson och Domingue 1988).



Figur 3.3. a visar höjddata i en DEM, b visar höjdfallet till mittcellens 8 grannar och c visar den flödesriktning mittcellen tilldelas.

3) Det största höjdfallet sker mot fler än en cell och är lika med noll.

Filterfönstret befinner sig då över ett platt område och det är i denna situation som den iterativa länkningen används och skattningen av flödesriktningen är som mest tidskrävande (Jenson och Domingue 1988).

I första hand kommer cellen tilldelas ett värde som representerar en odefinierad flödesriktning. Detta värde är summan av de riktningsskoder för de grannceller dit höjdfallet är 0.

När rastrets alla celler har tilldelats flödesriktning, vare sig den är definierad eller ej, går man tillbaka till de celler med odefinierad flödesriktning och problemet löses iterativt enligt följande:

3a. Om cellen med odefinierad flödesriktning har en granne med definierad flödesriktning sätts centrumcellens flödesriktning mot denna granne om denna grannes flödesriktning inte sker mot centrumcellen.

3b. Om fler än en granne har definierad flödesriktning väljs en granne enligt samma princip som i steg 2 vilket innebär att en av dem väljs enligt en uppslagstabell. Detta tillåter alltså uppströmsflöde.

4) Repetera steg 3 tills alla celler har definierad flödesriktning. (Jenson och Domingue 1988)

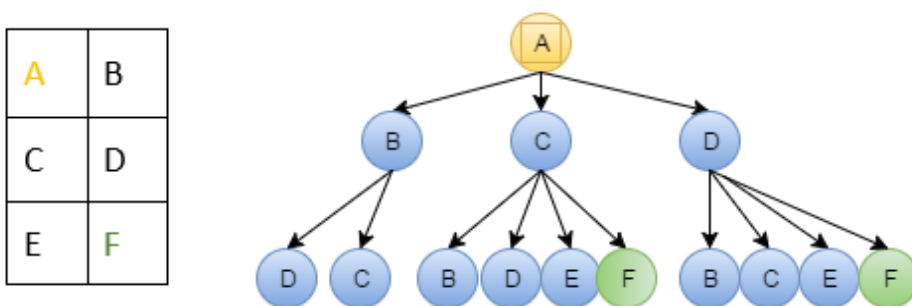
3.2 A^T sök-algoritm – Algorithm Tree

A^T sök-algoritmen liknar i stort Dijkstras algoritm och fungerar så att en sökning görs för att hitta den väg som kräver minsta möjliga ansträngning, från en startpunkt till en fördefinierad målpunkt. För att vattnet ska flöda över en yta med minsta möjliga ansträngning styrs vattnets flödesväg av gravitationen och för att avgöra till vilken cell vatten flödar kontrolleras därför höjdskillnaden mellan cellerna. Denna höjdskillnad, i kombination med avståndet mellan cellerna,

representerar den kostnad som krävs för att korska en cell. A^T -sök-algoritmen kräver alltså att startceller är definierade (Ehlschlaeger 1989).

A^T -sök-algoritmen börjar med att identifiera en-cells-sänkor i en DEM. Sänkorna och rastrets samtliga kantceller betraktas som startceller och läggs i en lista, sorterad från lägst till högst. Från varje startcell kommer man successivt att jobba sig ”uppströms” tills man når en cell som inte har några högre belägna grannar. En cell som inte har några högre belägna grannar utgör enligt algoritmen ett mål (Ehlschlaeger 1989).

För varje cell i startcellslistan undersöks kostnaden att ta sig till dess grannceller. Kostnaden representeras av höjdskillnaden och lagras enligt en trädstruktur där roten representerar den start-cell som undersöks och rot-nodens efterträdare representerar de intilliggande cellerna (se figur 3.4). Kostnaden är lagrad längs varje gren (Raphael 1976).



Figur 3.4. Vägalternativen för att ta sig från startcell A till målcell F visas i trädstrukturen. Startcellen A utgör trädets rot. Trädets grenar visar vägalternativ till den nivå då målcellen F först anträffas.

I algoritmen som utförs för att hitta den väg med minst kostnad betecknas nodernas tillstånd som en av tre möjliga: *stängd*, *öppen* och *okänd*.

Stängd innebär att vägen till denna cell har undersökts och att denna vägen hittills har varit den billigaste. Cellens barn/efterträdare undersöks.

Öppen innebär att cellen är en kandidat för fortsatt utforskning.

Okänd innebär att cellen ännu inte har undersökts och att kostnaden $g(n)$ därför inte har beräknats för denna cell.

$g(n)$ representerar kostnaden att ta sig till nod n från roten, dvs. kombinationen av höjdfall och avstånd.

Nedan följer en stegvis beskrivning av A^T -sök-algoritmen. Notera att direkt efter steg 1 är enbart rotnoden öppen och denna noden kommer alltså vara det första N :et. Initialt har alla celler beteckningen okänd.

A^T -sök-algoritmen går till enligt följande:

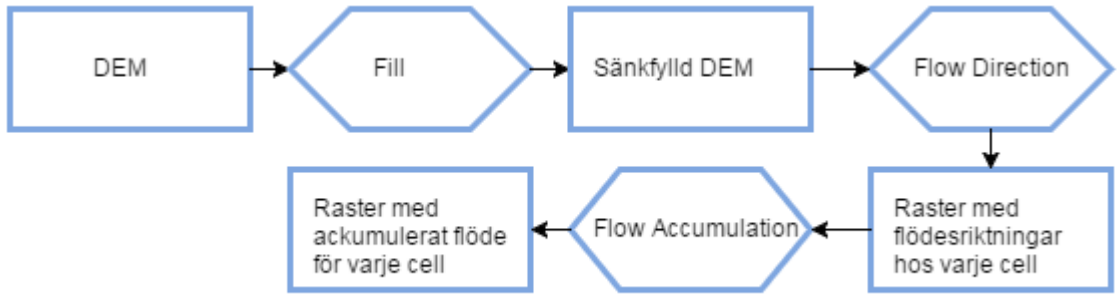
1. Öppna rotnoden, $g(\text{rot}) = 0$.
2. Välj den av de öppna noderna vars g -värde är minst. Benämna denna nod N .
 - 2.1. Om N är en mål-nod, så är vägen hit den minimala-kostnads-vägen, nämligen $g(N)$. Problemet är löst.
 - 2.2. Om fler än en nod har det minsta (samma) $g(n)$ -värdet, kontrollera om någon av dem är en mål-nod.
 - 2.2.1 Om någon av dem är en mål-nod: välj den och avsluta sökningen.
 - 2.2.2. Om ingen av dem är en mål-nod: gå vidare genom att godtyckligt välja en av dem som " N ".
3. Stäng N . Öppna N :s barn. För varje öppen barn-nod B , beräkna $g(B) = g(N) + (\text{kostnaden att ta sig från } N \text{ till } B)$.
4. Gå tillbaka till steg 2.

Denna algoritm utförs på varje cell som är definierad som startcell. Det innebär att varje sänkceld och varje kantcell utgör en rot till den trädstruktur som representerar sökningen efter den billigaste vägen till en målcell för just denna cell. Varje gren på trädet utgör en alternativ väg vars kostnad lagras och jämförs med andra grenars kostnad. En cell kan finnas med endast en gång på varje gren, vilket innebär att vägen inte kan korsa sig själv.

3.3 Implementering i ArcGIS

I ArcGIS finns ett antal verktyg för olika delar i hydrologisk modellering, varav den mest grundläggande är *Flow Direction*. Med utgångspunkt i denna identifieras sänkor som behandlas med verktygen *Sink* och *Fill*. Verktyget *Flow Accumulation* beräknar den mängd vatten som flyter in i varje cell (Esri 2011d).

Tillvägagångssättet för att ta fram flödesriktning grundar sig på algoritmen med iterativ länkning som beskrivs i avsnitt 3.1. Figur 3.5 visar flödesschema för detta tillvägagångssätt med verktygen i ArcGIS.



Figur 3.5. Flödesschema för flödesberäkningar i ArcGIS.

Flow Direction

Verktuget *Flow Direction* i ArcGIS skapar ett raster där varje cell representerar flödesriktningen från denna cell. Flödesriktningen beräknas med en filteroperation gjord på en digital höjdmödel och definieras av heltal mellan 1 och 128. Värdena för de 8 möjliga riktningarna från centrumcellen representeras av potenser av 2, enligt figur 3.6. Vid de situationer då flödesriktningen inte går att definiera summeras de potentiella riktningarnas koder, vilket gör det möjligt att lagra värden för multipla riktningar.

32	64	128
16		1
8	4	2

Figur 3.6. Riktningsskoder enligt ArcGIS-verktuget *Flow Direction*.

Det betyder att om det största höjdfallet från centrumcellen är åt höger så får centrumcellen i det nya rastret värdet 1. Sluttningsriktningen beräknas utifrån en digital höjdmödel där man för varje cell dividerar höjdförändringen till cellens grannceller med avståndet mellan cellens och granncellernas mittpunkter. Den granncell dit höjdfallet är störst definieras som flödesriktning (Esri 2011a; Environmental Systems Research Institute Inc 2016).

Fill och Sink

Fill är ett verktyg som fyller sänkor i höjddata. Sänkfyllningen görs för att sänkor anses utgöra datafel som är uppkomna på grund av grov upplösning eller att höjdvärdet på grund av datatypens egenskaper har avrundats.

Verktyget *Sink* kan användas för att hitta antalet sänkor och identifiera deras djup. Med *Fill* går det i programvaran att bestämma hur stort djup de sänkor som ska fyllas får ha (Esri 2011b, e).

Flow Accumulation

Med verktyget *Flow Accumulation* beräknas det samlade flödet som leder till varje cell. Indatarastret utgörs av ett raster över flödesriktningen. Det ackumulerade flödet beräknas som det antal celler vars flöde leder in i den aktuella cellen, där den aktuella cellen inte räknas med. Det går att sätta ett viktvärde som representerar storleken på flödet som varje cell bidrar med, och om detta inte görs representerar varje cell 1 enhet flöde.

Celler med höga värden på det ackumulerande flödet tyder på att det är stort inflöde just här och kan användas för att identifiera var vattendrag troligen finns. Cellvärde 0 på ackumulerat flöde anger att cellen utgör en topografisk höjd. Celler med odefinierad flödesriktning kommer inte bidra till flödesströmning, de kommer endast mottaga flöde (Esri 2011c).

