



UPPSALA  
UNIVERSITET



UPTEC W 18 046

Examensarbete 30 hp  
December 2018

# Hur påverkar en övergång från konventionell plöjning till reducerad jordbearbetning avrinning från åkermark

---

Johan Nilsson

## REFERAT

### *Hur påverkar en övergång från konventionell plöjning till reducerad jordbearbetning avrinning från åkermark*

- *Johan Nilsson*

Jordbruk syftar till användandet av mark för produktion av livsmedel, foder och råvaror. Reducerad jordbearbetning uppstod ursprungligen under 1900-talet för att öka lönsamheten till följd av stigande priser på drivmedel. För att sänka förbrukningen av drivmedel började bönder att bearbeta åkermarken i grundare skikt. Inom det moderna jordbruket finns det en pågående trend där en övergång från den konventionella plöjningen till reducerade bearbetningsmetoder blir allt vanligare. Idag pågår det kontinuerlig forskning som försöker tydliggöra hur olika bearbetningsmetoder påverkar jordbruksmarkens struktur. Det finns även teorier som pekar på att en övergång från konventionell plöjning till reducerad jordbearbetning kan minska mängden avrinning från åkermark, men trots det är området fortfarande relativt outforskat.

Skador till följd av avrinning från kraftiga nederbördstillfällen har under modern tid ökat. I framtida prognoser förutspås det en fortsatt ökning och mer omfattande skador. Med anledning av detta kommer en bättre klimatanpassning att krävas för att minska skador som uppstår till följd av avrinning. Ett exempel på den växande problematiken inträffade 2015 i Hallsberg. Den femte september anlände ett lågtryck som förde med sig över 100 mm nederbörd. Till följd av den extrema mängden nederbörd uppstod det omfattande översvämningar i Hallsberg och på närliggande åkermarker. Från händelsen växte frågan *hur en övergång från plöjning till reducerat jordbruk påverkar avrinning* fram som studien syftar till att undersöka.

Strategin som användes för att nå målet med studien bestod dels av en litteraturstudie samt hydrologiska modelleringar för olika jordbearbetnings metoder i programmet HEC-HMS. I litteraturstudien sammanställdes vetenskapliga studier som jämfört den fysikaliska inverkan som jordbruksmetoder har på åkermark. De hydrologiska modelleringarna baserades på information från Lantmäteriet, mätningar från tidigare undersökningar och SCS runoff curve number method (kurvnummer). Resultatet från litteraturstudien och de hydrologiska modelleringarna sammanvägdes i slutet av studien och från resultatet kunde ingen slutsats dras om hur en övergång från konventionell till reducerad jordbearbetning påverkar avrinning. För att kunna dra en slutsats behövde ett bredare vetenskapligt underlag samt en mer utvecklad modell.

Nyckelord: konventionell plöjning, reducerad jordbearbetning, nederbörd, avrinning, kurvnummer, hydrologisk modellering

*Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet (UU) Villavägen 16, 752 36, Uppsala, Sverige*

## ABSTRACT

### *How does a transition from conventional plowing to reduced tillage affect runoff from arable soil*

*- Johan Nilsson*

Farming aims towards the utilization of soil for production of food, animal fodder and commodities. In today's agriculture, we begin to see a gradual transition from the conventional plowing methods to reduced tillage methods. The concept of the reduced tillage originally arose to increase the profitability in agriculture as a response to the rising fuel price. To reduce the fuel consumption farmers began to cultivate the arable soil in more shallow layers. Today researchers are also trying to map how different tillage methods are affecting the soil structure in the arable soil. There are also some scientific theories which point out that a transition from conventional plowing to reduced tillage can reduce runoff from arable land, but despite the interest, the area is still relatively unexplored.

Runoff due to heavy rainfall has in modern time increased. In future climate forecasts, the rainfall is predicted to increase even more. As a response to the increased rainfall, the amount of runoff will be higher and with that more extensive damages will occur. In response to these developments, the requirements for climate adjustment will increase in order to minimize the potential damage caused by runoff and flooding events. An example of this growing problem occurred in 2015 in Hallsberg. Between 5 and 6 September, a low-pressure weather system brought down about 100 mm of precipitation. Due to the extreme amount of the rainfall, large floods occurred all over Hallsberg as well as in the nearby arable land. From this event, the question of how a transition from conventional plowing methods to reduced tillage affects the runoff from rainfall emerged.

The strategy used for the study consisted of a literature review and hydrological modeling for various soil tillage methods in the program HEC-HMS. In the literature review, scientific studies that compared the physical soil impact from different farming method were compiled. The basis for the hydrological model was created on collected information from the Swedish mapping, cadastral and land registration authority, the literature study and SCS runoff curve method. No clear conclusion could be drawn from the study. To be able to draw a conclusion from the compiled literature and the hydrological model a broader basis of scientific literature and a more developed model was needed.

Keywords: conventional plowing, reduced tillage, rainfall, runoff, curve number, hydrological model

*Department of Earth Sciences, Uppsala University (UU)  
Villavägen 16, SE 752 36, Uppsala, Sweden*

## FÖRORD

Det här Examensarbetet motsvarar 30 hp och är utfört som en del av Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet (UU) och Sveriges lantbruksuniversitet (SLU).Handledare var Johan Kjellin, vattenspecialist på Tyréns. Ämnesgranskare var Abraham Joel, forskare vid institutionen för mark och miljö; Mark och miljö, Vattenhushållning i jordbrukslandskapet, Sverige lantbruksuniversitet. Examinator var Björn Claremar, universitetslektor vid Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära; Meteorologi, Uppsala universitet.

Jag vill börjar med att framförallt tack min handledare Johan Kjellin och min ämnesgranskare Abraham Joel för all återkoppling jag har fått under examensarbetets gång.

Tack till Tyréns som låtit mig arbeta med detta examensarbete och bidragit med arbetsplats och utrustning. Jag vill även tacka Martin Rosén, Mohammadreza Alavimoghaddam, Jens Forslund och Vasiliki Vasilopoulou för stöd och goda råd under arbetets gång.

*Johan Nilsson*

*Uppsala, December 2018*

Copyright ©Johan Nilsson och institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten- och landskapslära, Uppsala universitet. UPTECW 18046, ISSN 1401-5765.

Publicerad digitalt vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala, 2018.

## POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Jordbruk är idag en av människan viktigaste källor till livsmedel, foder och råvaror. Reducerat jordbearbetning härstammar från 1900-talet och togs ursprungligen fram för att öka lönsamheten till följd av ökade priser på drivmedel. För att hantera situationen började åkermarken att bearbetas i grundare skikt. Idag har reducerad jordbearbetning utvecklats och omfattar numera en samling olika bearbetningsmetoder, samtliga med det ursprungliga syftet att minska förbrukningen av drivmedel. Idag pågår det forskning som undersöker hur olika bearbetningsmetoder påverkar jordbruksmarkens struktur. Hur en övergång till reducerad jordbearbetning påverkar avrinning är däremot inte lika utforskad, vilket studien syftar till att undersöka. Studien baserades på två olika delmoment, en sammanställning av tidigare vetenskapliga rapporter och en uppställning av en hydrologisk modell. Resultatet från studien visade på att det behövs ett bredare vetenskapligt underlag för att kunna avgöra hur en övergång till reducerad jordbearbetning påverkar avrinning från åkermark.

Jordbruk är en de viktigaste källorna till livsmedel och med en ökande efterfrågan kommer det i framtiden att krävas en expansion av åkermark. Reducerad jordbearbetning uppstod under 1900-talet till följd av ökat pris på drivmedel. För att sänka kostnaderna började bönder att bearbeta åkermarken i grundare skikt. Allteftersom metoden har visat sig lyckad har antalet utövare ökat. Idag pågår det forskning med syftet att tydliggöra hur olika bearbetningsmetoder påverkar jordbruksmarkens struktur. Det finns även teorier som pekar på att reducerad jordbearbetning kan leda till en minskad avrinning från åkermark.

I framtiden förutspås det att nederbördstillfällenas intensitet kommer öka och därmed ökad avrinning och mer omfattande skador. Ett dokumenterat exempel på den växande problematiken är situationen som uppstod i Hallsberg under 2015. Den 5 september kom ett lågtryck som förde med sig en dygnsnederbörd på över 100 mm. Till följd av den extrema nederbörden översvämmades stora delar av Hallsberg stad och närliggande åkermarker. Från händelsen växte frågan *Hur påverkar en övergång från konventionell plöjning till reducerad jordbearbetning avrinning från åkermark* fram vilken studien syftar till att undersöka.

För att uppnå målet med studien delades den in i två delmoment. Det första delmomentet var att sammanställa forskning som undersökt hur konventionell och reducerad jordbearbetning påverkar de fysikaliska egenskaperna i åkermarken. Den andra delen bestod av hydrologiska modelleringar över området kring Hallsberg. För att ställa upp modellen användes geografisk information samt en empirisk metod för att ta fram avrinning, som komplement till den uppställda modellen användes genomsläpplighets mätningar från tidigare studier.

Resultatet som erhöles från samtliga moment var att det inte gick att dra någon slutsats om hur en övergång från konventionell till reducerad jordbearbetning påverkar avrinning. De största bakomliggande faktorerna till resultatet var studiens avgränsningar och underlaget av vetenskapliga rapporter.



# Innehåll

<b>1</b>	<b>INTRODUKTION</b>	<b>1</b>
1.1	SYFTE OCH MÅL . . . . .	2
1.2	FRÅGESTÄLLNINGAR . . . . .	2
1.3	AVGRÄNSNINGAR . . . . .	2
<b>2</b>	<b>TEORI</b>	<b>3</b>
2.1	JORDBEARBETNING . . . . .	3
2.2	ÅKERMARKENS STRUKTUR . . . . .	4
2.3	PACKNINGSSKADOR . . . . .	5
2.4	MARKENS VATTENGENOMSLÄPPLIGHET . . . . .	6
2.5	AVRINNING . . . . .	8
2.6	NEDERBÖRD . . . . .	9
<b>3</b>	<b>VETENSKAPLIGA RAPPORTER</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>HYDROLOGISK MODELLERING</b>	<b>14</b>
4.1	HEC-HMS . . . . .	14
4.1.1	SCS runoff curve number method . . . . .	15
4.1.2	SCS unit hydrograph . . . . .	18
4.1.3	Vattenflöde . . . . .	19
4.1.4	Mannings tal . . . . .	19
4.2	HALLSBERG . . . . .	20
4.2.1	Historisk händelse . . . . .	21
<b>5</b>	<b>METOD</b>	<b>24</b>
5.1	SAMMANSTÄLLNING AV UNDERSÖKTA RAPPORTER . . . . .	24
5.2	KONSTRUKTION AV AVRINNINGSSOMRÅDET . . . . .	24
5.2.1	HEC-HMS . . . . .	28
<b>6</b>	<b>RESULTAT</b>	<b>29</b>
6.1	SAMMANSTÄLLNING AV VETENSKAPLIGA RAPPORTER . . . . .	29
6.2	HYDROLOGISK MODELLERING . . . . .	31
6.2.1	Markparametrar . . . . .	31
6.2.2	Modellering med mätvärden . . . . .	36
<b>7</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>37</b>
7.1	FRAMTIDA STUDIER . . . . .	42
<b>8</b>	<b>SLUTSATSER</b>	<b>43</b>
	<b>REFERENSER</b>	<b>44</b>
	<b>BILAGOR</b>	<b>47</b>
	BILAGA A: Exempel på hur stor andel vardera HSG utgör i olika områden. . . . .	47
	BILAGA B: Inhämtad mätdata . . . . .	47
	BILAGA C: Överskådlig sammanställning av resultatet . . . . .	48



# 1 INTRODUKTION

I varje län har man tagit fram handlingsplaner för klimatanpassning. I planerna nämns översvämningar återkommande och beskrivs som en av framtidens största utmaningar inom klimatanpassning (Länstyrelsen, 2015). Den huvudsakliga uppkomsten av översvämningar är på grund av höga vattenflöden i samband med avrinning. Definitionen av avrinning är den andel färskvatten från nederbörd och snösmältning som inte avdunstar eller stannar i området utan rinner ut i ett vattendrag. Hur mycket färskvatten som ett område kan ta hand om innan det blir till avrinning är direkt korrelerat till avrinningsområdets karaktär, markanvändning och jordart. Men allt eftersom det sker en mer omfattande urbanisering kommer avrinningsområdenas förmåga att hålla vatten att reduceras (Nationalencyklopedin, 2018b).

Reducerad jordbearbetning är ett begrepp för olika bearbetningsmetoder som eftersträvar en lägre förbrukning på drivmedel. Till följd av den ökande medvetenheten om klimatets utveckling och ökande priser på drivmedel har antalet utövare på senare år ökat. Den stora skillnaden mellan reducerad jordbearbetning och konventionell plöjning är vilket djup som åkermarken bearbetas i, vilket även är direkt korrelerat till energiåtgången. Idag finns det teorier som pekar på att en övergång till reducerad jordbearbetning potentiellt kan reducera mängden avrinning från åkermark (Håkansson, 2000; Jordbruksverket, 2008). Dock är forskningen inte överens om hur en övergång till reducerad jordbearbetning påverkar avrinning, men forskningen står fast vid att reducerad jordbearbetning kan öka förutsättningen för en god jordstruktur, vilket även gynnar förutsättningarna för ett mer välutvecklat marksystem, som i sin tur potentiellt kan leda till en minskad avrinning.