3.4 Implementering i QGIS/GRASS

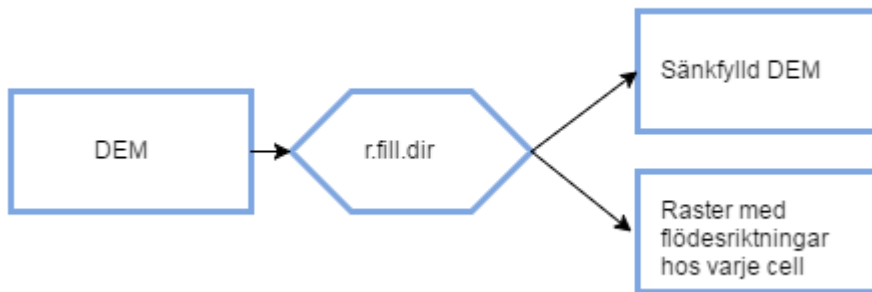
Det finns ett större urval av verktyg, eller så kallade moduler, för hydrologiska modelleringar i GRASS. De olika modulerna är i vissa fall snarlika men består i sig av verktyg som lämpar sig för olika ändamål. Av de GRASS-moduler för hydrologisk modellering som finns tillgängliga via QGIS behandlar denna studie *r.fill.dir* och *r.watershed*. *r.fill.dir* beräknar enbart flödesriktning medan *r.watershed* ger resultat för flödesriktning, ackumulerat flöde, avrinningsområde och vattendrag.

De två modulerna *r.fill.dir* och *r.watershed* angriper problemet med flödesriktning med skilda metoder.

3.4.1 *r.fill.dir*

Modulen *r.fill.dir* använder den algoritmen med iterativ länkning som beskrivs i 3.1. Med en DEM som indata skapar modulen *r.fill.dir* i ett första steg en sänkfylld DEM som sedan används för att ta fram ett raster med flödesriktningen för varje cell. Flödesschema som representerar detta visas i figur 3.7.

Sänkfyllningen och skattningen av flödesriktningen görs med filteroperationer med ett filterfönster av storlek 3x3 celler.



Figur 3.7. Flödesschema för flödesberäkningar med modulen *r.fill.dir*.

Flödesriktningen anges som en av åtta möjliga riktningar. Riktningkoderna representeras som grader, vilka anges moturs med start i cellen rakt åt höger. Det betyder att om den skattade flödesriktningen för cell *x* är rakt uppåt ges cell *x* värdet 90 i flödesriktningsrastret (se figur 3.8).

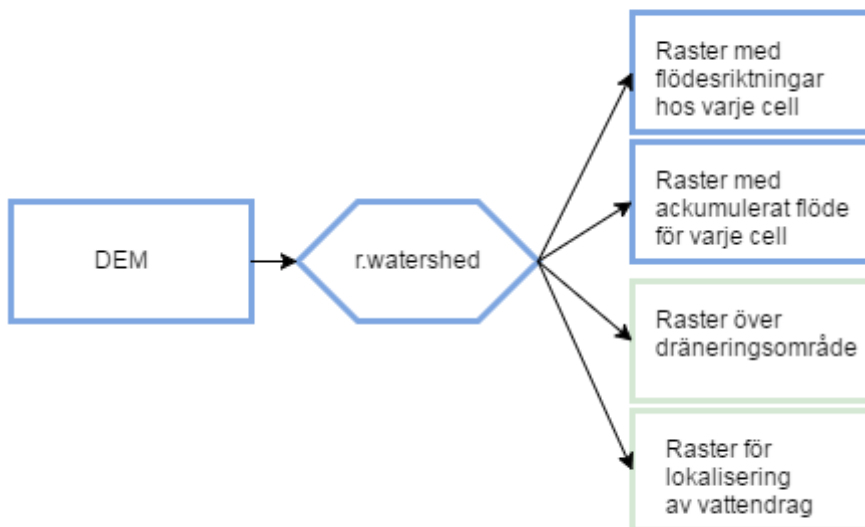
135	90	45
180	<i>x</i>	360
225	270	315

Figur 3.8. Riktningkoder enligt *r.fill.dir*.

r.fill.dir fyller sänkorna i den digitala höjdmodellen innan flödesriktningarna skattas. Det resulterande flödesriktningsrastret kan sen användas i ytterligare moduler i QGIS/GRASS för att ta fram dräneringsområde och för att lokalisera vattendrag.

3.4.2 *r.watershed*

Med en digital höjdmodell som indata skapar modulen *r.watershed* raster som representerar flödesriktning, flödesackumulation, avrinningsområden och vattendrag, se figur 3.9. Flödesriktningen beräknas med A^T -sök-algoritmen som beskrivs av Raphael (1976) och Ehschlaeger (1989).



Figur 3.9. Flödesschema för flödesberäkningar med modulen *r.watershed*.

Flödesriktningsrastret anger riktningar som en av åtta möjliga riktningar där riktningsskoderna representeras av siffrorna 1-8 moturs, med start i nordost, se figur 3.10. Beräknas flödesriktningen vara till granncellen rakt till vänster får den alltså värdet 4.

3	2	1
4	x	8
5	6	7

Figur 3.10. Riktningsskoder enligt *r.watershed*.

Flödesackumulationsrastret visar hur många celler som enligt den skattade flödesriktningen flyter in i varje cell. Medan flödesriktningsrastret explicit anger en enda riktning för varje cell (enkel flödesriktning) grundas flödesackumulationen på att varje cell kan flöda in i fler än en av sina grannar (multipel flödesriktning). Flödet distribueras då till samtliga intilliggande celler med mindre höjdvärde, där lutningen mot de här cellerna används som viktningssfaktor för att bestämma den proportionella andelen flöde mot varje cell.

För att skatta det ackumulerade flödet multipliceras denna andel med antalet celler som flyter in i varje cell (Ehlschlaeger 2016).

4 Metod

Studien har genomförts med tre olika angreppssätt: en detaljstudie av den litteratur som ligger till grund för undersökta algoritmer, en detaljstudie av hur algoritmerna för flödesberäkning implementeras i jämförda programvaror och en tillämpning i form av flödesberäkning med de båda jämförda programvarorna inom ett större verkligt landområde.

4.1 Litteraturstudie

De studerade programvarorna tillhandahåller båda mer eller mindre utförlig dokumentation av sina verktyg och moduler som används vid flödesberäkningar. Verktygens och modulernas dokumentation, samt de originalartiklar där algoritmerna presenteras har studerats.

Dokumentationerna av verktygen och modulerna för flödesberäkningar utgör endast en sammanfattande tolkning av de teorier och metoder som verktygen bygger på och det är därför viktigt att på djupet även studera de artiklar som dokumentationen hänvisar till. Tillsammans kan de utgöra underlag för att kunna jämföra programvarornas algoritmer för flödesberäkning. I artiklarna, och i viss mån även i dokumentationen över modulerna och verktygen, resoneras det ibland kring algoritmernas fördelar.

En viss skillnad syns i dokumentationen hos ArcGIS jämfört med QGIS/GRASS. Som en följd av det kundansvar den kommersiella mjukvaran ArcGIS har tillhandahåller support med god intern hjälp-dokumentation som genomgående håller jämn nivå och struktur där de vetenskapliga artiklar som använda verktyg bygger på oftast refereras till.

Den fria tillgången till och den fria utvecklingen hos QGIS/GRASS för med sig att organisationen och inte minst dokumentationen är mindre sammanhållen. Dokumentationen för modulerna följer möjligtvis en mall, men styrningen av

denna är inte stark och därför är också nivån på beskrivningar av olika funktioner varierande.

Steget efter att studera dokumentation och refererade artiklar vore att göra en studie över algoritmernas kodning i respektive programvara, för att ta fram en så precis jämförelse som möjligt. Detta vore möjligt för QGIS och GRASS då de har öppen och tillgänglig källkod, men inte för den kommersiella mjukvaran ArcGIS.

4.2 Flödesberäkningar på detaljnivå

För att digitala höjdmodeller som representerar en verklig yta ska vara informativa består de av ofantligt många pixlar. En del av denna studie är att på detaljnivå undersöka vad som sker vid flödesberäkningar och för att göra detta är det relevant att konstruera förenklade situationer som representerar de avvägningar algoritmerna står inför i en digital höjdmodell. De egenutformade rastrena är små och har skrivits i ASCII-filformat. Varje cellvärde, representerar höjd precis som i en digital höjdmodell, och har för enkelhetens skull ett värde mellan 0 och 10.

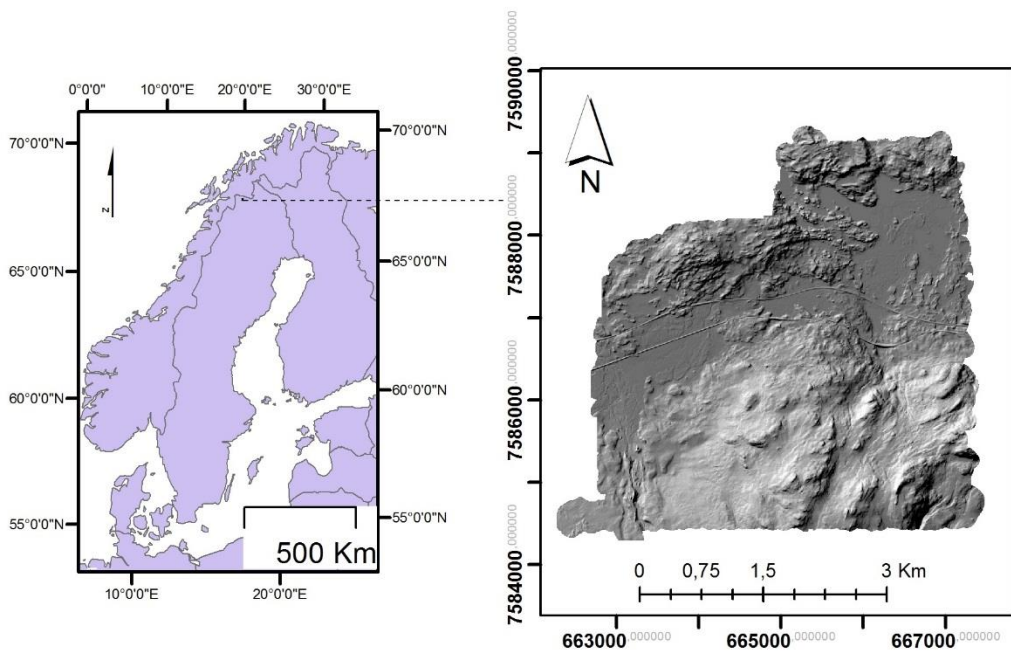
Vid flödesriktningsberäkning utnyttjar ArcGIS-verktygen *Fill* och *Flow Direction* och GRASS-modulen *r.fill.dir* båda den algoritm som använder iterativ länkning (se kapitel 3.1.). För att jämföra implementeringen och de resultat som genereras är det därför lämpligt att de körs på samma egenkonstruerade raster. Då metoden för att beräkna flödesriktning är densamma för båda program är det mest intressant att studera vad som sker i olika Extremsituationer och hur de här situationerna hanteras. De Extremsituationer som har studerats är sänkor och terrasser och har konstruerats i små raster för att på så sätt isolera dem.

Med metoden som används i *Fill* och *Flow Direction* och *r.fill.dir* sätts alla kantcellers flödesriktning rakt ut ur rastret och hanteras alltså som om de inte ingår i området som ska analyseras. Det betyder att det endast är rastrets inre celler som analyseras. Av denna anledning var det nödvändigt att rastret hade en sidlängd om minst fyra celler (en sidlängd på tre celler skulle resultera i ett analysområde bestående av en enda cell), men för att inte göra analysen och framförallt presentationen av analysen omotiverat invecklad bör rastret inte heller vara större. Rastrens anspråkslösa storlek gör det enkelt att analysera vad som sker när en algoritm körs, och att förstå händelseförloppet steg för steg.

Den algoritm, A^T sök-algoritmen, som används för flödesberäkningar i GRASS-modulen *r.watershed* är av annan karaktär än algoritmen med iterativ länkning. På grund av algoritmens trädstruktur vore det väldigt invecklat att ge exempel på hur den arbetar på större raster och detta exempel skulle bli mer omfattande än vad som behövs för att visa på algoritmens särdrag. Utöver det är även den omfattning algoritmen gör godtyckliga val av flödesväg på områden utan höjdskillnad en anledning till att ett annat raster användes i undersökningen av algoritmen för flödesberäkningar i *r.watershed*. Undersökningen av *r.watershed*-modulen har därför inledningsvis utförts på ett litet raster om 3x3-celler. Det 4x4-cellsraster, som användes i jämförelsen mellan ArcGIS-verktygen och GRASS-modulen *r.fill.dir*, kördes i *r.watershed* och en kort beskrivning av denna presenteras för att visa på skillnaderna mellan alla resultaten.

4.3 Flödesberäkningar på digital höjddmodell över Abisko

I vilken utsträckning flödesberäkningarnas resultat skiljer sig åt i ArcGIS och QGIS/GRASS är intressant för att klargöra vilken betydelse de här skillnaderna har i verkliga scenarier. För att ge en uppfattning om detta har respektive programvaras flödesberäkningar körts på höjddata för Stordalen utanför Abisko (figur 4.1). Det bedrivs redan mycket forskning i detta område, bland annat för framtagandet av olika metoder för hydrologisk modellering med GIS. Tillgänglig data över området, samt möjligheten att jämföra denna studies resultat med andra framtagna metoders resultat, gjorde att valet föll på just Stordalen.



Figur 4.1. Terrängsskuggad karta över studieområdet Stordalen utanför Abisko i norra Sverige.

De digitala höjdmodellerna som använts för analysen har upplösning 5 meter respektive 10 meter. Höjdmodellerna är skapade genom fjärranalys med flygburen LIDAR-skanning.

Flödesriktningar anges med olika koder i de olika programvarorna och för att göra en jämförelse gäller det att flödesberäkningarnas resultat har samma kodning. För att lösa detta omklassades rasterskikten så att riktningarna anges i 45 - 360 grader (se figur 4.2).

135	90	45
180	x	360
225	270	315

Figur 4.2. Samtliga resultat för flödesriktning omklassades till att ange riktningar enligt koderna ovan.

För de celler där flödesberäkningarna resulterade i odefinierad flödesriktning gjordes en omklassning så att cellerna saknar värde. Med denna omklassning gjordes jämförelsen mer begriplig, då samtliga resultatraster hade samma antal möjliga riktningar och därmed samma antal möjliga värden.

Resultaten för de omklassade flödesriktningarna och flödesackumulation jämfördes med varandra i upplösning om 5 respektive 10 meter. Fastighetskartans vektorlager för vatten, sankmark och hydrografi användes för att ge en anvisning om var flödesackumulationen borde vara som störst.

5 Resultat

5.1 Flödesberäkningar på detaljnivå – implementering av algoritmen med iterativ länkning i ArcGIS och GRASS


I det här kapitlet jämförs ArcGIS verktyg *Fill* och *Flow Direction* med QGIS/GRASS:s modul *r.fill.dir* då de båda grundar sig på algoritmen med iterativ länkning (se kapitel 3.1.). Flödesberäkningen körs på ett raster om 4x4 celler (se figur 5.1) i respektive programvara.

7	7	7	7
7	7	7	7
6	7	1	7
7	7	7	7

Figur 5.1. Raster som *r* undersöks i ArcGIS och QGIS/GRASS.

I ett första steg fylls alla en-cells-sänkor. I denna matris finns en sådan med värde 1, på plats (3,3), vars grannceller alla har höjdvärde 7. Detta steg utförs inuti modulen *r.fill.dir* i QGIS/GRASS medan det görs med det enskilda verktyget *Fill* i ArcGIS. Resultatet blir detsamma i båda programvaror, se figur 5.2.

7	7	7	7
7	7	7	7
6	7	1	7
7	7	7	7



7	7	7	7
7	7	7	7
6	7	7	7
7	7	7	7

Figur 5.2. En-cells-sänkan i exempelrastret (t.h.) fylls och ett sänklöst raster genereras (t.v.).

Härefter påbörjas identifieringen av flödesriktning hos varje cell. Kantcellerna har inte det antal grannar som krävs för att en filteroperation ska utföras på dem och därför tilldelas de flödesriktningar ut ur rastret. I ArcGIS har man möjligheten att låta kantcellernas flödesriktning vara inåt, medan i QGIS är flödesriktning utåt förinställt.

Kantcellernas tilldelning av riktningsskoder ut ur rastret sker i olika ordning i programvarorna. I QGIS/GRASS arbetar man sig fram rad för rad med start i övre vänstra hörnet. Detta innebär att kantcellerna på rad 1 först tilldelas sina riktningar uppåt, ut ur rastret och första cellen på rad 2 tilldelas riktningen åt vänster, ut ur rastret, varefter man tar sig an den första inre cellen. Detta betyder att samtliga inre celler tilldelas flödesriktning innan rastrets nedersta rad har hanterats i QGIS/GRASS. I ArcGIS däremot, tilldelas alla kantceller riktning innan algoritmen angriper de inre cellerna. En annan skillnad vad gäller kantcellerna, är att i ArcGIS tilldelas hörnceller diagonala riktningar medan i QGIS/GRASS tilldelas hörnceller antingen horisontala eller vertikala riktningar. Det övre vänstra hörnet tilldelas nordvästlig riktning i ArcGIS (32 enligt ArcGIS riktningsskodning) medan den får riktningen rakt norrut i QGIS/GRASS (90 enligt modulens riktningsskodning), se figur 5.3 och 5.4.

↖	↑	↑	↗	32	64	64	128
←			→	16			1
←			→	16			1
↙	↓	↓	↘	8	4	4	2

Figur 5.3. Kantcellers riktningar enligt ArcGIS. Riktningsskoder t.h.

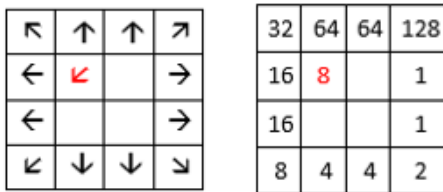
↑	↑	↑	↑	90	90	90	90
←				180			

Figur 5.4. Kantcellers riktningar enligt QGIS/GRASS. Riktningsskoder t.h.

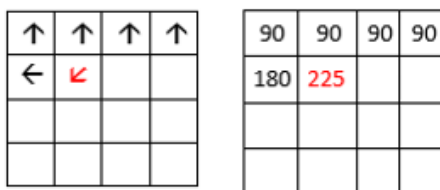
Alla inre celler har höjdvärde 7 i exempelrastret med höjddata (figur 5.1). Det maximala avståndsviktade höjdfallet sker i horisontala och vertikala riktningar då avståndet till de här cellerna är 1 och avståndet till de diagonala granncellerna är $\sqrt{2}$ och därmed större än 1.

Den första inre cellen som filterfönstret tar itu med är den på plats (2,2). Dess maximala höjdfall är 1 och sker till granncellen snett nedåt vänster. Denna granncell är den enda som har ett höjdfall större än 0. Cellen på plats (2,2)

tilldelas enligt algoritmen därför flödesriktning snett nedåt vänster, se figur 5.5 och 5.6.



Figur 5.5. Riktningar enligt ArcGIS. Riktningsskoder t.h.



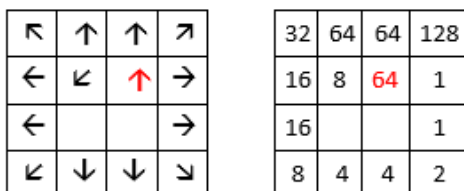
Figur 5.6. Riktningar enligt QGIS/GRASS. Riktningsskoder t.h.

Cellen på plats (3,2) i rastret ovan (figur 5.1) har maximalt höjdfall = 0 mot samtliga av sina grannar. Flödesriktningen på plats (3,2) kommer i detta läge i algoritmen att flaggas som odefinierad. I ArcGIS tilldelas cellen det summerade värdet av alla riktningsskoder för de riktningar dit höjdfallet är maximalt, medan QGIS/GRASS-modulen tilldelar cellen ett negativt värde.

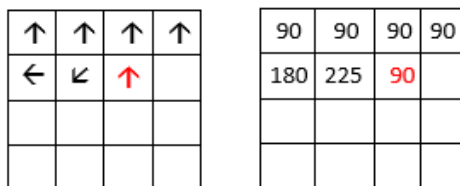
När filterfönstret har gått igenom samtliga celler i exempelrastret kommer de inre cellerna på plats (3,2) och (3,3) ha en odefinierad flödesriktning. Enligt algoritmen undersöks cellerna med odefinierad flödesriktning ytterligare en gång. Om någon av dess grannceller har en definierad flödesriktning och denna flödesriktning inte flyter in i centrumcellen, tilldelas centrumcellen flödesriktning mot denna cell (Jenson och Domingue 1988).

När filterfönstret ska bearbeta den första cellen som flaggats med odefinierad flödesriktning, dvs. den på plats (3,2) undersöks ifall någon av dess grannar har en definierad flödesriktning. I båda programvaror har granncellen (2,2) flödesriktning snett nedåt vänster, granncellerna (1,2), (1,3) har flödesriktning rakt uppåt. Skillnaderna syns i hörncellen på plats (1,4) som i ArcGIS har flödesriktning snett uppåt höger medan den i QGIS/GRASS har flödesriktning rakt uppåt. I QGIS/GRASS har dessutom granncellen rakt åt höger på plats (2,4)

ingen definierad flödesriktning än, medan denna cell har tilldelats flödesriktning ut ur rastret i ArcGIS, dvs. rakt åt höger. Eftersom maximala höjdfallet är 0 till samtliga grannceller och granncellernas definierade flödesriktning till övervägande del sker rakt uppåt, tilldelas centrumcellen också denna flödesriktning i båda programvaror, se figur 5.7 och 5.8.