Det som kännetecknar jordbruksmark är en tydlig avgränsning mellan det översta lagret, matjorden, och det underliggande lagret (alven). Matjorden är det skikt som bearbetas med jordbruksredskap och innehåller en hög andel organiskt material, vilket ger skiktet en mörk karaktär, till skillnad från alven som innehåller en betydligt lägre andel organiskt material (Sörensson, 2015). En vanlig negativ effekt från konventionell plöjning är uppkomsten av plogsula. En plogsula är ett hårt packat och svårgenomträngligt skikt lokaliserat direkt under plogfårans botten och drastiskt kan försämra jordens vattengenomsläpplighet. Plogsulan uppstår på grund av den höga energiåtgången som krävs för att en plog ska kunna vända jorden. Hur stor utbredning plogsulan får är direkt korrelerat till vilken kraft som plogen dragits med. Skiktet utgör även den skarpa gränsen som skiljer matjorden från alven (Håkansson, 2000). Vid tidigare övergångar till reducerad jordbearbetning har jordbruksverket (2008) rapporterat om en minskad problematik med uppkomsten av plogsula.

Det som studien syftar till att undersöka är hur en övergång från konventionell plöjning till reducerad jordbearbetning påverkar avrinning från åkermark. Tillvägagångssättet för att uppnå målet innefattar en analys av tidigare studier inom området samt

hydrologiska modelleringar över Hallsbergs avrinningsområde i programmet HEC-HMS. Tillsammans ska momenten mynna ut i en sammanvägd bild för hur en övergång till reducerad jordbearbetning påverkar avrinning.

## 1.1 SYFTE OCH MÅL

Syftet med projektet var att undersöka hur en övergång från konventionell plöjning till reducerad jordbearbetning påverkar avrinning. Detta skulle uppnås genom att sammanställa vetenskapliga rapporter och ställa upp en hydrologisk modell i programmet HEC-HMS. Modellen och den sammanställda litteraturen skulle därefter agera som grund vid bedömning för hur en övergång till reducerad jordbearbetning påverkar avrinning

Målet med projektet var att genom en litteraturstudie och hydrologisk modellering sammanställa den aktuella uppfattningen om hur en övergång till reducerad jordbearbetning påverkar avrinning från åkermark.

## 1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR

För att kunna uppfylla syftet och målet med formulerades följande frågor:

1. Hur påverkas åkermarkens struktur vid en övergång till reducerad jordbearbetning?
2. Hur påverkas vattengenomsläpplighet vid en övergång till reducerad jordbearbetning?
3. Hur påverkas ytavrinning vid en övergång till reducerad jordbearbetning?
4. Är HEC-HMS ett lämpligt program för att modellera skillnader mellan olika bearbetningsmetoder?

## 1.3 AVGRÄNSNINGAR

Faktorer som inte undersöktes i studien var klimat, dräneringssystem, grundvattenbildning, typ av jordbruksfordon, växtproduktion samt brukning (gödsling m.m.) på åkermark. Avgränsningar för litteraturstudien var att enbart skandinaviska rapporter undersöktes. Anledningen till avgränsningarna var det skulle medföra en för stor omfattning.

## 2 TEORI

### 2.1 JORDBEARBETNING

Syftet med jordbearbetning är att skapa gynnsamma förhållanden för grödor, vilket kan ske genom att luckra packade skikt i jorden, bekämpa ogräs samt mylla gödsel. Under 1900-talet var konventionell plöjning den dominerande jordbearbetningsmetoden inom jordbruket och det var inte förrän under en senare bit in på 1900-talet som begreppet reducerad jordbearbetning blev myntat. I dagens jordbruk är konventionell plöjning fortfarande en av de dominerande bearbetningsmetoderna, men till skillnad från 1900-talet har antalet utövare av reducerad jordbearbetning ökat rejält. Reducerad jordbearbetning togs ursprungligen fram för att öka lönsamheten till följd av ökande priser på drivmedel. För att sänka förbrukning av drivmedel började åkermarken att bearbetas i grundare skikt. Idag har reducerad jordbearbetning utvecklats och blivit ett brett begrepp som infattar många olika kombinationer av bearbetningsmetoder. Några exempel på reducerade bearbetningsmetoder är grund-/djupgående kultivator och tallriksredskap. Det som i huvudsak skiljer konventionell och reducerad bearbetning åt är bearbetningsdjupet samt hur skörderesthanteringen går till, i det här arbetet kommer enbart bearbetningsdjupet att undersökas. En vanlig, men grov uppdelning inom reducerad bearbetning är om den sker med eller utan plog. En vanlig kategorisering för bearbetningssystem utan plog är (Jordbruksverket, 2008):

- Direktsådd
- Plöjningsfri odling med grund bearbetning (5-7 cm djup)
- Plöjningsfri odling med djup bearbetning (ca 20 cm djup)

Vid val av bearbetningsmetoder måste även hänsyn till faktorer som områdets jordart vägas in. I tabell 1 redovisas jordbruksverkets rekommendationer om vilken bearbetning som passar bäst till vilken jordart och brukning (Jordbruksverket, 2008):

Tabell 1: Rekommendationer för val av bearbetningsmetoder (Jordbruksverket, 2008).

Reducerad jordbearbetning	Konventionell jordbearbetning
Styva lerjordar (40–60 viktprocent ler).	Lättare jordar
Torra jordar	Stubb, lång halm eller stor mängd skörderester
Jordar med hög genomsläpplighet och bra struktur	Jordar med perenna ogräs och mycket rotagräs
Grödor som inte har ett stor luckringsbehov	Ekologisk odling
	Jordar med dålig markstruktur och svår genomsläpplig jord

Syftet med plöjning är att luckra packade/skadade skikt i matjorden och göra den mer anpassad för grödor. Vilket djup som bearbetas vid plöjning varierar kraftigt från plats till plats, men brukar vanligtvis ligga mellan 15–20. En negativ effekt från plöjning är uppkomsten av plogsula (Håkansson, 2000). Vid utebliven luckring blir markens yta mer jämn samtidigt som strukturen i marken blir mer homogen och

skapar en bättre stabiliteten i de grova porsystemen. Utebliven luckring ökar även skrymdensiteten i obearbetade jordlager. Till slut bildas det en svår genomtränglig förtätningen i de översta skikten av matjorden (Etana m. fl., 2000; Sörensson, 2015). I en tidigare undersökningen från Etana m. fl. (2000) har det visats på att åkermark bearbetad med reducerad jordbearbetning får en bättre dräneringsförmåga under torra förhållanden. Enligt jordbruksverket (2008) minskar även avdunstningen från åkermarken samt uppkomsten av plogsula. Jordbruksverket redovisar även att risken för igenslamning och skorpbildning på känsliga jordar minskar, samt att den biologiska aktiviteten i åkermark ökar. Nackdelarna är däremot att ogräsmängden ökar, marktemperatur blir lägre samt att det sker en långsammare upptorkning av jorden. Vid reducerad bearbetning ökar även det mekaniska motståndet i matjorden och kan medföra tekniska svårigheter vid sådd (Jordbruksverket, 2008).

Ett sätt att mäta det mekaniska motståndet är via penetrationsmotstånd. Mätningar kan ske med en så kallad penetrometer där motståndet undersöks genom att man låter ett spjut med en sensorförsedd kon penetrera marken. Från mätningarna erhålls en serie som beskriver ett penetrationstryck för olika djup i jorden. Dock måste penetrationsmotståndet även vägas mot faktorer som vilken typ av jord det är samt dess struktur, mycket på grund av att konen inte tar hänsyn till porerna och sprickorna som rötterna följer. Vid mätningar kan en penetrometer kan visa ett motstånd som är upp till 2–8 gånger större än motståndet som rötter egentligen upplever (Sörensson, 2015).

## 2.2 ÅKERMARKENS STRUKTUR

Åkermarken är till största del uppbyggd av fasta material och porer. Markens egenskaper och utseende förändras kontinuerlig eftersom det sker ett kontinuerligt samspel mellan väder, vatten, jordpartiklar, markdjur, mikroorganismer och växter med dess rötter. Tillsammans bildar de komplexa system för struktur, täthet och jordhorisonter, vilket även påverkar hur mycket vatten som kan tas upp, magasineras och röra sig genom marken. Det fasta materialet i marken är uppbyggt av mineralpartiklar och organiska material. En vanlig beskrivning av markens struktur är att de större partiklarna utgör skelettet medan de mindre partiklarna fyller hålrummen och sitter på utsidan på de större partiklarna (Messing, 2013). Markens struktur kan även delas i grupper om enkelkornstruktur eller aggregatstruktur beroende på hur partiklar hålls samman. Exempel på enkelkornstruktur är friktionsjordar. En friktionsjord domineras av större korn som grovmo, sand och grus och kännetecknas på att materialet hålls samman av mekanisk friktion mellan mineralkornen, vilket gör att strukturen lätt kan falla sönder vid torka. Ett exempel på en aggregatstruktur är kohesionjordar som utgörs till största del av lerpartiklar. Det som kännetecknar kohesionjordar är att de har en stark sammanhållning mellan mineralpartiklarna (Wesström m. fl., 2016).

Ler är ett av de viktigaste mineralerna i marken eftersom den har en stor specifik yta och påverkar starkt jordens fysikaliska egenskaper genom att binda ihop mineral. Vid tillgång av vatten absorberas vattnet till ler och jorden börjar svälla. Är tillgången av vatten tillräckligt stor kan jorden svälla till sådan grad att den kan krossa gamla aggregat, makroporer eller stukturskador. Är tillgång av vatten liten krymper jorden och jordmassor kan separeras från varandra, vilket i sin tur kan gynna uppkomsten av nya strukturer i jorden och öka genomsläppligheten, men eftersom ler har en stor förmåga att behålla vatten kan ler även ha en hämnade effekt på genomströmningen av vatten, framförallt i lerjordar (SGI, 2018). Skulle till exempel en jord bestående av mjåla (finsilt, 0,002–0,006 mm, och mellansilt, 0,006–0,02 mm) som naturligt har väldigt små porer och släpper igenom vatten långsamt, finnas i kombination med en högre andel ler skulle sprickor kunna bildas mellan aggregaten och öka genomsläppligheten. Samtidigt gör ler även aggregaten mer motståndskraftiga (Håkansson, 2000; Messing, 2013; Wesström m. fl., 2016).

Mineralpartiklar är klassificerade efter sin storlek och det är deras kvantitativa fördelning som definierar markens jordart (textur). Några exempel på vanliga fraktioner är ler (<0,002 mm), silt (0,002–0,063 mm), sand (0,063–2,0 mm) och grus (2–63 mm). En vanlig jordart i Sverige är siltig sand och utifrån namnet går det att urskilja att texturen domineras av fraktionerna silt och sand (Messing, 2013; SGI, 2018).

En av de viktigaste faktorerna för en fungerande transport och lagring av vatten är strukturabiliteten mellan porer och i aggregat. Strukturabiliteten varierar mellan olika jordarter och är framförallt beroende av vattenhalten i marken. Vid kortvariga översvämningar i en kohesionjordar kan en sönderdelning av makroaggregat ske, medan strukturerna i friktionsjordar blir instabila då friktionskrafterna upphör. Siltjordar, även kallat flytjordar, får likt friktionsjordar en mindre stabil struktur. Skillnaden är dock att innan flytjordar blir vattenmättad får de en ökad hållfasthet.

## 2.3 PACKNINGSSKADOR

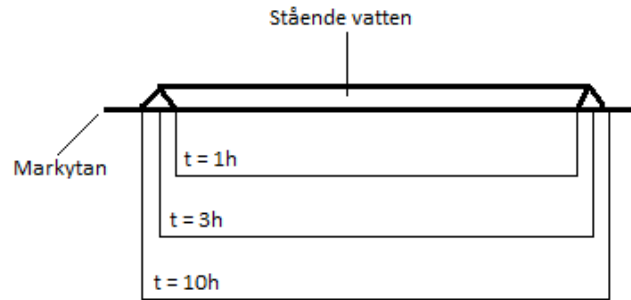
Vid jordpackning av lantbruksfordon sker det en process som leder till en volymminskning i form av att andelen porer i jorden minskar, med andra ord ökar jordens skrymdensitet (Myrbeck m. fl., 2003). Vid packningsskador från lantbruksfordon är det framförallt de grova porerna ( $30\mu m$ ) som förstörs i åkermarken och eftersom de står för en stor del av markens vattentransporter kan skadorna även orsaka en försämrad vattentransport genom jordprofilen. Vid packning orsakad av maskiner sker den största packningen i regel under den första överfarten på jorden för att därefter avta efter varje ny överkörning. Genom trycktester utförda på olika jordar har det fastställts att om en ytterligare packning ska kunna ske på en redan packad jord måste den utsättas för ett större tryck än det föregående (Håkansson, 2000). Dock stämmer det inte helt med den verkliga fallet som sker med maskiner ute på fält. Vid en bearbetning med en maskin utsätts den specifika ytan på jorden för ett tryck

under en betydligt kortare tid jämfört med trycktesterna utförda på ett labb, vilket resulterar i en mindre effektiv packning. Hur många överkörningar som krävs för att uppnå en samma packningsgrad från trycktester i ett labb varierar kraftigt från jord till jord, men beror även på faktorer som vilken hastighet som maskinen har vid överfarten (Håkansson, 2000). Hur en jordpackning från lantbruksmaskiner breder ut sig i åkermarken är kopplad till faktorer som markens vattenhalt och hur stor yta som trycket blir applicerat på, vilket är direkt korrelerat till maskinens tyngd och ringtryck. Enligt försök utförda av Arvidsson (2015) visade det sig att en maskins vikt och dess ringtryck har en väldigt stor inverkan på hur marktrycket fortplantar sig i markprofilen, vilket även stämmer överens med Håkansson (2000) där en tydlig korrelation mellan ringtryck, kontaktyta och vikt redovisas.

Biologisk aktivitet, svällning, tjälning är exempel på processer som succesivt medverkar till att bryta sönder packade skikt i marken. Tjälning och upptorkning bryter sönder allt från små till grova aggregat (kokor) i de övre lagren av jorden och skapar nya sprickbildningar i åkermarkens profil. Biologisk aktivitet och växter bidrar till uppkomsten av nya sprickor och stabilisering mellan aggregaten. Samtliga processer avtar drastiskt med ett ökat djup och kan resultera i att packade skikt som vanligtvis bryts ner inom några år kan vid djupare nivåer bli konstanta (Håkansson, 2000).

## 2.4 MARKENS VATTENGENOMSLÄPPLIGHET

Hur mycket vatten som en gjord jord kan infiltrera bestäms av komplexa system, men kan beskrivas i termer som permeabilitet (genomsläpplighet). Exempel på bakomliggande faktorer som reglerar genomsläppligheten är makroporer, packningsgrad, hydraulisk- samt tryck gravitations potentialgradienter. Infiltration kan ske direkt genom makroporflöde då sprickbildningar snabbt fylls upp, eller genom infiltration från markens ytlager. För att en infiltration genom ytlagret ska kunna ske måste det tillkomma vatten i sådana mängder att en gradient byggs upp mellan markytan och underliggande jordlager. Under tiden som det sker en infiltration ner i jordprofilen kommer vattenhalten att vara som högst vid ytan och successivt avta med djupet. Framför våtfrontens profil finns det alltid en skarp zon som skiljer zonen från underliggande torra lager. Den bakomliggande processen till zonen uppkomst är att gradienten i en torr jord är så pass liten att den måste byggas upp innan vattnet ska kunna tränga sig in i de torra partierna av jorden. För en mer illustrativ beskrivning se figur 1.



Figur 1: Schematisk illustration över hur våtfronten fördelar sig i jorden under tidsförloppet 0- 10 timmar vid konstant regn (Messing, 2013).

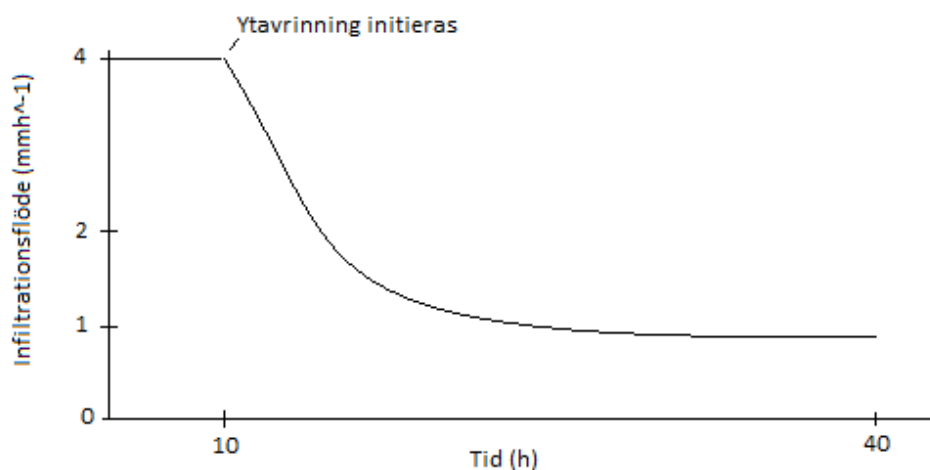
Skulle däremot en stor mängd vatten ackumuleras vid markytan skulle det till sist generera en tillräckligt stor tryckpotentialgradient att infiltration initieras. Effekten av gradienten tvingar marken att absorbera vattnen trots dess låga hydrauliska konduktivitet. Vilket gör att marken kan absorbera vatten medan gradienten är tillräckligt stor. Dock sjunker gradienten med tiden allt eftersom markens vattenhalt blir allt högre. När gradienten har blivit tillräckligt låg överskrider tillförseln markens infiltrationskapacitet. Under dessa fall när tryckpotentialen således domineras av gravitationen brukar infiltrationen beskrivas som att den sker under vattenmättad hydraulisk konduktivitet (Messing, 2013).

I markens drivs vattnets rörelse av skillnader i hydraulisk potential ( $\psi_h$ ). Vatten rör sig i samma princip som när en ström vandrar från en hög till en låg spänning. Den hydrauliska potentialen kan beskrivas som den hydrauliska gradienten som uppstår mellan två olika punkter ( $-\frac{\partial\psi_h}{\partial s}$ ), minustecknet beskriver riktningen för drivkraften eftersom strömningen sker från en högre till en lägre potential. Hastigheten och riktningen som vattnet strömmar i, även kallat flödestätheten ( $q$ ), styrs av gravitationskonstanten, hydrauliska potentialen och friktionskraften. Friktionskraften uppstår som följd av att vatten strömmar och kommer i kontakt med en yta. Eftersom drivkrafterna i regel är relativt små samt att kontaktytan mellan porväggarna och vattenytan är stor kommer friktionskraften att öka i korrelation till flödes hastigheten och snabbt uppnå en s.k. dynamisk jämvikt. Detta gör att vattnet behåller en konstant flödes hastighet. Hur hög hastigheten blir påverkas även av faktorer som vattnets tröghet (viskositet), såvida inte jämvikten bryts. Flödestätheten som uppstår vid dynamisk jämvikt kan beskrivas med ekvation 1 (Messing, 2013).

$$q = -K \frac{\partial H}{\partial s} \quad (1)$$

I ekvationen står  $q$  för flödestätheten [ $ms^{-1}$ ] under dynamisk jämvikt och  $K$  för den hydrauliska konduktiviteten [ $ms^{-1}$ ], medan  $\frac{\partial H}{\partial s}$  beskriver bidraget av tryckpotentialen och gravitationspotentialen (Messing, 2013).

Hydrauliska konduktiviteten kan variera mycket beroende på vilken jord som undersöks. Anledningen är för att konduktivitet inte enbart beror på vattenhalt, infiltration och friktion utan även på markens struktur, med andra ord jordens porsystem. I figur 2 redovisas en schematisk illustration över hur infiltrationshastigheten varierar under konstant regn. Efter tio timmar går det att urskilja en brytpunkt där tillflödet av nederbörd överstiger infiltrationskapaciteten och ytavrinning initieras samtidigt som infiltrationskapacitet börjar minska och börjar gå mot vattenmättnad. Efter 40 h går det att urskilja att hastigheten har blivit konstant och infiltrationshastigheten har därmed nått mättad hydraulisk konduktivitet (Messing, 2013).



Figur 2: Schematisk illustration över hur infiltrationshastigheten i en torrjord går mot mättad hydraulisk konduktivitet vid konstant regn (Messing, 2013).

## 2.5 AVRINNING

Den mängd nederbörd och snösmältning som inte avdunstar och bidrar till ett samlat vattenflöde kallas för avrinning. Om ett område har en hög avrinning indikerar det på att området antingen har en låg avdunstning eller att det sker mycket nederbörd inom området. Avrinning är även den största bidragande faktorn till att det finns ett flöde i vattendragen (SMHI, 2017a).



Avrinningen inom ett område kan antingen ske direkt på markyta (ytavrinning), transport i jorden, via grundvattenavrinning eller direkt via vattendrag (Nationalencyklopedin, 2018a). I svenska naturområden är infiltrationskapaciteten vanligtvis större än nederbördsintensitet och avrinningen utgörs därför till största del av grundvattenavrinning. Vid kraftig snösmältning eller nederbörd kan det ansamlade färskvattnet överstiga jordens infiltrationskapacitet och ytavrinningen börjar istället att initieras. Andra faktorer som mer drastiskt kan påverka ytavrinningen är hårdgjorda ytor. Asfalt är ett typiskt exempel på en hårdgjord yta som hindrar regnet från att infiltrera ner i marken, som följd ansamlas vattnet på ytan och kan snabbt leda till avrinning (Nationalencyklopedin, 2018b; Nationalencyklopedin, 2018c).

Ett avrinningsområde, även kallat dräneringsområde, är ett område där vattenflödena inom ett område tillslut mynnar ut i samma vattendrag. Ett avrinningsområde kan även delas upp i mindre områden förutsatt att vattenflödena går mot samma vattendrag. Området definieras av höjdskillnader och genom att analysera en höjdkarta över ett område kan höjdryggar och sluttningar, även kallade vattendelare, identifieras. En vanlig metod för att ta fram ett avrinningsområde är att först analyserar riktningen på vattendrag och deras förbindelser till andra. Från förbindelserna ritas därefter vinkelräta vattendelare ut mot områdets höjdkurvor och besvarar frågan om vattnet från platsen rinner till eller från vattendraget, eller om de rinner mot ett gemensamt område längre nedströms. Vattendelare kan även delas upp som topografiska- eller grundvattendelare, men eftersom grundvatten i flesta fall ligger nära markytan sammanfaller de under samma topografiska vattendelning. Till följd av det blir skillnaden mellan vattendelarna mindre ju större avrinningsområdet är (Nationalencyklopedin, 2018c).

## 2.6 NEDERBÖRD

En av de viktigaste parametrar som samhällen planeras efter är nederbörd. Dammars dimension är bland annat baserat på nederbörd och hus planerade efter eventuella uppkomster av höga vattenflöden i samband med extrema nederbördsmängder. Vid extrem nederbörd avses nederbördsmängder som rejält överstiger de normala mängderna för en angiven period. Referensperioden kan variera i allt från en timme, till en månad. Ett nederbördsområdes intensitet och utbredning kan variera kraftigt. Vanligtvis mäts nederbörden via vattentäta uppsamlingskärl som manuellt avläs en gång per dygn. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) har på senare tid infört mätstationer som automatiskt kan mäta nederbördsmängden. Nederbörd uttrycks vanligen i millimeter, vilken även kan uttryckas som  $\frac{\text{liter}}{\text{m}^2}$ .

Ett exempel på ett automatiserad verktyg för att beräkna nederbördsmängder är tipping bucket. Verktøget är baserat på två mindre uppsamlingskär. Först samlas den direkta nederbörden upp i ett av kärnen som efter 0,1 eller 0,2 mm uppmätt nederbörd tippas och tömmer ut volymen i det andra kärnet som slutligen beräknar den total mängden uppmätt nederbörd (SMHI, 2017c). SMHI delar även in nederbörden baserat på dess intensitet enligt (SMHI, 2015):

- lätt regn:  $< 0.1 \frac{mm}{10min}$  eller  $\leq 0.5 \frac{mm}{h}$
- Måttligt regn:  $0.1-0.7 \frac{mm}{10min}$  eller  $0.5-4 \frac{mm}{h}$
- Starkt regn:  $> 0.7 \frac{mm}{10min}$  eller  $> 4 \frac{mm}{h}$
- Lätta regnskurar:  $< 0.4 \frac{mm}{10min}$  eller  $\leq 4 \frac{mm}{h}$
- Måttliga regnskurar:  $0.4-2 \frac{mm}{10min}$  eller  $\leq 4 \frac{mm}{h}$
- Starka regnskurar:  $2-8 \frac{mm}{10min}$  eller  $2-10 \frac{mm}{h}$
- Mycket starka regnskurar:  $\geq 1 \frac{mm}{min}$ ,  $\geq 8 \frac{mm}{min}$  eller  $\geq 50 \frac{mm}{h}$  (skyfall)

Uppkomsten av extrema nederbördsstillfällen, mängder som väsentligt överstiger de normala, sker i regel i anslutning till långsamma fronter som skiljer mycket varm och fuktig luft med sval och torrare luft, även kallat frontnederbörd. Det som skiljer frontnederbörd från vanliga regnskurar är att skurar sker mer lokalt och uppstår genom att marken är varmare än ovanliggande luftmassor och skapar en s.k. vertikal cirkulation (konvektion). Trots att regnskurar har en mer begränsad utbredning kan även skurar likt frontnederbörd uppnå extrema mängder nederbörd.

Genom att analysera historiska mätdata från väderstationer har SMHI statistiskt kunnat bestämma sannolikheten för uppkomsten av extrema nederbördsmängder. Ett 100-årsvärde ( $66 \frac{mm}{2h}$ ) betyder att det undersökta värdet statistiskt sätt har en återkomsttid på 100 år, med andra ord är sannolikheten 1 på 100 att en nederbördsmängd motsvarande ett 100-årsvärde inträffar under ett år. För framtida klimat förutspår SMHI att nederbördsmängden som krävs för att klassificeras som ett 10-årsregn kommer att öka med cirka 10 %, och att nederbördsmängder motsvarande dagens 20-årsregn kommer under sommarhalvåret att klassificeras som 6–10 årsregn och 2–4 årsregn under vinterhalvåret (SMHI, 2017b).

### 3 VETENSKAPLIGA RAPPORTER

I början på studien utfördes en mer fördjupande litteraturstudie där rapporter om bearbetningsmetoder och hur de påverkar åkermark undersöktes. Grunden till litteraturstudien utgjordes av sökord som avrinning, genomsläpplighet, penetrationsmotstånd, reducerad jordbearbetning, plöjning, markfysikaliska egenskaper, no- /reduced tillage och ytavrinning från åkermark. De vetenskapliga arkiven som i huvudsak undersöktes var DiVA (Digitala vetenskapliga Arkivet), Google Scholar och SLU:s öppna arkiv Epsilon. För att undvika allt för komplicerade och omfattande beskrivningar av de sammanställda försöken har enbart de relevanta delarna sammanfattats. Samtliga mätningar av genomsläppligheten har skett under vattenmättade förhållanden där mättad hydraulisk konduktivitet har undersökts genom nedgrävna cylindrar som succesivt blivit fyllda med vatten. Bearbetningsmetoder som har presenterats i samband med intervall, till exempel (20–22cm), beskriver bearbetningsdjupet för metoden.