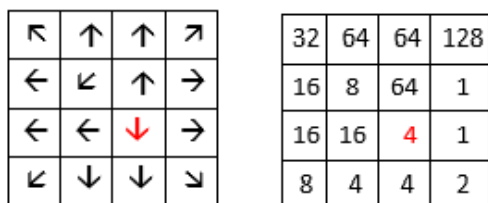


Figur 5.7. Flödesriktning enligt ArcGIS. Till höger visas riktningsskoderna.



Figur 5.8. Flödesriktning enligt QGIS/GRASS-modulen r.fill.dir. Till höger visas riktningsskoderna.

Den inre cell där skattningen av flödesriktningen skiljer sig åt mellan de två programvarorna är cellen på plats (3,3). Det maximala höjdfallet från denna cell är 0 åt samtliga håll och därför bestäms flödesriktningen utifrån sina grannars flödesriktning. I QGIS har grannen till vänster och alla grannar ovanför cellen definierad flödesriktning, medan i ArcGIS har samtliga grannceller definierad flödesriktning. Detta beror på den ordning programvarorna har valt att hantera kantceller. I QGIS/GRASS sätts riktningen rakt uppåt då det är dit dess grannceller till övervägande del har sina flödesriktningar. I ArcGIS är denna riktning till övervägande del rakt nedåt, och centrumcellens flödesriktning sätts därför nedåt, se figur 5.9 och 5.10.



Figur 5.9. Flödesriktningar enligt ArcGIS. Riktningsskoder till höger.

↑	↑	↑	↑	90	90	90	90
←	↙	↑	→	180	225	90	360
←	←	↑		180	180	90	

Figur 5.10. Flödesriktningar enligt QGIS/GRASS. Riktningsskoder till höger.

I ArcGIS har nu hela rastret fyllts med definierade flödesriktningar och i QGIS/GRASS återstår endast kantceller som enligt algoritmen alla ska ha flödesriktning utåt. Slutresultaten visas nedan i figur 5.11.

↖	↑	↑	↗	↑	↑	↑	↑
←	↙	↑	→	←	↙	↑	→
←	←	↓	→	←	←	↑	→
↙	↓	↓	↘	↓	↓	↓	↓

Figur 5.11. Slutresultat för flödesriktning. ArcGIS t.v. och QGIS/GRASS-modulen r.fill.dir t.h.

5.2 Flödesberäkningar på detaljnivå – Implementering av A^T -algoritmen i GRASS

I detta kapitel undersöks hur GRASS-modulen *r.watershed* tillämpar A^T -sök-algoritmen för att skatta flödesvägar ur en digital höjdmodell. Det exempelraster som används är av en storlek på 3x3 celler (se figur 5.12).

1	4	7
2	8	9
7	6	6

A	B	C
D	E	F
G	H	I



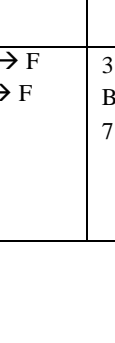
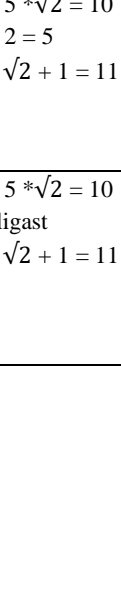

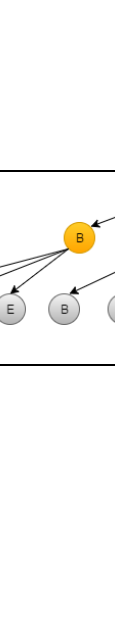
Figur 5.12. Exempelraster om 3x3 celler. Varje cell representeras av bokstaven på motsvarande plats i det vänstra rastret.

Siffrorna i figur 5.12 representerar höjdvärde. Bokstäverna representerar cellerna på respektive plats. Alla kantceller och sänkceller utgör enligt algoritmen startnoder. Cell A är den lägst belägna cellen av alla startceller och därför börjar algoritmen arbeta med denna. Cell F utgör målcell då ingen av dess grannar har ett större höjdvärde än den själv.

För enkelhetens skull är alla celler av storlek 1*1, vilket innebär att avståndet till en horisontal eller vertikal granne är 1 medan avståndet till en diagonal granne är $\sqrt{2}$. Kostnaden att korsa en cell ges av en kombination av höjdskillnad och avstånd.

Eftersom algoritmen söker efter en väg uppströms kommer den aldrig undersöka celler med mindre höjdvärde än den cellen den utgår ifrån. Det betyder exempelvis att om algoritmen söker efter en väg från cellen på plats G i exempelrastret ovan, kommer endast cellen på plats E vara en möjlig väg eftersom E är den enda granncellen med större höjdvärde.

Tabell 1. Tillämpning av AT-sök-algoritmen. Skatning av flödesväg mellan cell A och F.

Utförande	Öppna noder	g(öppen nod)	Stängda noder	Utforskat träd
Öppna topp-noden A	A	0		
Stäng A Öppna A → B, A → D, A → E	A → B A → D A → E	3 1 $7 * \sqrt{2} = 10$	A	
Stäng A → D Öppna A → D → B, A → D → E, A → D → H,	A → B A → E A → D → B A → D → E A → D → H A → D → G	3 $7 * \sqrt{2} = 10$ $1 + 2 * \sqrt{2} = 3,8$ $1 + 7 = 8$ $1 + 4 * \sqrt{2} = 6,7$ $1 + 5 = 6$	A, A → D	
Stäng A → B Öppna A → B → C, A → B → F, A → B → E,	A → E A → D → B A → D → E A → D → H A → D → G A → B → C A → B → F MÅL A → B → E	$7 * \sqrt{2} = 10$ $1 + 2 * \sqrt{2} = 3,8$ $1 + 7 = 8$ $1 + 4 * \sqrt{2} = 6,7$ $1 + 5 = 6$ $3 + 3 = 6$ $3 + 5 * \sqrt{2} = 10$ $3 + 2 = 5$	A, A → D, A → B	
Notera A → B → F som en möjlig väg. Stäng A → E Öppna A → E → F	A → D → B A → D → E A → D → H A → D → G A → B → C A → B → F MÅL A → B → E A → E → F MÅL	$1 + 2 * \sqrt{2} = 3,8$ $1 + 7 = 8$ $1 + 4 * \sqrt{2} = 6,7$ $1 + 5 = 6$ $3 + 3 = 6$ $3 + 5 * \sqrt{2} = 10$ $3 + 2 = 5$ $7 * \sqrt{2} + 1 = 11$	A, A → D, A → B, A → E	
Resultat	A → B → F A → E → F	$3 + 5 * \sqrt{2} = 10$ Billigast $7 * \sqrt{2} + 1 = 11$		



Figur 5.13. Flödesväg mellan startcell A och målcell F. Resultat från tillämpningen av A^T-sök-algoritmen enligt tabell 1.

Det är viktigt att komma ihåg att kostnaden är en kombination av avstånd och höjdskillnad. Den billigaste vägen mellan cell A och F visas enligt pilarna i figur 25. Algoritmen arbetar för att hitta den billigaste vägen uppströms, vilket innebär att den skattade vägen flödesriktning är åt motsatt håll.

Cell D med höjdvärde 2 är nästa nod som algoritmen tar sig an. Tabell 2 visar tillämpningen av A^T-sök-algoritmen för att hitta flödesvägen mellan cell D och cell F. Figur 26 visar denna flödesväg.

Tabell 2. Tillämpning av AT-sök-algoritmen för att skatta flödesväg mellan cell D och cell F.

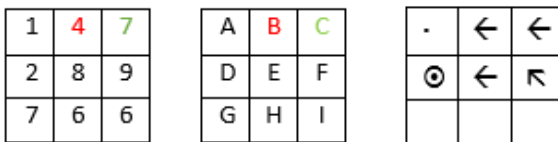
Utförande	Öppna noder	g(öppen nod)	Stängda noder	Utforskat träd
Öppna D	D	0		
Stäng D, Öppna D → G, D → H, D → E	D → G D → H D → E	5 $4 * \sqrt{2} = 5,7$ 6	D	
Stäng D → G, Öppna D → G → E	D → H D → E D → G → E	$4 * \sqrt{2} = 5,7$ 6 $5 + 1 * \sqrt{2} = 6,4$	D, D → G	
Stäng D → H, Öppna D → H → G, D → H → F, D → H → I, D → H → E	D → E D → G → E D → H → G D → H → F MÅL D → H → I D → H → E	6 $5 + 1 * \sqrt{2} = 6,4$ $4 * \sqrt{2} + 1 = 6,7$ $4 * \sqrt{2} + 3 * \sqrt{2} = 9,9$ $4 * \sqrt{2} + 0 = 5,7$ $4 * \sqrt{2} + 2 = 7,7$	D, D → G, D → H	

<p>Notera $D \rightarrow H \rightarrow F$ som en möjlig väg till mål. Stäng $D \rightarrow E$ Öppna $D \rightarrow E \rightarrow F$</p>	<p>$D \rightarrow G \rightarrow E$ $D \rightarrow H \rightarrow G$ $D \rightarrow H \rightarrow F$ MÅL $D \rightarrow H \rightarrow I$ $D \rightarrow H \rightarrow E$ $D \rightarrow E \rightarrow F$ MÅL</p>	<p>$5 + 1 * \sqrt{2} = 6,4$ $4 * \sqrt{2} + 1 = 6,7$ $4 * \sqrt{2} + 3 * \sqrt{2} = 9,9$ $4 * \sqrt{2} + 0 = 5,7$ $4 * \sqrt{2} + 2 = 7,7$ $6 + 1 = 7$</p>	<p>$D, D \rightarrow G,$ $D \rightarrow H, D$ $\rightarrow E$</p>	
<p>Resultat</p>	<p>$D \rightarrow H \rightarrow F$ MÅL $D \rightarrow E \rightarrow F$ MÅL</p>	<p>$4 * \sqrt{2} + 3 * \sqrt{2} = 9,9$ $6 + 1 = 7$ Billigast</p>		



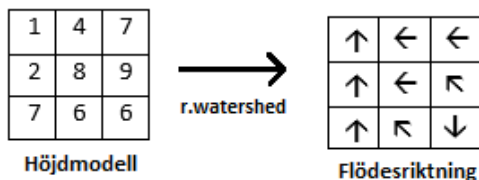
Figur 5.14. Skattad flödesväg mellan startcell D och målcell F. Resultat från tillämpningen av A*-sökalgorithm enligt tabell 2.

Nästa nod som enligt den storlekssorterade listan ska hanteras är cell B med höjdvärde 4. Den enda av dess grannceller med större höjdvärde som ännu inte tilldelats en flödesriktning är cell C. Cell C tilldelas riktning mot cell B, se figur 5.15.



Figur 5.15. Cell B är startcell. Cell D tilldelas flödesriktning mot cell C.