Roland (2003) undersökte hur konventionell plöjning och plöjningsfri bearbetning påverkade åkermarkens fysikaliska egenskaper. Samtliga mätningar utfördes på lera med lätt-styv sammansättning. Från mätningarna av genomsläpplighet kunde slutsatsen dras att plöjningsfri bearbetning var den metod som hade den lägsta genomsläppligheten i matjordens översta lager. Från mätningar i matjordens centrala och nedre del kunde däremot plöjning identifieras som den metoden med lägst infiltration. Från mätningar i alven (50–55 cm djup) erhöles de minsta skillnaderna mellan metoderna, men resultatet indikerade på att plöjningsfri bearbetning hade den högsta genomsläppligheten. Från undersökningar av penetrationsmotstånd erhöles det att plöjningsfri bearbetning var den metod som gav högst motstånd i matjordens centrala och nedre del. Vid lägre djup kunde inga tydliga slutsatser dras.

Pålsson (2006) utförde liknande undersökningar som Roland med hur olika bearbetningsmetoder påverkade åkermarkens fysikaliska egenskaper. Undersökningarna utfördes i Charlottenlund (sandig mo) och Väby (lerig/mjälåg mo), metoderna som undersöktes var konventionell plöjning (20 cm djup), grund plöjning (15–20 cm) och mullsådd. Resultaten som erhöles var att en utebliven luckring från en plog genererade ett större penetrationsmotstånd i matjorden. Från mätningar av genomsläppligheten var resultaten spridda, men bland de undersökta metoderna var det konventionell plöjning som hade den högsta genomsläppligheten. Det kunde även konstateras att skillnader i jordart mellan försöksplatserna inte påverkade vilken metod som hade den högsta mättade genomsläppligheten (Pålsson, 2006).

Två år efter Pålsson utförde Sjöholm (2008) mätningar på samma områden. Till skillnad från tidigare försök undersöktes bearbetningsmetoderna grundplöjning (13–15), plöjning (20–22cm) samt grund och djupkultivering i Charlottenlund, medan plöjning och tallriksredskap enbart undersöktes i Väby. Resultaten stämde bra med Pålssons (2006) och visade på att plöjning i genomsnitt hade en högre genomsläpplighet i

matjordens övre del. Från mätningar i plogsulan var det reducerade bearbetningsmetoder som hade den högsta genomsläppligheten i Väby, medan det i Charlottenlund inte fanns några signifikanta skillnader mellan metoderna. Mätningar av penetrationsmotstånd utfördes ner till 30 cm djup. Från mätningar i Charlottenlund kunde slutsatsen dras att plöjning (20–22 cm) i allmänhet hade det lägsta motståndet bland metoderna. Från Väby erhöles det att ett ökat bearbetningsdjup för plöjningsfria metoder inte sänkte penetrationsmotståndet och att redskapen för plöjningsfria metoder har svårigheter att effektivt luckra jorden. Vid såbäddskarakterisering kunde det däremot urskiljas att plöjning var den metod som hade lägst vattenhalt medan direktsådd hade den högsta. Mellan grund och djup kultivering kunde inga större skillnader urskiljas. Mellan den 3 och 11 juni i Charlottenlund utförde Sjöholm (2008) även ett infärgningsexperiment för att undersöka vattentransporten mellan olika metoder. Först vattenmättes jorden och därefter applicerades färg som fick med vattnet rinna ner i jorden. Från resultatet hölls det inga signifikanta skillnader mellan plöjning och reducerad bearbetning. Trots avsaknaden på statistisk signifikans fanns det vissa skikt som visade på större skillnader. Vid markytan var det reducerade led som hade den största andelen färgad yta. Vid cirka 45 centimeters djup var skillnaderna mindre, men där var det konventionella led som hade den högsta andelen färgad yta. Vid 52 cm djup var det återigen reducerad bearbetning som hade den högsta andelen färgad yta.

Wejde (2011) undersökte vilka skillnader som uppstår efter fyra års brukning av olika bearbetningsmetoder. Mätningarna utfördes i Säby, Vreta Kloster och Brunnby. Bearbetningsmetoderna som undersöktes var tallriksredskap, grund samt djup kultivering och plöjning. Infiltrationsmätningar i matjorden, som enbart utfördes i Säby och Vreta kloster, utfördes två veckor efter sådd. Mellan platserna skilde sig mätningarna rejält men slutsatsen som kunde dras var att plöjning i allmänhet likt tidigare mätningar av Roland (2003) och Sjöholm (2006) hade den högsta genomsläppligheten i matjordens centrala del. Mellan de olika reducerade metoderna fick djupkultivering i Säby högst genomsläpplighet samtidigt som den fick den lägst i Vreta kloster. Från mätningar av penetrationsmotstånd kunde ingen tydlig slutsats dras förutom att grund och djup plöjning generellt hade ett lägre motstånd vid 20–25 cm djup. Från karakterisering av såbädden erhöles det även att plöjning var den metod som hade störst andel små aggregat (< 2 mm) samt minst andel stora (> 5 mm). Bland samtliga metoder var det direktsådd som hade den signifikant största andelen stora aggregat och den minsta andelen av små aggregat. Mellan grund och djup kultivering fanns de små skillnader, men inte i den mån att det gick att särskilja dem (Wejde, 2011).

Sörensson (2005) undersökte hur olika bearbetningsmetoder bland annat påverkade genomsläpplighet och penetrationsmotstånd. Studien baserades på mätningar från Skåne, Väderstad, Uppsala, Örebro och Västerås. Metoderna som undersöktes var plöjning, grund kultivering, djup kultivering och direktsådd, för direktsådd undersöktes enbart penetrationsmotståndet. Från undersökningarna erhöles det att det översta lagret i matjorden luckrades minst vid grund bearbetning. För plöjda led var luck-

ringen god genom matjordens profil. Bland de reducerade metoderna gav direktsådd generellt det lägsta motståndet i djupet 10–35 cm. Högst motstånd gav led som bearbetats med tallriksredskap. För led bearbetade med konventionell plöjning uppstod det även en tydlig plogsula i djupet 20–25 cm, samt att plogsulan inte försvann vid en övergång till reducerade bearbetningsmetoder. För reducerade bearbetningsmetoder bildades det även en kraftigare förtätning i det övre delen av matjorden som följd av en minskad luckring, vilken även ökade packningsgraden längre ner i matjorden. För genomsläpplighet var det plöjda led som generellt hade den högsta infiltrationen och tallriksredskap hade den sämsta. Vid analyser av vattenhalt i såbädden erhöles det att skillnaderna mellan bearbetningsmetoderna var små, men att plöjda system hade lägst vattenhalt. Vid undersökningar om aggregatstorlek erhöles det även att konventionellt plöjda led likt Wejde (2011) generellt hade en större andel fina aggregat (<2 mm) (Sörensson, 2015).

I en studie från Ekholm (2016) undersöktes det hur markpackning påverkar markens fysikaliska egenskaper. Provplatserna packades med fyra överfarter med en dumper som totalt vägde 31,7 ton. Efter packning plöjdes och såddes åkermarken. Samtliga mätningar skedde efter skörd under september–november. Proverna utfördes i jordar bestående upp till cirka 50 % ler samt 14–17 % finmjåla, grovmjåla och finmo. Från undersökningarna erhöles det att penetrationsmotståndet hade ökat för samtliga provplatser. Vid mätningar av genomsläppligheten vid 10 cm erhöles det packade led hade den högsta genomsläppligheten medan vid 30 cm djup var lägst. Vid 50 cm och 70 cm erhöles stora spridningar och ingen slutsats kunde dras (Ekholm, 2016)

Under 2013 sammanställdes mätningar från tidigare projekt utförda i bland annat Ultuna, Vreta Kloster, Nybble och Lönnstorp. I djupet 5–10 och 10–15 cm identifierades signifikanta skillnader i penetrationsmotstånd mellan plöjning och reducerade bearbetning. När samtliga mätningar medelvärdesbildades var motståndet i djupen 0–5 cm och 5–10 lägst för grund kultivering och högst för tallriksredskap. I djupet 10–15 och 15–20 var skillnaderna betydligt större och plöjning var den metod som fick lägst motstånd. För genomsläpplighetsmätningar vid 7–12 cm erhöles det stora ledskillnader. Dock var det enbart få av dem som kunde klassas som signifikant. Som slutsats erhöles det att genomsläppligheten uttryckt i medeltal för bearbetningsmetoderna minskade enligt ordningen: *konventionellt plöjda led > led med djup icke vändande bearbetning 15–20 cm > led med grund icke vändande bearbetning med kultivator 5–10 cm > grund icke vändande bearbetning med tallriksredskap*. För penetrationsmotståndet erhöles omvända förhållanden, där icke vändande bearbetning med tallriksredskap var högst och plöjda led lägst (Arvidsson och Sörensson, 2013).

Turtola m.fl (2008) undersökte de markfysiologiska skillnader som uppstår under långt gående försök mellan konventionell plöjning och tallriksredskap (moulboard ploughing). Undersökningarna utfördes i södra Finland på jordar med hög lerhalt och en genomsnittslutning på 2 %. Genom att hydrologiskt isolera jordarna med en plastduk

på 1 meters djup, öppna diken intill jordarna och 20–30 cm höga vallar undersöktes avrinning och erosion. För att utföra mätningarna installerades dräneringsrör som var kopplade till loggrar och tipping buckets. Under tio år utfördes kontinuerliga mätningar och från det uppmätta vattnet togs det även analysprover. Resultatet som de erhöll var att 8–42 % av den årliga avrinningen för konventionellt plöjda jordar (20–23 cm) blev till ytavrinning, medan jordar som bearbetades med grund kultivator (5–8 cm) fick en ytavrinning på 36–66 %. Samtidigt som led som aldrig plöjdes efter skörd fick en ytavrinning på 36–82 % . Som slutsats kom Eila Turtola m.fl. (2008) fram till att ytavrinningen ökar med en minskad plöjningsintensitet (tillage intensity), medan magasineringkapaciteten, makroporer och den mättade hydrauliska konduktiviteten ökade i linje med minskad plöjnings intensitet. De kunde även dra slutsatsen att jorderosionen ökar i samband med ökad plöjningsintensitet (Turola m. fl., 2008).

## 4 HYDROLOGISK MODELLERING

En hydrologisk modell är ett verktyg för att kunna beskriva ett områdes vattenflöden och hydrologiska tillstånd. Vanligtvis är modellen baserad på faktorer som markfuktighet, grundvattennivå samt på vattnets väg inom ett avrinningsområde. Det finns många modeller som delar konceptuella likheter, men det finns även modeller som är mer specifikt utformade för att undersöka olika effekter. Likt andra typer av modeller kan även detaljnivån sinsemellan hydrologiska modeller skarpt skilja sig (SMHI, 2017d).

### 4.1 HEC-HMS

HEC-HMS är ett hydrologiskt program utvecklat av Hydrologic Engineering Center (HEC). Programmets huvudsakliga funktion är att modellera nederbörd, avrinning och flödesprocesser inom ett avrinningsområde. För att beräkna samtliga processer finns ett urval av olika hydrologiska och meteorologiska metoder. HEC-HMS inkluderar även metoder som beräknar den direkta avrinningen baserat på magasinering och energiförluster inom området. HEC-HMS kan också använda hydrologiska flödesmetoder som tar hänsyn till energi- och magasineringsförluster för strömmande vatten i floder, samt metoder som hanterar naturligt förekommande förgreningar och sammanflöden av vattendrag. Kombinerat kan metoderna utgöra en detaljrik hydrologisk modell. Skillnaden mellan HEC-HMS och den naturliga förkommande avrinningsprocessen är att HEC-HMS är stängd, vilket betyder att vattenflödet enbart kan gå en väg. Istället för att ta hänsyn till kapillärstigning, perkolation och grundvattenbildning kombinerar HEC-HMS avrinningsprocesserna som sker i och ovan mark och beräknar dem som en kombinerad avrinningen för området. För mer noggrann simulering kan grundvattenflödet från ett området specificeras som ett konstant basflöde (USACE, 2000).

### 4.1.1 SCS runoff curve number method

Kurvnummermetoden (SCS runoff curve number method) är framtagen av The Natural Resources Conservation Service (USDA, f.d Soil Conservation Service). Ursprungligen användes metoden till för att beskriva ett vattendrags hydrologi genom att plotta avrinning mot nederbörd. Idag har metoden utvecklats och är numera en vetenskapligt accepterad metod för att uppskatta den totala avrinningen i samband med nederbörd. Metoden är baserad på en dimensionslös faktor, kurvnummer (CN), som beskriver den maximala infiltrationskapaciteten för ett område. Avrinningen uppskattas enligt ekvation 2 och 3 (USDA, 1986).

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad P > I_a \quad (2)$$

$$Q = 0 \quad P \leq I_a \quad (3)$$

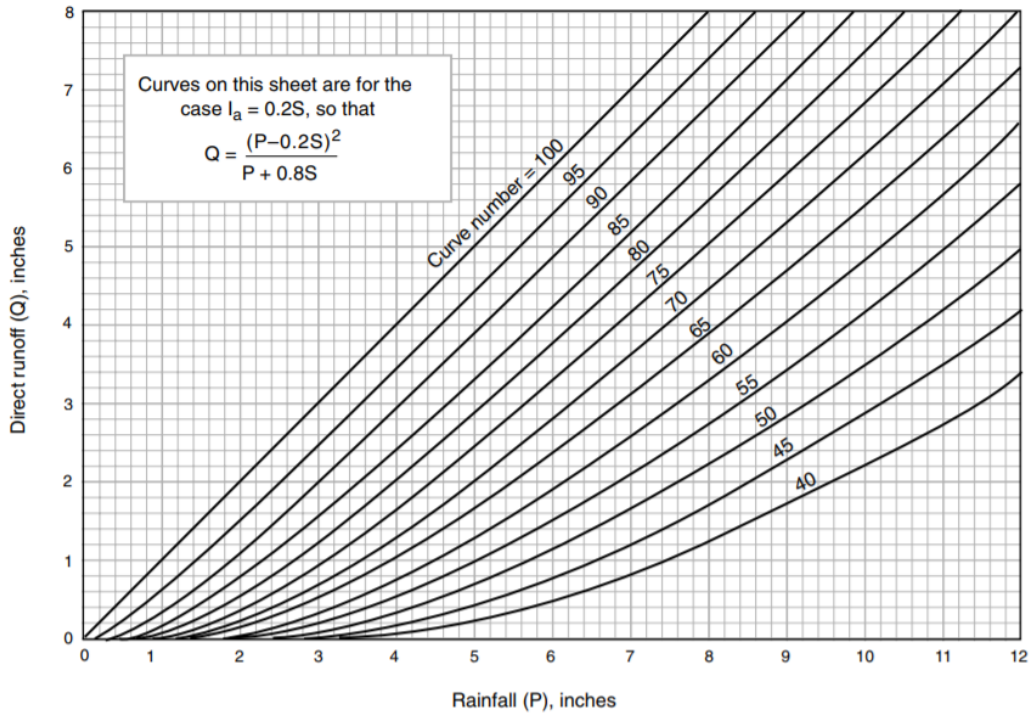
Q beskriver djupet av avrinningen uttryckt i millimeter, medans  $I_a$ , P och S beskriver initial absorption, djupet av nederbörden samt den potentiellt högsta retentionen efter påbörjad avrinning, även dem uttryckta i millimeter. Den initiala absorptionen beskriver den sammanlagda mängden nederbörd som ett område kan hantera innan avrinning initieras. Retentionen beskriver sambandet mellan jordart, typ av täckande skikt (skog, öppen mark, ogenomtränglig yta m.m.) och dess koppling till ett s.k. kurvnummer. Genom att kombinera uttrycken i ekvation 4 och 5 kan den totala ytavrinningen beräknas genom ekvation 6 som är baserat på det potentiella retentionsvärdet. (USDA, 1986).

$$I_a = 0.2S \quad (4)$$

$$S = 25.4 * \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (5)$$

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (6)$$

Den grafiska lösningen för ekvation 6 redovisas i figur 3. Figuren beskriver korrelationen mellan ytavrinning och kurvnummer för olika nederbördsmängder.



Figur 3: Den direkta avrinningen plottad mot nederbörd för ekvation 6 (USDA, 1986).

Kurvnummer är i huvudsak baserad på hydrologiska jordartstyper (HSG) och markanvändning, men även på hydrologiska förutsättningar (USDA, 1986). Eftersom infiltrationshastigheterna varierar mellan jordarter har USDA-NRCS delat upp samtliga jordarter i fyra olika grupper, A-D, baserat på det jordlager som har lägst infiltration. I tabell 2 redovisas sammanställningen av de hydrologiska grupperna. Under indelningen tas det ingen hänsyn till markytans lutning (USDA, 2009). En god hydrologisk förutsättning (Good hydrologic condition) indikerar att en jord har en låg avrinningspotential jämfört med normalvärdet för tillhörande hydrologiska jordgrupp, ovanliggande skydd och markbearbetning. Några faktorer att ta hänsyn till vid bedömning av hydrologiska förutsättningar är (USDA, 1986):

- Andelen skyddande lager
- Graden av ytjämnhet
- Mängden av gräs eller baljväxter
- Tak eller tätheten av gräsmattor, grödor eller andra vegetationsområden.

En av nackdelarna med kurvnummetoden är att den enbart är applicerbar för att beräkna ytavrinning och tar därmed inte hänsyn till exempelvis flödet från grundvattnen. En annan nackdel med metoden är att den är empirisk och antar att alla lager



utom det minst genomsläppliga är homogena och tar därmed inte hänsyn till variationer i jordens olika lager. Det närmaste metoden kan komma för att ta hänsyn till faktorer som uppkomsten av plogsula är genom de framtagna kurvnummer för markanvändning (USACE, 2000). Med andra ord kan metoden aldrig riktigt återspegla den korrekta dynamiken i marken.

Tabell 2: Beskrivning av hydrologiska grupperna A-D (USDA, 2009).

HSG	Struktur	Allmän beskrivning av grupperna
A	Sand, siltig sand alternativt sandig silt	Låg avrinningspotential under fullständig vätning. Vattnet rör sig fritt genom jordprofilen. Typiska karaktärsdrag för jordarter inom gruppen är att de består av mer än 90 % sand- eller grusstrukturer samt mindre än 10 % ler. Värt att notera är att vissa jordar som består av ler och sand eller silt kan bli placerad i denna grupp om de är väl aggregerade, alternativt består av mer än 35 % sten fragment. Krävet för att en jord ska kunna placeras i jord är att den mättade hydrauliska konduktiviteten är $\geq 4 * 10^{-5} m/s$ .
B	Silt	Måttlig avrinningspotential under fullständig vätning. Vattentransporten sker obehindrad genom profilen. Typiska karaktärsdrag för jordarter inom gruppen är att de består av 50-90% sand samt 10-20 % ler samt att de har en textur av lerig sand eller sandig ler. Vissa texturer av lerjord och silt kan även bli placerad här om de är väl aggregerade eller består av mer än 35 % stenfragment. Krävet för att kunna bli placerad i denna grupp är att ha en hydraulisk konduktivitet mellan $1 * 10^{-5} - 4 * 10^{-5} m/s$ .
C	Sandig lerig silt	Måttlig till hög avrinningspotential under fullständig vätning. Vattentransporten är något begränsad. Typiska karaktärsdrag för jordarter inom gruppen är att de består av 20-40 % lera samt mindre än 50%. Krävet för att kunna bli placerad i denna grupp är att ha en hydraulisk konduktivitet mellan $1 * 10^{-5} - 1 * 10^{-6} m/s$ .
D	Siltig lera, lerig silt, sandig lera eller lera	Väldigt hög avrinningspotential vid fullständig vattenmättnad. Vattentransporten är begränsad eller väldigt begränsad. Typiska karaktärsdrag för jordar inom gruppen är permanent hög grundvattennivå, svällande egenskaper vid kontakt med vatten samt att de består av mer än 40 % ler och mindre än 50 % sand. Krävet för att kunna bli placerad i denna grupp är att ha en hydraulisk konduktivitet $\leq 1 * 10^{-6} m/s$ .

UN-SPIDER (United Nation - Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response) har tagit fram rekommenderande kurvnummer baserat på USDAs handbok för markanvändning. Rekommenderande värden för områden av skog, jordbruk, vatten och områden innehållande 1/3 hektar av urbana bostadsområden (Medium residentials) redovisas i tabell 3 (USDA, 1986;United, 2014).

Tabell 3: Kurvnummer för markanvändning med dess korresponderande HSG för vilkoret  $I_a = 0.2S$ . Skog (forest) är markerad **4** för att det egentliga kurvnumret är mindre än 30, men för beräkningar är det rekommenderat att använda nummer med minst 30 (USDA, 1986;United, 2014).

Description	A	B	C	D
Water	100	100	100	100
Medium residential	57	72	81	86
Forest	30 <sup>4</sup>	55	70	77
Agricultural	67	77	83	87

#### 4.1.2 SCS unit hydrograph

En hydrograf beskriver vattenflödet som en funktion av tiden och kan användas för att bland annat bestämma tiden det tar för initierad avrinning i samband med regn att nå vattenföringens högsta topp, vilket även kallas fördröjningstid (eng. lag time). NRCS (f.d Soil Conservation Service) Lag method togs fram 1961 baserat på observationer från jordbruksområden med dåligt definierade dräneringsvägar och total avsaknad på kanalflöde. Metoden har med tiden utvecklats och är numera anpassad till urbana avrinningsområden med en area mindre än 2000 hektar. Genom att ta ett avrinningsområdets längsta flödesväg, områdets genomsnittliga lutning och den potentiellt högsta retentionen kan metoden med kurvnummer, se ekvation 7, räkna ut fördröjningstiden för ett område (USACE, 2000).

$$Lag = \frac{L^{0.8} * (S + 1)^{0.7}}{1900 * Y^{0.5}} \quad (7)$$

Med:

Lag = Fördröjningstiden för avrinningsområdet uttryckt i timmar

L = Hydrauliska längden för avrinningsområdet uttryckt i meter

Y = Avrinningsområdet lutning uttryckt i %

Den hydrauliska längden i ett avrinningsområde är längden från områdets dräneringspunkt (utlopp) i huvudkanalen till dess mest hydrauliskt avlägsna punkt i området. Retentionen (S) i ekvationen är den samma som använts i SCS runoff curve number method. För att modellen ska fungera korrekt bör kurvnumret ligga inom intervallet 50–96 ((USDA, 2010);(SUDAS, 2013)). Med en känd fördröjningstid beräknar HEC-HMS automatiskt ekvation 8 och tar fram tidpunkten för hydrografens högsta flöde för valt tidsteget. Genom att likställa ekvation 8 med ekvation 9 beräknar HEC-HMS ut det kvantitativa flödet som uppstår vid tidpunkten för det högsta flödet (USACE, 2000).

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag} \quad (8)$$

I ekvationen står  $T_p$  för tidpunkten för högsta flödet i hydrografen, medan  $\Delta t$  beskriver tidsintervallet för nederbörden och  $t_{lag}$  avrinningsområdets fördröjningstid (USACE, 2000).

$$U_p = C \frac{A}{T_p} \quad (9)$$

Ekvation 9 beskriver relationen mellan vattenflödet,  $U_p$ , som uppstår vid tidpunkten  $T_p$ .  $C$  beskriver en konverterings konstant och  $A$  står för avrinningsområdets area (USACE, 2000).

### 4.1.3 Vattenflöde

Som grund till beräkning av vattenflöde i HEC-HMS ligger ekvationerna om momentum, ekvation 10, och kontinuitet, ekvation 11 (USACE, 2000).

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \quad (10)$$

Ekvationen om momentum likställer summan krafter som verkar på en vattenkropp i en öppen kanal och beräknar energigradienten  $S_f$ . Gradienten beräknas genom att ekvationen tar hänsyn till kanalbottens lutning  $S_0$ , vattnets flödes hastighet  $V$ , hydrauliskt djup  $y$ , kanalens längd  $x$ , tid  $t$ , acceleration orsakad av gravitation  $g$ , tryckgradient  $\frac{\partial y}{\partial x}$ , konvektiv acceleration  $\frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x}$  och lokal acceleration  $\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t}$  (USACE, 2000).

$$A \frac{\partial V}{\partial x} + VB \frac{\partial y}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} = q \quad (11)$$

Genom att ytterligare ta hänsyn till kanalens tvärsnittsarea  $A$ , vattenytans bredd  $B$  och lateralt inflöde  $q$  kan ekvationen om kontinuitet beräkna den aktuella volymen vatten som finns i kanalen.

Gemensamt härleds ekvationerna från principerna att vattenhastigheten är konstant samt att vattenytan är horisontell över alla sektioner i vattendragen. Ekvationerna utgår också från att vattendragen geometriskt är fixerade och påverkas inte av faktorer som erosion och utfällning, samt att vattnets densitet är homogent fördelat och att den motverkande kraften på flödande vatten enkelt kan beskrivas med empiriska formler som Mannings tal. Ytterligare principer är att vattenflödet gradvis varierar och att hydrostatiskt tryck råder över samtliga punkter. Utöver det antar ekvationerna att det inte sker några laterala eller sekundära cirkulationer i vattendragen (USACE, 2000).

### 4.1.4 Mannings tal

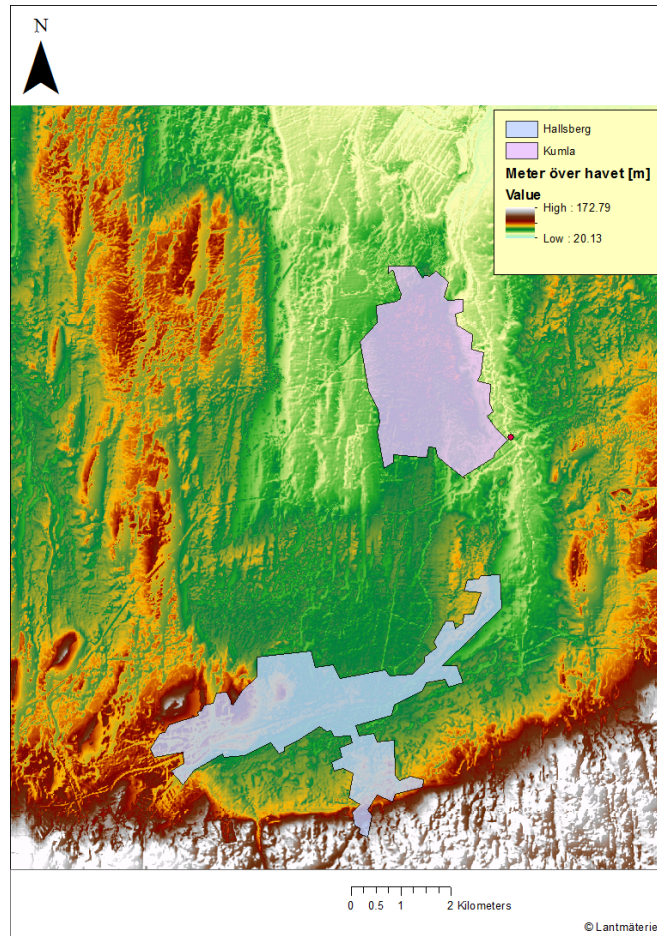
För att beräkna parametrar som till exempel vattnets flödes hastighet används Mannings tal. Parametern beskriver en ytas råhet, med andra ord hur stort motstånd

flödande vatten upplever när det kommer i kontakt med en yta. Ett högt värde indikerar på att vattnet upplever ett litet motstånd medan ett lågt värde betyder att vattnet upplever ett stort motstånd (MSB, 2014). Enligt en publikation från Chow (1959) är ett rekommenderat Mannings tal för naturliga floder innehållande sten och sjögräs 0.035.