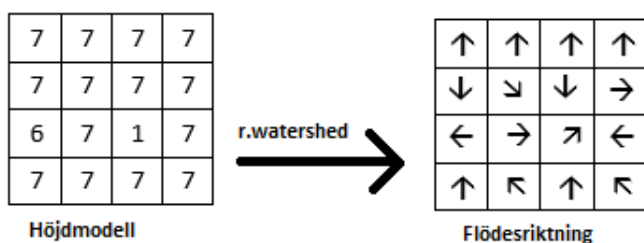
Därefter tilldelas resterande startceller flödesriktning mot den av sina grannar som har mindre höjdvärde. Om ingen av cellens grannar har ett mindre höjdvärde får denna cell flödesriktning rakt ut ur rastret. Slutresultat visas i figur 5.16.



Figur 5.16. Slutligt resultat för flödesriktning enligt GRASS-modulen *r.watershed*.

5.2.1 *r.watershed* på en plan yta

En körning av GRASS-modulen *r.watershed* på samma extremsituationsraster som undersöktes med ArcGIS-verktygen *Fill* och *Flow Direction* och GRASS-modulen *r.fill.dir* i kapitel 4.1 gav följande resultat (se figur 5.17).



Figur 5.17. Flödesriktning enligt GRASS-modulen *r.watershed*.

Sänkans (på plats (3,3)) grannceller har flödesriktningar mot sänkans, med undantag för cellen på plats (2,4). Denna cell utgör en av rastrets så kallade startnoder och tilldelas riktningen åt höger. Detta beror på att algoritmen strävar efter att allt flöde någon gång ska ledas ut ur rastret, vilket leder till att sänk-cellens på plats (3,3) tilldelas riktningen mot sin granne på plats (2,4).

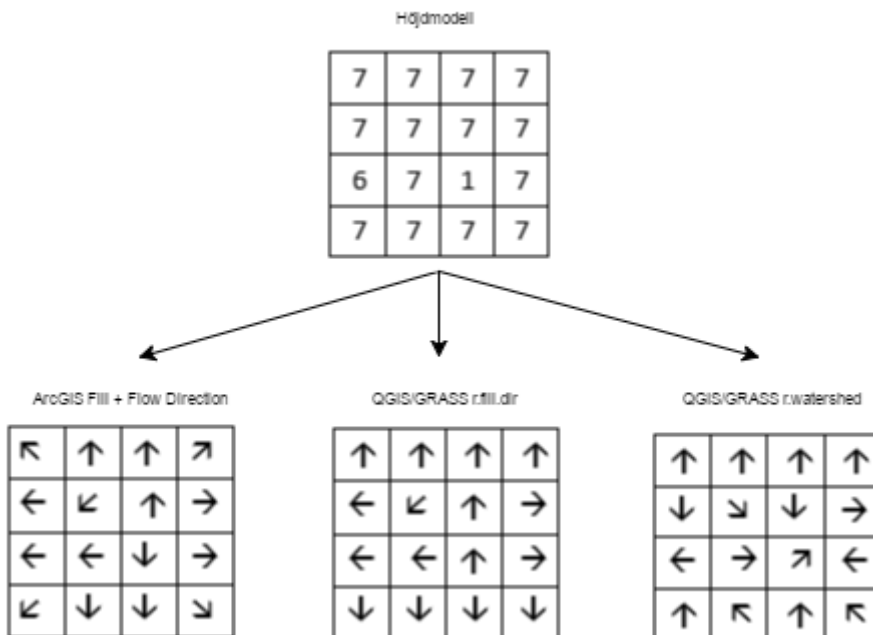
På ett plant område som detta utförs enligt A^T -sök-algoritmen flertalet godtyckliga val enligt steg 2.2.2 i algoritmen som beskrivs i kapitel 3.2. I en verklig digital höjdmodell av tillräcklig kvalitet bör behovet av godtyckliga val av riktning rimligtvis inte vara lika stort då det i stor utsträckning finns en faktisk höjdskillnad mellan samtliga celler.

5.3 Sammanställning av flödesberäkningar på detaljnivå

Sänk-cellens på plats (3,3) fylls enligt den algoritm som ArcGIS:s verktyg *Fill* och *Flow Direction* och QGIS/GRASS-modulen *r.fill.dir* använder. Detta sker inte i QGIS/GRASS-modulen *r.watershed*. Istället tillåts en-cells-sänkor finnas kvar,

och för att undvika att flödet ”slukas” av denna en-cells-sänka så sätts så småningom åtminstone en av dess granncellers flödesriktning mot ett håll som slutligen kommer leda flödet ut ur rastret.

Kantceller särbehandlas i samtliga tre flödesberäkningar. ArcGIS:s *Flow Direction* och QGIS/GRASS-modulen *r.fill.dir* sätter kantcellernas riktning oberoende av deras grannars höjdvärde, medan i QGIS/GRASS-modulen *r.watershed* riktas kantcellernas flöde mot lägre grannar om det finns några, annars riktas flödet rakt ut ur rastret. Detta leder till att det i första hand är höjdvärde som avgör cellernas flödesriktning i *r.watershed*, även på en tämligen platt yta som den som undersöks här. I ArcGIS-verktyget *Flow Direction* och QGIS/GRASS-modulen *r.fill.dir* är det däremot framför allt granncellernas definierade flödesriktning som är avgörande. Nedan (figur 5.18) visas resultat för flödesberäkningar på exempelrastret från samtliga verktyg.

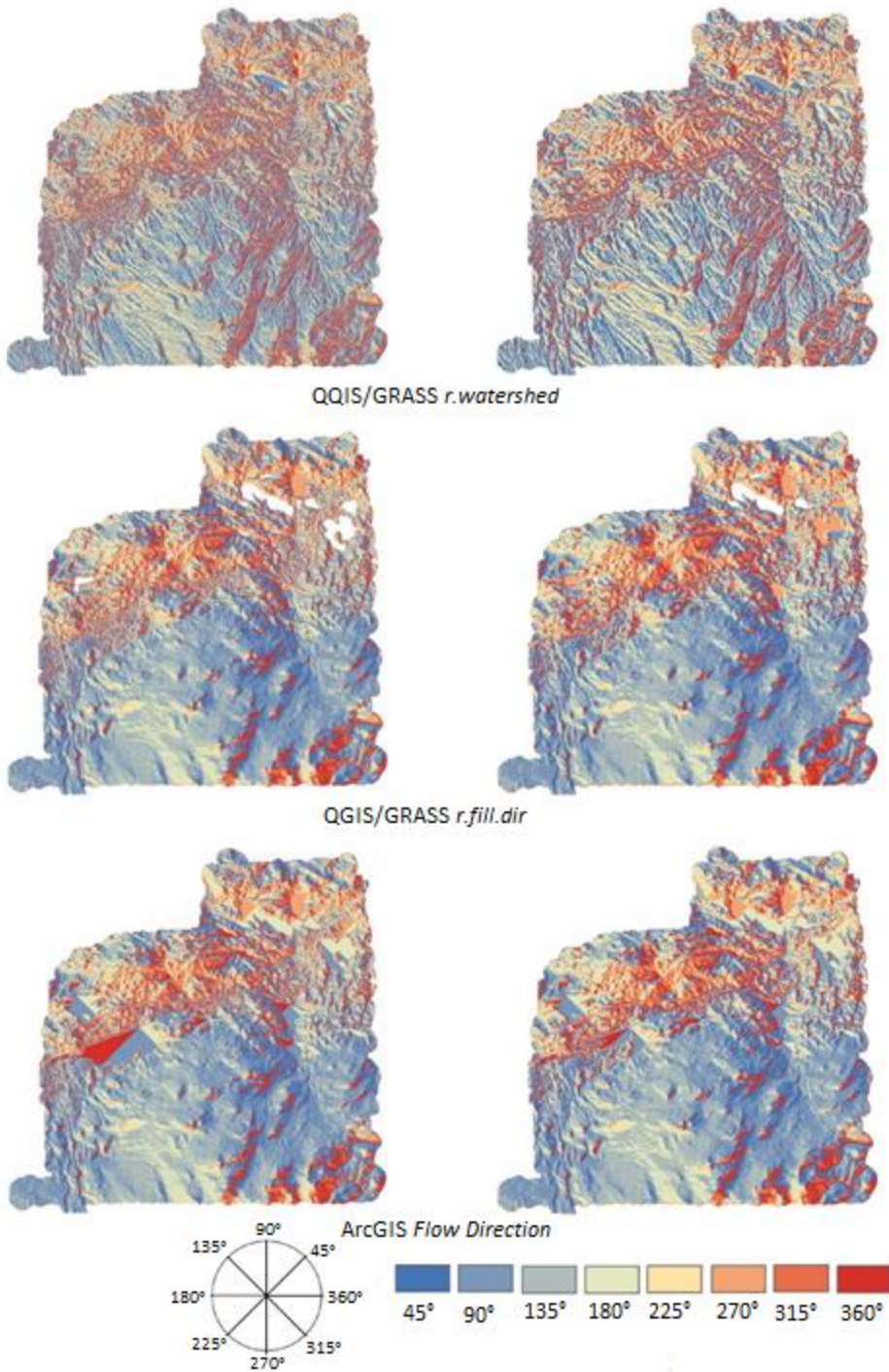


Figur 5.18. Skattade flödesriktningar.

5.4 Flödesberäkningar på digital höjdmmodell Abisko

Figur 5.19 visar resultaten från beräkningarna av flödesriktning från ArcGIS och GRASS-modulerna *r.watershed* och *r.fill.dir*. Beräkningarna gjordes på digitala höjdmodeller av upplösning (cellstorlek) 5 meter och 10 meter. Den övergripande

tendensen är överensstämmande hos samtliga resultat för flödesriktning (se figur 5.19).



Figur 5.19. Resultat från beräkningar av flödesriktning i QGIS/GRASS-modulerna r.watershed och r.fill.dir och ArcGIS-verktyget Flow Direction. 5 meters upplösning t.v. och 10 meters upplösning t.h.