## 4.2 HALLSBERG

För att kunna ställa upp en modell som kunde svara på frågeställningarna valdes området vid Hallsberg ut som grund till modellen, delvis för att området är rikt på åkermark samt eftersom det historiskt sett har skett omfattande översvämningar till följd av avrinning från nederbörd (Länstyrelsen, 2015).

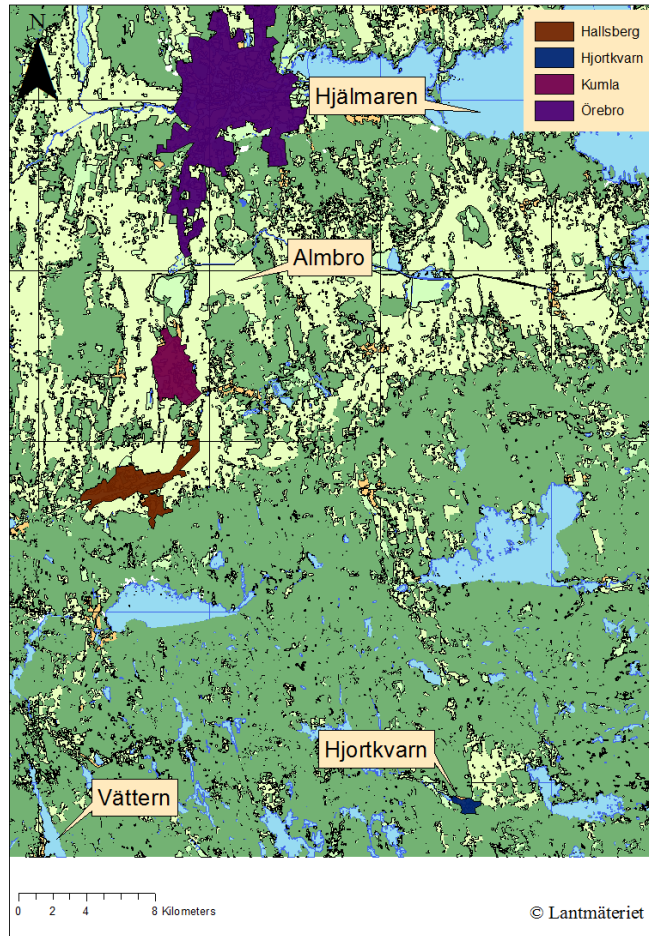
Hallsberg är en stad i Örebro län som ligger i utkanten av det översvämningssensitiva avrinningsområdet Täljeån. Staden södra del är lokaliserad vid foten av Hallsbergåsen medan den norra delen, som till största del består av finkorniga jordarter, ligger mer låglänt. För höjdkarta över området se figur 4. Täljeåns avrinningsområde ligger sydväst om Hjälmaran och är  $791 \text{ km}^2$  stort. Kommunerna som omfattas av avrinningsområdet är Lekeberg, Kumla och Hallsberg. Området utgörs till största del av cirka 50 % jordbruksmark och 28 % skog. Jordarterna inom området domineras främst av morän och lera som vardera utgör cirka 35 % av områdets jordarter. Berggrunden inom området domineras främst av granit och sedimentära bergarter. Inom området har det även skett kraftiga markavvattningsåtgärder som resulterat i att det finns väldigt få sjöar inom området. Detta har resulterat i att höga vattenflöden snabbt kan uppstå eftersom det saknas naturligt flödesdämpande magasin (Länstyrelsen, 2015).



Figur 4: Höjdkarta över området kring Hallsberg och Kumla.

#### 4.2.1 Historisk händelse

Mellan den 5 och den 6 september 2015 uppmätte två privata mätstationer i Hallsbergs en dygnsnederbörd på 112 respektive 104 mm medan SMHI:s närmaste mätstation i Hjortkvarn, cirka 25 km sydost om Hallsberg, uppmätte 96,5 mm. Under perioden uppmätte även stationerna i Asker och Sörebytorp, som ligger mellan 25 och 40 km från Hallsberg, en dygnsnederbörd på 60 mm. I Örebro, beläget ca 22 km norr om Hallsberg, uppmättes däremot en dygnsnederbörd på cirka 7,7 mm, se figur 5 för en mer detaljerad beskrivning av Hallsbergs geografiska förhållande till Örebro och Hjortkvarn.



Figur 5: Översiktskarta över Hallsbergs geografiska förhållande till Örebro och Hjortkvarn och närliggande områden

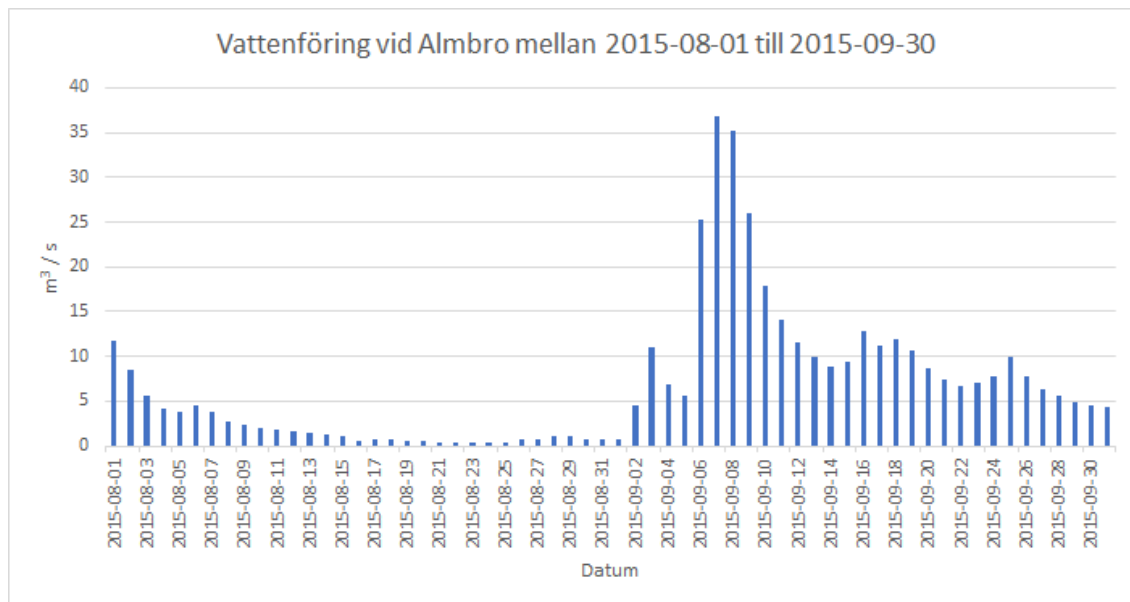
Enligt en översvämningskartering översvämmades ytarealer på över 0.3 km<sup>2</sup> i Hallsbergs tätort. De områden som blev värst drabbade var villabebyggelse, skolor och idrottsanläggningar (Länstyrelsen, 2015). Enligt undersökningar utförda av HS konsult AB översvämmades även stora arealer åkermark, varav flertalet av åkermarkerna var oskördade och erhöll allvarliga packningsskador i samband med det påtvingade skördarbetet (Gottfridsson, 2015). Länsstyrelsen sammanfattade händelseförloppet i Hallsberg enligt:

- Lördagen den 5 september  
Regnet började falla under den femte september. Bara några dagar innan (1–2 september) hade det fallit en större mängd nederbörd och marken var därav troligen mättad (Länstyrelsen, 2015).
- Söndagen den 6 september  
Från klockan 07:30 och framåt började det komma rapporter om översvämning-

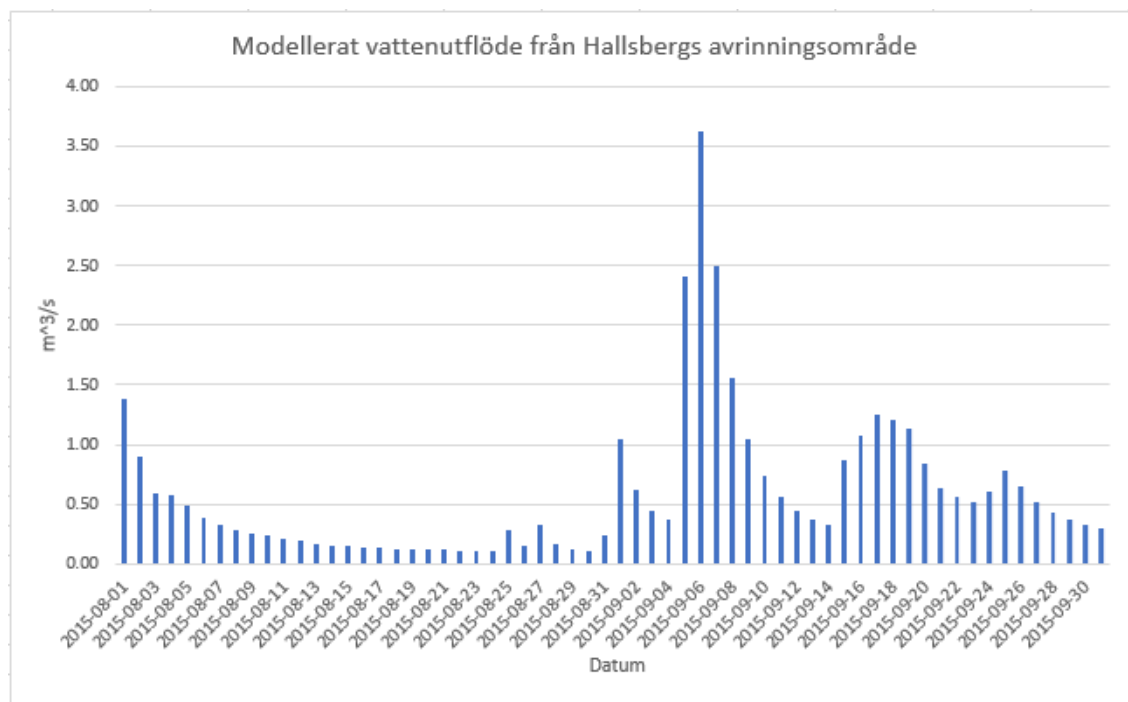
ar runt om i Hallsberg. Regnet upphörde tidigt på morgonen, men trots att det inte kom mer nederbörd fortsatte vattennivåerna att stiga till högre nivåer (Länstyrelsen, 2015).

- Måndagen till onsdagen den 7–9 september  
Översvämningen nådde sin topp under natten till den 7 september och hade redan under förmiddagen sjunkit 3–4 decimeter och fortsatt att sjunka undan för att under onsdagen helt försvinna från tätorten. På de drabbade åkermarkerna förblev vattnet kvar uppemot 14 dagar (Länstyrelsen, 2015).

Inom området är det enbart en mätstation i Almbro, cirka 20 km nedströms om Hallsberg, som kontinuerligt gör mätningar på vattenflödet. Vid mätstationen ackumuleras vattenflöden från flera större avrinningsområdet som tillsammans motsvarar cirka 453 km<sup>2</sup>. Under den 7 september 2015 uppmättes vattenflödet i Almbro till 36,8 m<sup>3</sup>/s. Vattenflödet vid utloppet av Ralaån, utmynningen av Hallsbergs delavrinningsområde, cirka 48 km<sup>2</sup> stort, har i efterhand kunnat modellerats i SMHI:s hydrologiska modell HYPE. Från beräkningarna hölls det högsta vattenflödet den 6 september och kunde beräknas till 3,70 m<sup>3</sup>/s. Se figur 6 och 7 för mer detaljer kring vattenföring i Almbro och Ralaån under perioden 2015-08-01 till 2015-09-30 (Vattenwebb, 2018).



Figur 6: Uppmätt vattenföring vid Almbro under perioden 2015-08-01 till 2015-09-30 (Vattenwebb, 2018).



Figur 7: Framtagen vattenföring med den hydrologiska modellen HYPE för Ralaån under perioden 2015-08-01 till 2015-09-30 (Vattenwebb, 2018).

## 5 METOD

### 5.1 SAMMANSTÄLLNING AV UNDERSÖKTA RAPPORTER

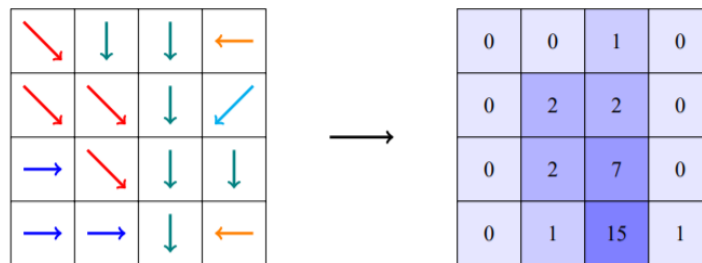
Rapporterna som undersöktes i den fördjupande litteraturstudien var huvudsakligen baserade på sökord kopplade till jordbearbetningsmetoder och avrinning. Baserat på den tillgängliga tiden och för att få ett konsekvent underlag avgränsades sökningen till rapporter från Skandinavien. Efter litteraturstudien sammanställdes resultatet och de mest relevanta delarna för att undersöka avrinning valdes ut och jämfördes. I det senare skedet studien ställdes samtliga mätningar mot varandra där huvudsakligen mätningar för genomsläpplighet, penetrationsmotstånd och storleken på aggregat för olika djup jämfördes.

### 5.2 KONSTRUKTION AV AVRINNINGSSOMRÅDET

För att skapa ett avrinningsområde över Hallsbergs användes ArcGIS och höjddata med upplösningen 6x6 meter från Lantmäteriets nya nationella höjdmodell (NNH). I samtliga höjdkartor är byggnader borttagna vilket åtgärdades genom att höja upp



marken där byggnaderna stod. För att skapa flödesvägar i området brändes lantmäteriets kartlagda flodsystem in i höjdkartan. Floderna brändes in med ett bottendjup på 3 meter samt att alla närliggande ytor inom 10 meter från botten av floden svagt lutade ner mot botten. Som komplement till flödesvägarna utfördes en blue spot analys. En blue spot analys är en metod för att undersöka vart vatten kan ackumuleras baserat på höjdskillnader. Områden där en blue spot fanns undersöktes med hjälp av google maps (Maps, 2018) och fanns det en närliggande bilväg med en vägtrumma brändes den in kartan med de redan inbrända flödesvägarna. För att säkerhetsställa att området var fri från fel på grund av upplösning beräknades en hydrologisk höjdkarta för den inbrända kartan (ESRI, 2018a). Cellernas flödesvägar och vart de ackumulerades beräknades genom funktionerna *Flow Direction* och *Flow Accumulation*. Flow direction undersökte höjdskillnaderna med metoden nearest neighbour och tvingade flödet mellan celler till de områden som var lägre belägna. Flow Accumulation beräknade ut vart cellflödena ackumulerades. För en illustrativ beskrivning av beräkningarna se figur 8 (ESRI, 2018b;ESRI, 2018c).



Figur 8: Konceptuell modell för hur *Flow Accumulation* beräknar vart flöden från *Flow Direction* ackumuleras (ESRI, 2018b).

Genom funktionen *Stream Definition* definierades ett tröskelvärde för vilka cellflöden som skulle klassificeras som vattendrag. Tröskelvärdet sattes till 1 % av det högsta värdet. Via *Stream Segmentation* delades flödena in i biflöden och huvudflöden baserat på deras högsta flöde. Genom funktionerna *Catchment Grid Delineation* och *Catchment Polygon Processing* togs samtliga delavrinningsområden fram genom att dela in området i mindre bitar baserat på riktningen av cellflödet. För att konvertera cellflödena till riktiga vattendrag i kartan användes *Drainage Line Processing*. Genom funktionen *Adjoint Catchment Processing* kopplades mindre uppströms delavrinningsområden ihop med större delavrinningsområden. För att definiera alla dräneringspunkter inom området användes funktionen *Drainage Point Processing* som beräknade och identifierade vart alla dräneringspunktern associerade till större avrinningsområden fanns. Genom *Batch Watershed Delineation* skapades ett avrinningsområde över Hallsberg innehållande delavrinningsområden baserat på den dräneringspunkten som föll i led med utloppet av Ralaån (Merwade, 2012). Därefter beräknades de framtagna delavrinningsområdenas lutning, hydrauliskt sätt mest avlägsna punkten, flodernas area och

längder (f.d. Drainage Line), flödesvägarnas längd samt lutning. Slutligen definierades även flodernas geometriska form, Mannings tal och bottenbredd samt sidolutning, för mer detaljerad information se tabell 4.

Tabell 4: inmatade parametrar i Muskingum-Cunge and Kinematic Wave Parameter.

<b>Parameter</b>	<b>Parametervärden/geometrisk form</b>
Bottenbredd	3 [m]
Sidosluttning (xH : 1V)	10 [m]
Manning's N	0.035
Muskingum Cunge Shape	Parallelltrapets
Kinematic Wave Shape	Parallelltrapets

För att kunna beräkna avrinning skapades en karta med kurvnummer över avrinningsområdet. Kartan skapades genom att använda en jordartskarta samt en karta över markanvändning. Båda kartorna hämtades från lantmäteriets databas (Lantmäteriet, 2018). Jordarterna delades in efter HSG, se tabell 5 (USDA, 2009). Fanns det inte någon HSG som matchade jordarten lades den till i den grupp som var dominerande inom området.

Tabell 5: Omklassificering av jordarter enligt HSG (USDA, 2009).

<b>Parameter</b>	<b>Parametervärden/geometrisk form</b>	
<i>Beskrivning</i>	<i>Bokstav</i>	<i>Beskrivning</i>
Svallsediment, grus Isälvssediment, sand Postglacial finsand Isälvssediment Postglacial sand Sandig morän Sandig-siltig morän Klapper	A	Sand, siltig sand eller sandig silt
Glacial silt Silt	B	Lerig silt, siltig lera, sandig lera eller lera
	C	Sandig Lerig Silt
Svämsediment, ler-silt Moränlera Gyttjelera Postglacial lera Postglacial grovlera Kärrtorv Mossetorv Glacial lera Urberg Postglacial finlera Vatten	D	Lerig silt, siltig lera, sandig lera eller lera

Markanvändning delades in i fyra olika grupper baserad på USGS landcover institute, se tabell 6. Kartorna slogs ihop med funktionen *Union*. För att koppla den sammanslagna kartan till kurvnummer skapades en tabell vid namn CNLookUp. Tabellen innehöll information om vilket kurvnummer markanvändning skulle få baserat på vilken typ av HSG som området var på, se tabell 3. Informationen matades in i funktionen *Generate CN grid* som beräknade kartan över områdets olika kurvnummer (United, 2014;USDA, 1986), se bilaga A för en sammanfattning av de viktigaste delstegen vid framtagandet av avrinningsområdet.

Tabell 6: Omklassificering av markanvändning enligt USDA(USDA, 1986).

<b>Markanvändning</b>	<b>Omklassificerad markanvändning</b>	
<i>Beskrivning</i>	<i>Nummer</i>	<i>Beskrivning</i>
Vattenyta	1	Vatten
Låg bebyggelse Hög bebyggelse Industriområde	2	Medelstora bostäder
Skog, Barr - och bladskog Lövskog	3	Skog
Åker Annan öppen mark Annan öppen mark utan skogskontur	4	Jordbruksmark

Genom att kombinera kurvnummer med ekvation 5 och 4 beräknades den initiala absorptionen för området. För att räkna ut andelen ogenomträngliga ytor över området användes en karta över markanvändningen. I kartan lades det till en attributrad "ImpPct"(impervious procentage) som angav andelen ogenomträngliga ytor baserat på markanvändning. Värdena matades manuellt in från tabell 7 (Banerjee och Das, 2014). För att räkna ut varje medelvärde för kurvnummer, initial absorption och andel ogenomträngliga ytor för samtliga delavrinningsområden användes funktionen *Subparameter from raster*.

Tabell 7: Andelen ogenomträngliga ytor baserat på markanvändning (Banerjee och Das, 2014).

<b>Markanvändning</b>	<b>Andel ogenomträngliga ytor [100%]</b>
Vatten, floder	100
Jordbruk	2
Tät skog	1.5
Bostadshus	65

Via funktionen *Select HMS process* definierades slutligen avrinningsområdets metod för avrinning, hydrograf och metod för kanalflöde.

### 5.2.1 HEC-HMS

I HEC-HMS definierades tidsteget för modellen till en 1 minut och den 1 augusti 2015 som start samt 30 september 2015 som slutsteg. Meteorologiska metoden definierades som dygnsnederbörd i form av blockregn, jämnt fördelat regn under ett dygn, och som indata nederbördshistorik från Hjortkvarns meteorologiska station för perioden 1 augusti till 30 september, se bilaga B. Som delsteg kalibrerades modellen mot vattenföringen vid utloppet av Ralaån. I kalibreringen undersöktes det vilka skillnader som

uppstod mellan olika storlekar av kurvnummer, initial absorption och fördröjningstid i delavrinningsområdena, samt inverkan för olika Mannings tal i vattendragen. Efter kalibreringen uppdaterades parametrarna baserat på den kalibrering som stämde bäst överens med det beräknade vattenflödet för Ralaån. För att undersöka skillnader mellan olika bearbetningsmetoder ändrades beräkningsmetoden för avrinning i områdena med cirka 70 % jordbruksareal. I den nya metoden, initial and constant, som antar en konstant infiltrationshastighet genom hela profilen i marken angavs den vattenmättade hydraulisk konduktiviteten från försökserierna CX-732 och E-124 i Arvidsson och Sörensson (2013). De hydrauliska konduktiviteter som användes vid modelleringarna redovisas i tabell 8. Kriteriet för att en försökserie skulle användas var att jordtexturen fanns redovisad samt att båda serierna innefattade samma typer av bearbetningsmetoder. Till den nya beräkningsmetoden användes även den redan beräknade absorptionen för områdenas kurvnummer.

Tabell 8: Indata för simulering tagen från försökserien CX-732 och EX-124 (Arvidsson och Sörensson, 2013).

CX-732 [Lerig silt]	Plöjning	Djupkultivator	Grundkultivator
Vattenmättad hydraulisk konduktivitet [mm/h]	29.2	5.2	22.9
E-124 [Sandig silt]	Plöjning	Djupkultivator	Grundkultivator
Vattenmättad hydraulisk konduktivitet [mm/h]	42.8	23.8	7.4

## 6 RESULTAT

### 6.1 SAMMANSTÄLLNING AV VETENSKAPLIGA RAPPORTER

Från litteraturstudien kunde inga tydliga slutsatser dras om hur en övergång till reducerad jordbearbetning påverkar avrinning. Kategoriserades däremot samtliga bearbetningsmetoder i grupper om konventionell och reducerad bearbetning och resultaten från varje studie medelvärdesbildades kunde följande generella slutsatser dras om den fysikaliska inverkan på åkermarken.

Från mätningar av genomsläpplighet i centrala delen av matjorden var det plöjning som generellt hade den högsta genomsläppligheten. I det nedre delen var det enbart mätningar från Charlottenlund (sandig mo) som visade på att plöjning hade en bättre genomsläpplighet. Bland studierna som undersökte genomsläpplighet var det enbart studien från Loggården som utförde mätningar för genomsläppligheten i alven. Mätningarna visade på en svag tendens till att genomsläppligheten var högst för reducerad bearbetning. Från undersökningen av markpackningens inverkan erhöles det att packade led hade den högsta genomsläppligheten i matjordens centrala del och

den lägsta vid 30 cm djup. Vid lägre djup gick det inte att utläsa några signifikanta skillnader mellan metoderna.

Från mätningarna av penetrationsmotståndet fanns det inte några signifikanta skillnader i ytskiktet. I matjordens centrala och nedre del var den generellt minst för konventionella led. I majoriteten från mätningarna i bearbetningsdjupet kunde det även urskiljas en rejäl ökning av motstånd för konventionella led. Från mätningar i den lätt-styva lerjorden kunde plöjning identifieras som den metod som orsakade högst motstånd i nedre delen av matjorden, kring bearbetningsdjupet, medan vid mätningar på lerig / mjällig mo och sandig mo visade att motståndet generellt var lägst för konventionella led. I alven var resultaten mer spridda och inga slutsatser kunde dras om vilken metod som gav högst motstånd.

I studierna som undersökte vattenhalten kom samtliga fram till att reducerad bearbetning hade den högsta vattenhalten i såbädden och såbotten. Undersökningarna från skillnader i aggregatstorleksfördelningen visade även på att reducerade metoder hade den största andel stora aggregat ( $> 5$  mm) och konventionell plöjning störst andel små ( $< 2$  mm).

Från mätningarna av infärgningsexperimentet i Charlottenlund erhöles inga signifikanta skillnader mellan plöjning och reducerad bearbetning. Trots avsaknaden på statistisk signifikans fanns det vissa skikt som visade på större skillnader. Vid markytan var det reducerade led som hade den största andelen färgad yta. Vid cirka 45 centimeters djup var skillnaderna mindre, men där var det konventionella led som hade den högsta andelen färgad yta. Vid 52 cm djup var det återigen reducerad bearbetning som hade den högsta andelen färgad yta. Vilket inte stämde överens med tidigare undersökning som till exempel har visat på att konventionella led har högre andel färgad yta (Sjöholm, 2008). I rapporten läggs det även fram att faktorer som till exempel jordartsvariation kan vara den bakomliggande faktorn till resultatet.