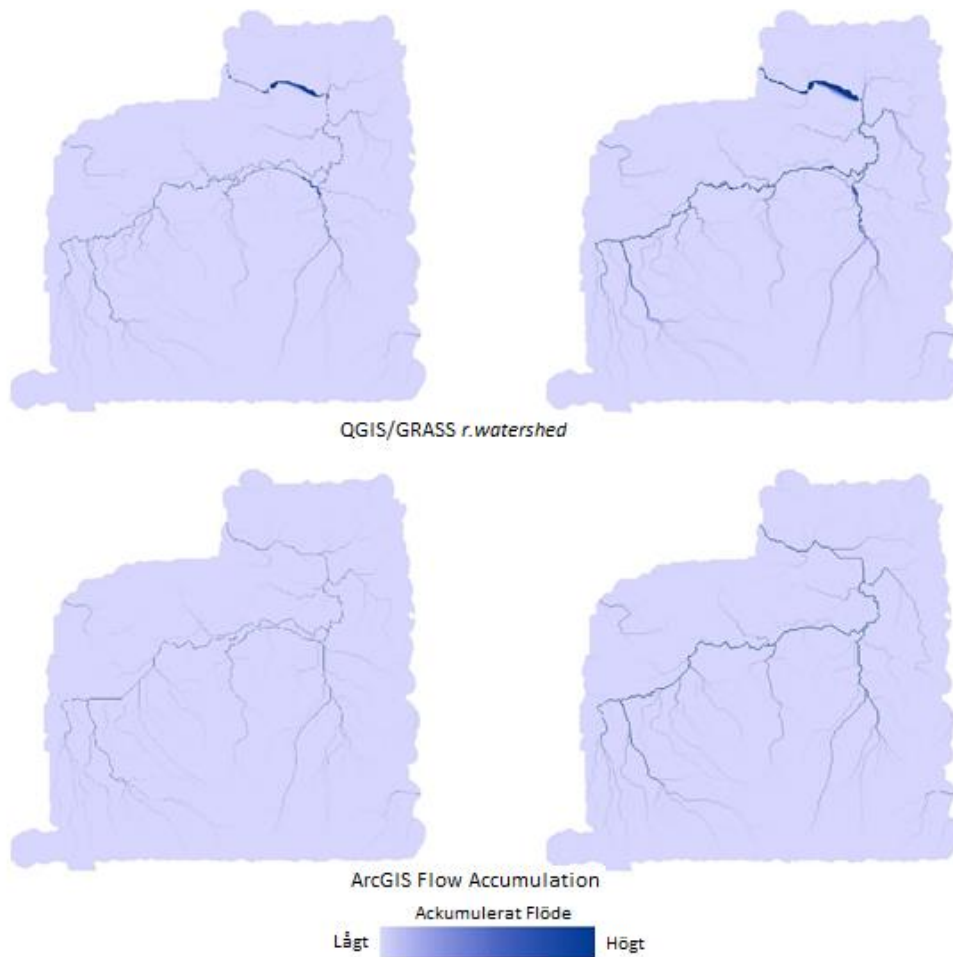
Modulen *r.watershed* gav ytor där flödesvägarna syns som ränder längs sluttningarna. Riktningarnas övergripande disposition stämmer bra överens med de övriga resultaten. Utöver flödesvägarnas ränder är en stor skillnad mot de andra två resultaten att *r.watershed* kunnat identifiera sankmarkens flödesriktningar.

I GRASS-modulen *r.fill.dir* är flödesriktningarna i 5 meter och 10 meter i stort sett identiska, bortsett från antalet celler med odefinierade flödesriktningar. Odefinierad flödesriktning uppstår exempelvis när det maximala höjdfallet sker mot fler än en granncell. När detta sker flaggas cellen som odefinierad genom att den tilldelas ett värde som inte representerar någon av de 8 riktningsskoderna. För att samtliga resultatraster ska vara jämförbara har celler med odefinierad flödesriktning omklassats till att sakna värde i resultatrastren för flödesriktning från modulen *r.fill.dir*. Områden med odefinierad flödesriktning syns därför som ”hål” i kartsiktet. I 5 meters upplösning syns större sammanhängande områden med odefinierad flödesriktning än i 10 meters upplösning. De här områdena är enligt fastighetskartan vattendrag eller sankmark.

ArcGIS resultat för flödesriktning liknar i stor utsträckning det från GRASS:s *r.fill.dir* med undantag för de plana ytorna som i *r.fill.dir* har odefinierad flödesriktning. Trots att ArcGIS använder samma metod att identifiera och flagga odefinierade flödesriktningar finns inga sådana i något av flödesriktningsrastrena i de olika upplösningarna. Vid sänkfyllningen gjordes stora områden helt platta, och de här syns som stora homogena områden i flödesriktningsrastrena. De områden som består av sankmark är full av sänkor som slätades ut med *Fill*-verktyget tills inga sänkor längre förekom. Celler i områden med samma höjddata ges den flödesriktning som dess närmsta granne med definierad flödesriktning har. Detta är en iterativ process som pågår tills en granne med definierad flödesriktning hittas.

5.4.1 Ackumulerat flöde

I figur 5.20 visas resultaten för de ackumulerade flödena över Abisko-området. De två övre kartorna visar resultatet från GRASS-modulen *r.watershed* och de två nedre kartorna visar resultatet från ArcGIS verktyg *Flow Accumulation*.

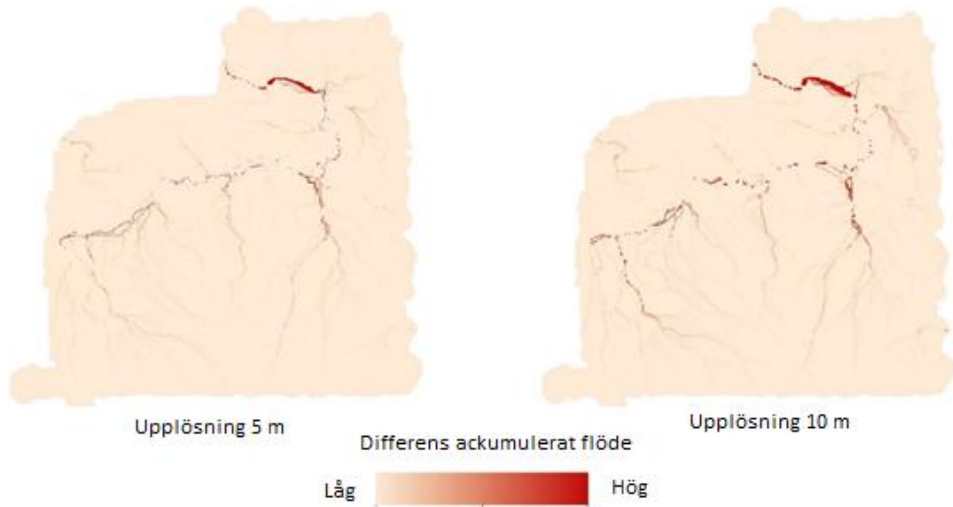


Figur 5.20. Resultat från beräkningar av flödesackumulation i QGIS/GRASS-modulen *r.watershed* och ArcGIS-verktyget *Flow Direction*. 5 meters upplösning t.v. och 10 meters upplösning t.h.

De övergripande resultaten för flödesackumulation i de båda programvarorna stämmer bra överens. Flödesutbredningarna liknar varandra så till vida att de visar stort respektive litet flöde på samma område.

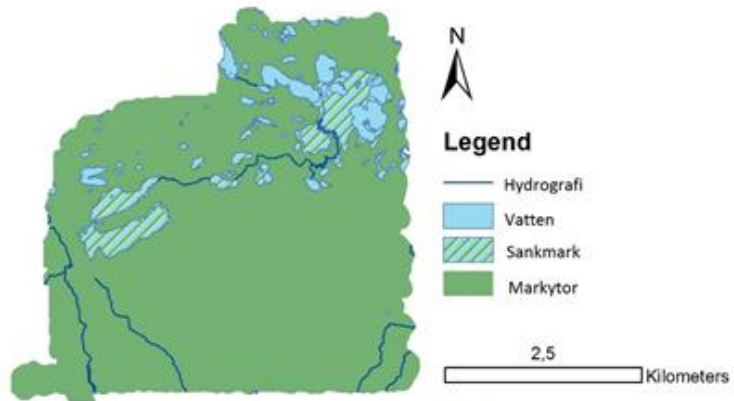
Den största och mest iögonfallande skillnaden syns vid det större vattendraget i studieområdets norra del. Beräkningarna för flödesackumulation enligt ArcGIS

visar på stort flöde längs en smal remsa med tjocklek på en cell både i upplösning 5 meter och upplösning 10 meter, medan GRASS-modulen *r.watershed* visar stort flöde längs ett bredare område med en ungefärlig bredd på 20-70 meter i 5 meters upplösning och 40-150 meter i 10 meters upplösning. En följd av detta syns tydligt i figur 5.21 som visar differensen mellan de två programvarornas skattade flödesackumulation. Områden med hög differens finns uteslutande i och kring vattendragen, som ju tillåts ha olika utbredning i de olika programvarorna.



Figur 5.21. Differens mellan programvarornas skattning av ackumulerat flöde.

En annan skillnad, som inte direkt syns i kartorna, är att i GRASS-modulen *r.watershed* beräknas flödesackumulation utifrån en flödesriktningsskattning där cellers flödesriktning sätts som andelar till alla sina grannar med lägre höjdvärde. Flödesackumulationen är viktad mot det höjdfall som sker mot granncellerna.



Fastighetskartans vektorlager för hydrografi, vatten och sankmark



Ackumulerat flöde ArcGIS Flow Accumulation



Ackumulerat flöde QGIS/GRASS r.watershed

Figur 5.22. Resultat för ackumulerat flöde (underst) jämfört med fastighetskartans vektorlager för vattendrag.

Resultaten för ackumulerat flöde visar var vattenflöden är som mest koncentrerade vilket innebär att de bör ge en anvisning av var vattendragens finns. Som syns i figur 5.22 visar både QGIS/GRASS-modulen *r.watershed* och ArcGIS-verktyget *Flow Accumulation* på stort flöde där det enligt fastighetskartans lager för vatten, sankmark och hydrografi finns vattendrag. Att de vattendrag som finns i områdets södra delar inte syns tydligt i något av resultaten för ackumulerat flöde beror på att detta område har högre höjdvärde än den norra delen. Det ackumulerade flödet blir enligt algoritmerna större ju mindre höjdvärdet är. Eftersom algoritmerna endast ser till det flöde som ackumuleras inom analysområdet tas det flöde som kommer utifrån inte med i beräkningarna.

6 Utvärdering

6.1 Litteraturstudie

Dokumentationen av verktyg och moduler i de studerade programvarorna ArcGIS och QGIS/GRASS är i första hand till för att ge användaren svar på hur verktygen och modulerna ska användas. Av denna anledning är dokumentationerna inte tillräckligt utförliga och djupgående för att självständigt användas som underlag i en studie där algoritmer på detaljnivå ska jämföras.

Dokumentationen utgör tillsammans med de vetenskapliga artiklar som de hänvisar till en grundligare förklaring av hur algoritmerna fungerar, men de täcker alltfjämt inte samtliga detaljer i algoritmerna. Det resulterar i att flera val och avvägningar är upp till den enskilde programmeraren. För att nå en detaljerad och utförlig undersökning och analys av algoritmerna som används krävs därför att man studerar koden. Detta vore möjligt i QGIS och GRASS men den kommersiella mjukvaran ArcGIS har sluten källkod och således är det problematiskt att få tillgång till dess kod. Jämförelserna i denna studie skulle vara utförligare och mer omfattande om tiden medgett att respektive programvaras kod undersöktes.

För kommuner och andra myndigheter är det viktigt att ha tillförlitliga verktyg till hands för att analysera markområdets beskaffenhet. Står de inför ett val av programvara utifrån vilken som skulle ge det mest tillförlitliga resultatet för flödesberäkningar är detta svårt att avgöra ur dokumentationen. I QGIS/GRASS:s dokumentation för *r.watershed* tas tydlig ställning för att A^T -sök-algoritmen resulterar i noggrannare och mer exakta resultat i terrassområden och för DEM:er där vegetationen utgör störningar i höjddatan, än den algoritm som används i modulen *r.fill.dir* och i ArcGIS. Dokumentationens objektivitet kan inte garanteras då det kan tänkas ligga i författarens intresse att främja programvaran, och därför bör lämpligheten av att fullständigt förlita sig på programvarans egen dokumentation tänkas över.

6.2 Flödesberäkningar på detaljnivå

En skillnad mellan tillvägagångssätten i QGIS/GRASS-modulen *r.fill.dir* och ArcGIS-verktygen *Fill* och *Flow Direction* är kantcellernas tilldelning av flödesriktning. I ArcGIS utförs flödesriktningstilldelningen av kantcellerna allra först, medan i QGIS/GRASS sker detta rad för rad, kolumn för kolumn. Det betyder att samtliga inre celler tilldelas flödesriktning i QGIS/GRASS innan rastrets nedersta rad har hanterats.

I små raster, som det som används i detta exempel, påverkas slutresultatet väsentligt av denna skillnad. Enligt algoritmerna ska de celler vars flödesriktning inte går att definiera skattas utifrån sina närmsta grannas flödesriktning. Kantcellerna tillhör det fåtal celler vars flödesriktning går att definiera eftersom det sker enligt hårdkodningen, och inte beror på höjddatan. Att rastret representerar en plan yta för med sig att flödesriktningen hos de inre cellerna beror på de flödesriktningar som går att identifiera, i det här fallet alla kantceller. Detta gör att kantcellernas flödesriktning väger tungt i skattningen av de inre cellernas flödesriktning. Den ordning kantceller tilldelas flödesriktning i de olika programvarorna har alltså betydelse för det slutliga resultatet av flödesskattningen.

I en Extremsituation som denna är det väntat att kantcellernas flödesriktning påverkar skattningen av de övriga cellernas flödesriktning. En verklig digital höjdmmodell över ett område där en flödesanalys vore relevant består inte av en enda plan yta. Områden där flödesanalys är relevant bör dessutom täcka ett område eller vara av en upplösning som ger ett raster med betydligt fler celler än 16. Därför är kantcellernas inverkan på de övriga cellernas flödesriktning i stort sett betydelselös. Dessutom bör det poängteras att vid flödesberäkningar som de som undersöks i denna rapport ingår inte kantcellerna i det område som ska analyseras.

Precis som i algoritmen som används i QGIS/GRASS-modulen *r.fill.dir* och ArcGIS-verktyget *Flow Direction* särbehandlas kantcellerna även i A^T -sök-algoritmen som används i *r.watershed*, men inte i lika omfattande utsträckning. Med *r.fill.dir* och *Flow Direction* sätts kantcellernas flödesriktning oberoende av dess granncellers höjdvärde, medan *r.watershed* riktar kantcellernas flöde mot

lägre grannceller, om det finns några. Finns endast grannceller med högre höjdvärde riktas kantcellernas flöde ut ur rastret.

En viktig skillnad mellan algoritmen med iterativ länkning (som används i modulen *r.fill.dir* och ArcGIS:s *Flow Direction*) och A^T -sök-algoritmen är att sänkfyllning inte krävs i A^T -sök-algoritmen. Det för med sig att de höjddata som algoritmen körs på inte är modifierad. En-cells-sänkor tillåts vara kvar, och flödet styrs mot dem i stor utsträckning. För att undvika att flödet ”slukas” av en-cells-sänkor sätts så småningom en av dess granncellers flödesriktning mot ett håll som slutligen kommer leda ut ur rastret. Sammantaget betyder skillnaderna som rör sänkfyllning och kantcellers flödesriktning att det i *r.watershed*-modulen i första hand är höjdvärde som avgör cellernas flödesriktning, medan *r.fill.dir* och *Flow Direction* framför allt ser till granncellernas definierade flödesriktning.

6.3 Flödesberäkningar på digital höjdmmodell Abisko

Resultaten visar flödesberäkningar gjorda med ArcGIS-verktygen *Fill* och *Flow Direction* och GRASS-modulerna *r.fill.dir* och *r.watershed* stämmer bra överens. De skillnader som finns har att göra med dels de metoder som algoritmerna grundas på och dels implementeringen av själva algoritmerna.

Resultaten från flödesriktningsberäkningarna gjorda med GRASS-modulen *r.watershed* på den digitala höjdmodellen över området utanför Abisko visar flödesvägar i form av långa ränder. Detta beror på algoritmens sätt att staka ut flödesvägarna, med start i sänkor eller kantceller varifrån algoritmen bygger flödesvägen från en cell till en annan cell tills den når en cell som inte har några högre intilliggande celler. I en verklig digital höjdmmodell med upplösning och precision som den som har använts här finns i regel alltid höjdskillnader att arbeta utifrån. En-cells-sänkor kommer så småningom tilldelas flödesriktning mot en av sina grannceller som i sin tur kommer riktas mot en av sina andra grannceller, ifall den hade en flödesriktning mot en-cells-sänkan. Detta fortsätter tills flödet har hittat en väg som så småningom leder ut ur rastret.

En cell som tilldelats en flödesriktning kommer i regel behålla denna flödesriktning (med undantag för vissa fall med grannceller till sänkor) vilket för med sig att en flödesväg aldrig kommer ”korsa” en annan väg. En målcell definieras som en cell vars alla intilliggande grannar har ett mindre höjdvärde, och

eftersom digitala höjdm modeller representerar en kontinuerlig yta ligger celler med likartat höjdvärde i anslutning till varandra. Tillsammans innebär detta att många flödesvägar slutligen kommer leda till en och samma målcell vilket bildar många parallella vägar som vid någon punkt ansluter sig till varandra.

Resultaten från flödesriktningsberäkning med GRASS-modulen *r.fill.dir* visar på större områden med odefinierad flödesriktning i båda upplösningarna på 5 meter respektive 10 meter. Områdena är de som består av sankmark eller vattendrag och betraktas alltså som sänkor och terrasser. Att de här områdena har odefinierad flödesriktning beror på algoritmens iterativa process att hitta närliggande celler med definierad flödesriktning och tilldela cellen denna flödesriktning. Det visar sig att det i koden finns en gräns för hur många celler som får lov att sökas igenom, det vill säga hur långt bort algoritmen ska söka, för att hitta en cell med en definierad flödesriktning. Det antal celler som behöver sökas igenom för att till slut hitta celler med definierad flödesriktning är mindre i den grövre upplösningen på 10 meter än för upplösning 5 meter, vilket leder till att de i större utsträckning hittas hos rastret med 10 meters upplösning. Detta leder i sin tur till att de sammanhängande områdena med odefinierad flödesriktning är mindre i 10 meters upplösning än i 5 meters upplösning.

Flödesriktningsrastren som genererats med *r.fill.dir* liknar de flödesriktningsraster som genererats i ArcGIS. Detta är väntat då de bygger på samma algoritm. De områden som visar på olika resultat är sankmarker eller sjöar, vilka betraktas som sänkor och hanteras olika i respektive programs algoritm.

I beräkningen av flödesriktning i ArcGIS har sankmarker och sjöar fyllts tills ingen cell har ett lägre höjdvärde än sin granne. Detta betyder att efter sänkfyllningen är sankmarkerna och sjöarna helt plana och cellerna flaggas med odefinierad flödesriktning eftersom ingen av dess grannar har ett mindre höjdvärde. Det som sker sedan är den iterativa processen att hitta en granne med definierad flödesriktning. Algoritmen kommer bearbeta alla celler och sätta deras flödesriktning mot den av sina grannar som har en definierad flödesriktning enligt steg 3 i algoritmen med iterativ länkning som beskrivs i kapitel 3.1 Detta leder till att en eller ett fåtal celler med definierad flödesriktning påverkar stora sjok av områden som då kommer tilldelas samma flödesriktning, tills algoritmen kommer närmre celler med definierad flödesriktning åt ett annat håll. Detta ger upphov till

att de plana ytorna representeras av delområden med samma flödesriktning mot en ”mittlinje” bestående av celler vars flödesriktning leder ut ur den plana ytan.

6.3.1 Ackumulerat flöde

Samtliga resultat för ackumulerat flöde visar på övergripande liknande resultat. Den största skillnaden syns i den del som utgör en sjö i områdets norra del. GRASS-modulen *r.watersheds* algoritmer för att finna flödesvägar från varje startcell till en målcell kommer med en digital höjdmodell av den upplösning och den precision som använts i denna studie leda till flera intilliggande flödesvägar som så småningom knyts ihop vid någon punkt, för att i slutändan ge ett resultat som liknar ett nätverk över flödesvägarna. För varje cell som enligt algoritmen utgör en startcell kommer en flödesväg som leder till en målcell att stakas ut. Då sänkor utgör startceller kommer en uppströms flödesväg från varje sänkcell att finnas. Detta leder till att ackumulerat flöde i en sjö eller annat vattendrag kommer vara fördelat på de celler som ingår i de flödesvägar som leder till vattendragets lägst belägna celler. Det ackumulerade flödet visar därför höga värden längs ett brett område, då ju närmre startcellerna (som utgör sänkor) en cell finns desto högre ackumulerat värde har den. I resultatet från ArcGIS:s verktyg *Flow Accumulation* visas däremot det ackumulerade flödet längs smala linjer med tjocklek på en cell. De här linjerna är de linjer som i flödesriktningsrastret utgör gränserna mellan delområdena i de plana ytorna. Allt flöde koncentreras till de här linjerna som leder flödet ut ur de plana ytorna.

En viktig skillnad mellan skattningen av flödesackumulation i de olika programvarorna är den variant av flödesriktning den grundas på. I ArcGIS används den flödesriktning som beräknades med verktyget *Flow Direction*, där varje cells flöde riktas mot endast en av dess grannar. GRASS-modulen grundar flödesackumulationen på ett annat sätt att skatta flödesriktning, där flödet sprids till samtliga intilliggande celler med mindre höjdvärde. Lutningen mot de här cellerna används som viktningsfaktor för att bestämma den proportionella andelen flöde mot varje cell. En metod att låta flöde distribueras över fler än en cell är att föredra då det knappast är troligt att allt flöde över en yta färdas åt endast ett håll.

7 Slutsatser

I den vanligast förekommande situationen finns till varje cell en granne med lägre höjdvärde än de andra. Samtliga undersökta algoritmer styr då flödet mot denna cell. Det är i de problemsituationer då en flödesriktning inte entydigt kan skattas – plana områden och sänkor – som algoritmerna skiljer sig åt.

Frågeställning 1. *Hur skiljer sig algoritmerna som ligger till grund för beräkning av flödesriktning och ackumulerat flöde i de studerade programvarornas moduler?*

Först och främst används två olika algoritmer för att skatta flödesriktning: QGIS/GRASS-modulen *r.watershed* använder den så kallade A^T sök-algoritmen medan QGIS/GRASS-modulen *r.fill.dir* och ArcGIS använder en algoritm med iterativ länkning. A^T sök-algoritmen beräknar den ”billigaste” vägen flödet kan ta från en fördefinierad startpunkt till en fördefinierad målpunkt. Algoritmen med iterativ länkning kräver i ett första steg att alla sänkor fylls, och därefter utförs filteroperationer på varje cell för att hitta den granncell dit det maximala höjdfallet är som störst. Trots att QGIS/GRASS-modulen *r.fill.dir* och ArcGIS använder samma algoritm för att skatta flödesriktning så skiljer sig implementeringen av denna åt i respektive programvara.

Två viktiga skillnader mellan modulerna är att *r.watershed* tillåter alla sänkor att finnas kvar och att det ackumulerade flödet skattas utifrån multipel flödesriktning.

Frågeställning 2. *Hur skiljer sig resultaten från beräkningar av flödesriktning och ackumulerat flöde utifrån mjukvarornas moduler?*

På detaljnivå syns stor skillnad. Skillnaden i resultat mellan modulerna som använder iterativ länkning beror på att kantceller tilldelas flödesriktning i olika ordning. Den flödesriktning som kantceller tilldelas tar ingen hänsyn till de höjddata som finns. I algoritmen med iterativ länkning hanteras plana områden på så sätt att närliggande cellers flödesriktning ges till de celler där flödesriktningen inte går att definiera enligt algoritmen. Detta leder till att närliggande celler har stor påverkan på övriga celler i ett plant område.

På ett större geografiskt område stämmer resultat för flödesriktning och ackumulerat flöde från samtliga moduler bra överens. Det beror på att det finns en faktisk höjdskillnad mellan så gott som samtliga celler i rastret. Skillnaderna syns framför allt i de områden som utgör sankmark och sjöar – dvs. terrasser och sänkor.

Referenser

- Ehlschlaeger, C. 1989. Using the AT search Algorithm to develop hydrologic models from digital elevation data. *Proceeding of the International Geographic Information System (IGIS) Symposium*.
- Ehlschlaeger, C. 2016. r.watershed. Hämtad 2016-05-18, från <https://grass.osgeo.org/grass71/manuals/r.watershed.html>.
- Energimyndigheten. 2015. Vatten. Hämtad 2015-05-20, från <http://www.energimyndigheten.se/statistik/tillforsel/vatten/>.
- Environmental Systems Research Institute Inc. 2016. How Flow Direction works. Hämtad 2016-05-17, från <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm>.
- Esri. ArcGIS for Desktop, Extensions. Hämtad 2016-05-17, från <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop/extensions>.
- Esri. ArcGIS for Desktop, System Requirements. Hämtad 2016-05-05, från <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop/system-requirements>.
- Esri. Who we are. Hämtad 2015-05-18, från <http://www.esri.com/about-esri#who-we-are>.
- Esri. 2011a. Flow Direction (Spatial Analyst). Hämtad 2016-05-18, från <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z00000052000000.htm>.
- Esri. 2011b. How Fill Works. Hämtad 2016-05-18, från <http://help.arcgis.com/EN/ARCGISDESKTOP/10.0/HELP/index.html#//009z00000061000000.htm>.
- Esri. 2011c. How Flow Accumulation works. Hämtad 2016-05-18, från http://help.arcgis.com/EN/ARCGISDESKTOP/10.0/HELP/index.html#/How_Flow_Accumulation_works/009z00000062000000/.
- Esri. 2011d. How Flow Direction Works. Hämtad 2016-05-18, från http://help.arcgis.com/En/Arcgisdesktop/10.0/Help/index.html#/How_Flow_Direction_works/009z00000063000000/.
- Esri. 2011e. How Sink Works. Hämtad 2016-05-18, från http://help.arcgis.com/EN/ARCGISDESKTOP/10.0/HELP/index.html#/How_Sink_works/009z00000065000000/.
- Fischer, J. E. 2016. [Qgis-user] Announcing the release of QGIS 2.14 'Essen'. Hämtad 2016-05-05, från <https://lists.osgeo.org/pipermail/qgis-user/2016-February/035483.html>.

- gnu.org. 2016. Categories of free and nonfree software. Hämtad 2016-05-20, från <http://www.gnu.org/philosophy/categories.html#ProprietarySoftware>.
- GRASS Development Team. 2014. Historical Notes. Hämtad, från <https://grass.osgeo.org/home/history/>.
- Grass Development Team. 2015. Donations. Hämtad 2015-05-18, från <https://grass.osgeo.org/donations/>.
- Grass Development Team. 2016. What is GRASS GIS? Hämtad 2016-05-05, från <https://grass.osgeo.org/documentation/general-overview/>.
- Greenlee, D. D. 1987. Raster and vector processing for scanned linework. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 53: 1383-1387.
- Jenson, S. K., och J. O. Domingue. 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54: 1593-1600.
- Khazaei, S. K. B. 2014. Benefits of GIS Application in Hydrological Modeling: A Brief Summary. *Vatten*, 70: 41 - 49.
- Kinner, D. , H. Mitsova , R. Stallard , R. S. Harmon, och L. Toma. 2005. GIS-based stream network analysis for the upper Rio Chagres basin, Panama. I *Rio Chagres, Panama: A Multidisciplinary Profile of a Tropical Watershed*, red. R. S. Harmon, 83-95. Dordrecht: Springer.
- Länsstyrelsen. Översvämning och dammsäkerhet. Hämtad 2016-05-26, från <http://www.lansstyrelsen.se/Orebro/Sv/miljo-och-klimat/vatten-och-vattenanvandning/oversvamning/Pages/index.aspx>.
- MSB. 2009. Beredskap inför översvämning. Hämtad 2015-05-20, från <https://www.msb.se/sv/Insats--beredskap/Naturolyckor/Oversvamning/>.
- Nyberg, R. 2010. GIS-tillämpningar inom översvämningshantering - en forskningsöversikt.
- Open Source Geospatial Foundation. 2011. Annual Report 2007 Compiled.
- OSGeo Foundation. About the Open Source Geospatial Foundation.
- Pilesjö, P. 2008. I *Geografisk Informationsbehandling*, red. L. Harrie, 200-214.
- QGIS. Configuring external applications. Hämtad 2016-05-18, från https://docs.qgis.org/2.2/en/docs/user_manual/processing/3rdParty.html.
- QGIS. QGIS - The Leading Open Source Desktop GIS. Hämtad, från <http://www.qgis.org/en/site/about/index.html>.
- QGIS. Sponsorship Program Overview. Hämtad 2016-05-18, från <http://qgis.org/en/site/getinvolved/governance/sponsorship/sponsorship.html>.
- QGIS. Translation. Hämtad 2016-05-05, från <https://www.qgis.org/en/site/getinvolved/translate.html>.

Raphael, B. 1976. *The Thinking Computer*.

Schutzberg, A. 2011. Update: Esri has 40+% of GIS Marketshare. Hämtad 2016-05-05, från <http://www.directionsmag.com/entry/esri-has-40-of-gis-marketshare/215188>.

SMHI. Hydrologi. Hämtad 2016-05-26, från <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi>.

Institutionen av naturgeografi och ekosystemvetenskap, Lunds Universitet.

Student examensarbete (Seminarieuppsatser) i geografisk informationsteknik. Uppsatserna finns tillgängliga på institutionens geobibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND. Serien startade 2010. Hela listan och själva uppsatserna är även tillgängliga på LUP student papers och via Geobiblioteket (www.geobib.lu.se)

Serie examensarbete i geografisk informationsteknik

- 1 *Patrik Carlsson och Ulrik Nilsson* (2010) Tredimensionella GIS vid fastighetsförvaltning.
- 2 *Karin Ekman och Anna Felleson* (2010) Att välja grundläggande karttjänst – Utveckling av jämförelsemodell och testverktyg för utvärdering
- 3 *Jakob Mattsson* (2011) Synkronisering av vägdatabaser med KML och GeoRSS - En fallstudie i Trafikverkets verksamhet
- 4 *Patrik Andersson and Anders Jürisoo* (2011) Effective use of open source GIS in rural planning in South Africa
- 5 *Nariman Emamian och Martin Fredriksson* (2012) Visualisering av bygglovsärenden med hjälp av Open Source-verktyg - En undersökning kring hur man kan effektivisera ärendehantering med hjälp av en webbapplikation
- 6 *Gustav Ekstedt and Torkel Endoff* (2012) Design and Development of a Mobile GIS Application for Municipal Field Work
- 7 *Karl Söderberg* (2012) Smartphones and 3D Augmented Reality for disaster management - A study of smartphones ability to visualise 3D objects in augmented reality to aid emergency workers in disaster management
- 8 *Viktoria Strömberg* (2012) Volymberäkning i samhällsbyggnadsprojekt
- 9 *Daniel Persson* (2013) Lagring och webbaserad visualisering av 3D-stadsmodeller
- En pilotstudie i Kristianstad kommun
- 10 *Lisette Danebjer och Magdalena Nyberg* (2013) Utbyte av geodata - studie av leveransstrukturer enligt Sveriges kommuner och landstings objekttypskatalog
- 11 *Alexander Quist* (2013) Undersökning och utveckling av ett mobilt GIS-system för kommunal verksamhet
- 12 *Nariman Emamian* (2014) Visning av geotekniska provborrningar i en webbmiljö
- 13 *Martin Fredriksson* (2014) Integrering av BIM och GIS med spatiala databaser

- En prestandaanalys
- 14 *Niklas Krave* (2014) Utveckling av en visualiseringsapplikation för solinstrålningsdata
 - 15 *Magdalena Nyberg* (2015) Designing a generic user interface for distribution of open geodata: based on FME server technology
 - 16 *Anna Larsson* (2015) Samredovisning av BIM- och GIS-data
 - 17 *Anton Lundkvist* (2015) Development of a WEB GI System for Disaster Management
 - 18 *Ellen Walleij* (2015) mapping in Agricultural Development – Introducing GIS at a smallholders farmers’ cooperative in Malawi
 - 19 *Frida Christiansson* (2016) Lagring av 3D - geodata - en fallstudie i Malmö Stad
 - 20 *Lisette Danebjer* (2016) Methodology for creating and modifying distributed topologically structured geographical datasets
 - 21 *Jeanette Dunn Ekelund* (2016) En jämförelse av algoritmer och resultat för flödesberäkning i QGIS/GRASS och ArcGIS.