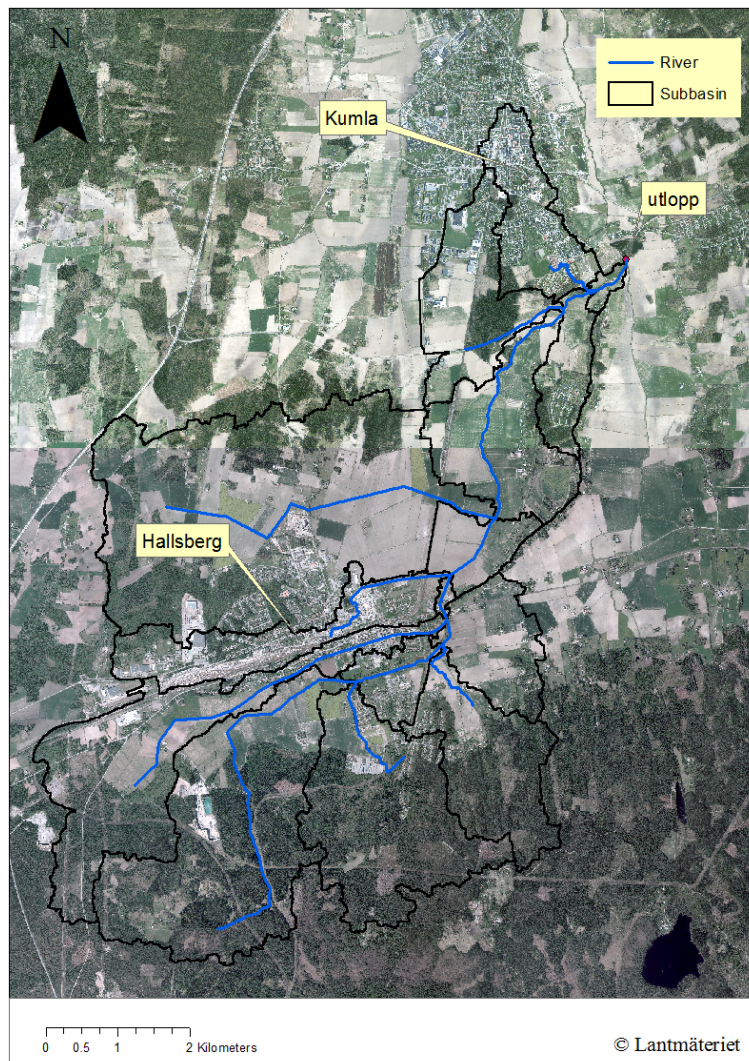
Från studien som undersökte hur stor andel av avrinningen som skedde direkt vid markytan stod ytavrinningen från plöjda för 8–42 % av den totala avrinningen. Samtidigt som jordar bearbetades med grund kultivator (5–8 cm) fick en ytavrinning på 36–66 % och led som aldrig plöjdes efterskörd fick en ytavrinning på 36–82 %.

I bilaga C redovisas studiernas medelvärdesbildades skillnader mellan konventionell och reducerad bearbetning.

## 6.2 HYDROLOGISK MODELLERING

### 6.2.1 Markparametrar

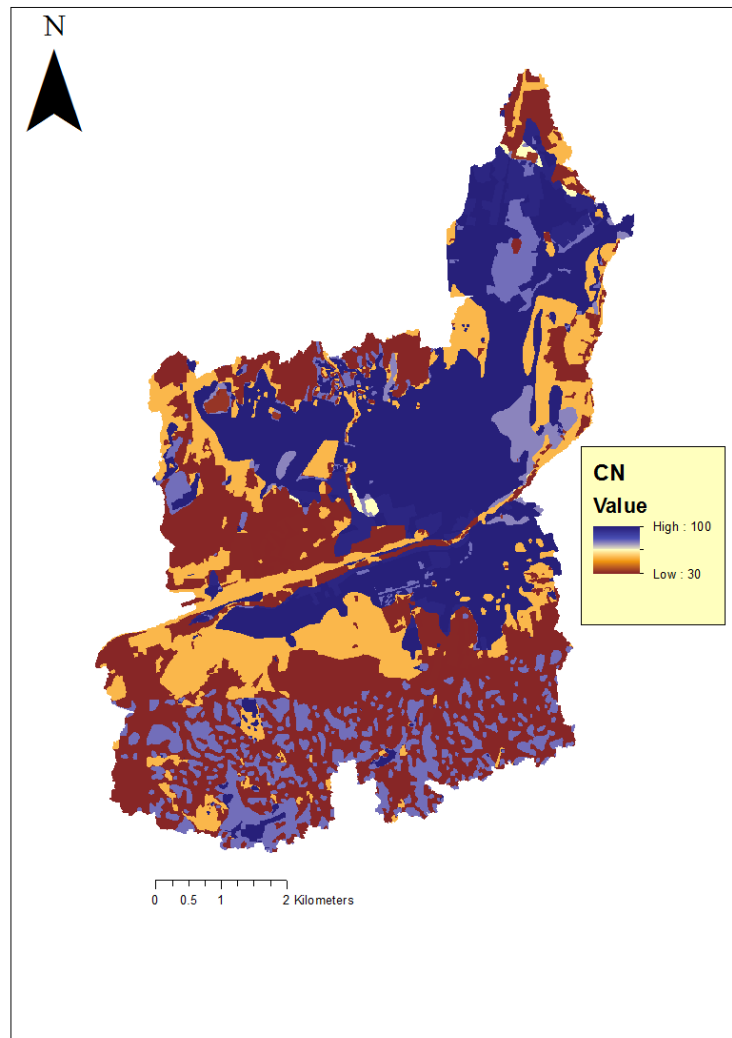
Avrinningsområdet som skapade för den hydrologiska modellen var 51.86 km<sup>2</sup> stort och bestod av 15 stycken mindre delavrinningsområde. Området sträckte sig från förkastningskanten i syd till utloppet i Kumla. Området utgörs av cirka 34% åkermark, 37% skog och 11% tätort. Det framtagna avrinningsområdet redovisas i figur 9.



Figur 9: *Avrinningsområdet i Hallsberg.*

Kurvnummer som togs fram för avrinningsområdet redovisas i figur 10. I kartan går det att urskilja områden för jordbruk, som har höga kurvnummer, samt skog och byggnad som har lägre värden. Skillnaden mellan skog och bebyggelse är sinsemellan

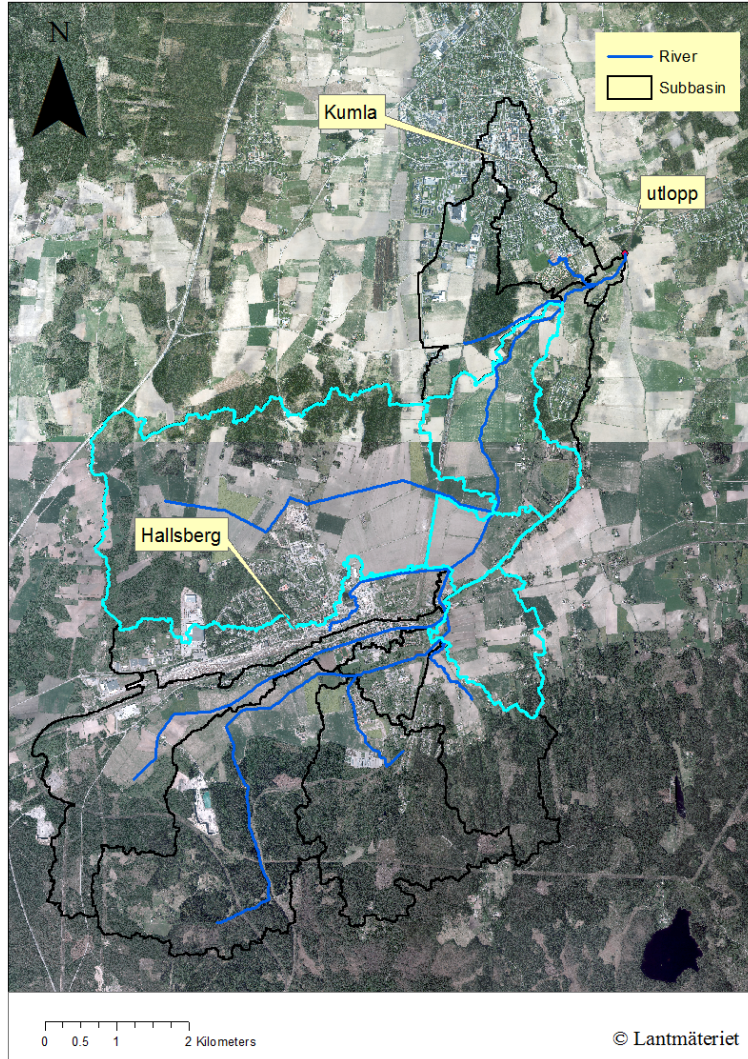
inte lika tydlig. För mer detaljerad information om initial absorption, kurvnummer och andelen ogenomträngliga ytor för vardera delavrinningsområde se bilaga C.



Figur 10: *Karta över CN inom avrinningsområdet.*

I figur 11 redovisas delavrinningsområdena, se blåmarkerade områden, som till majoritets utgörs av åkermark och valts ut till att användas för mätvärdena från försökserierna EX-732 och E-124.





Figur 11: *Avrinningsområdet över Hallsberg med utvalda delavrinningsområden, blåmarkerade områden, för E-732 och EX-124.*

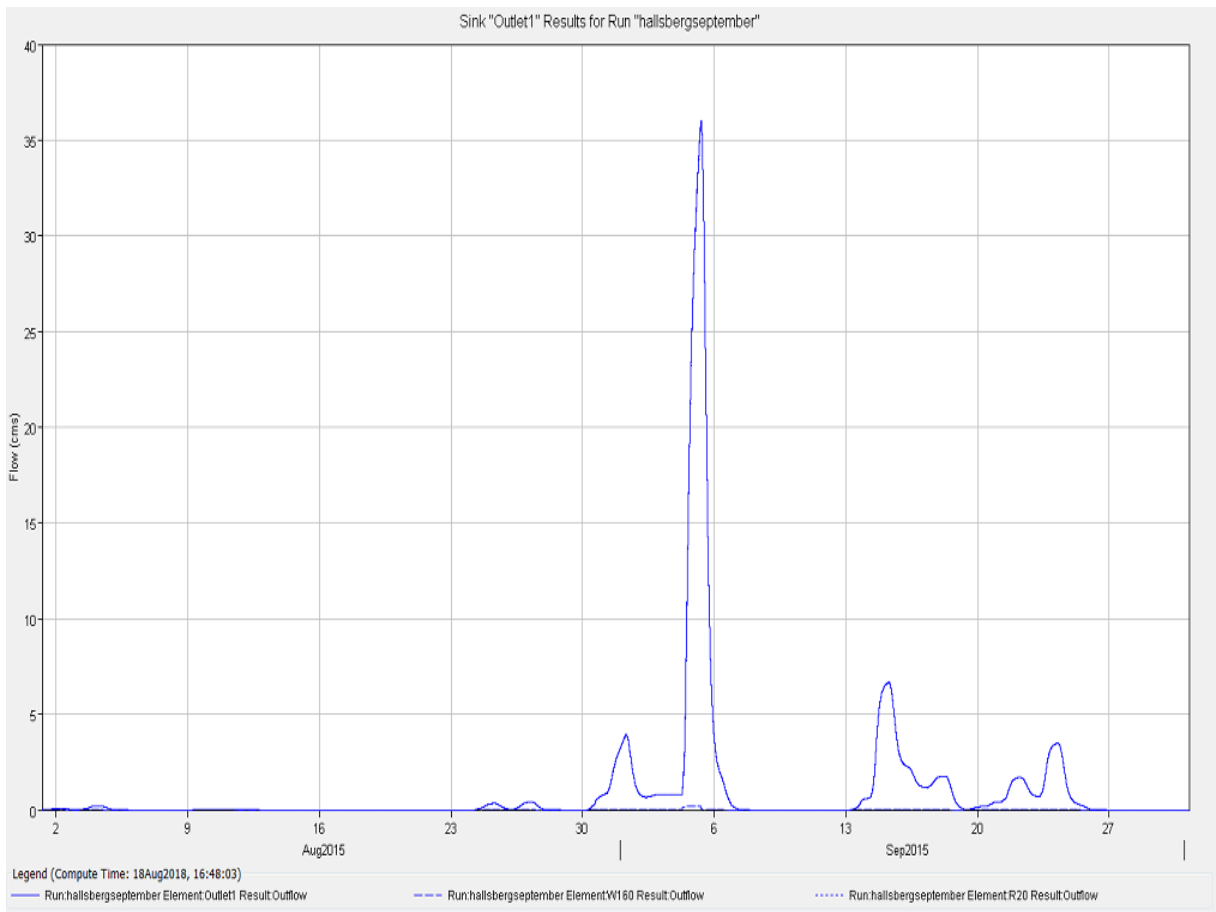
Den ackumulerade mängden avrinningen vid utloppet av avrinningsområdet modellerades först med ojusterade parametervärden från kurvnummer metoden. Samtliga vattenflödestoppar inträffade i fas med tilldelad dygnsnederbörd. Det högsta vattenflödet inträffade klockan 07:20 den 5 september och kunde beräknas till  $36.22 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vilket kan jämföras med det hämtade vattenflödet för Ralaån som beräknades till  $3.70 \text{ m}^3/\text{s}$  den 6 september. De resterande topparna var också högre än vattenföringen för Ralaån, men inte i samma utsträckning. Från modelleringen med 40 % av de ursprungliga parametrarnas värde inträffade det högsta vattenflödet den 5 augusti klockan 07:26 och kunde beräknas till  $9.12 \text{ m}^3/\text{s}$ . De resterande topparna var fortfarande högre än den motsvarande vattenföringen i Ralaån, men blev lite över halverade jämfört med tidigare modellering. Vid en ytterligare kalibrering med initial absorption

beräknat med faktor 0.05, istället för modellens inbyggda 0.2, blev det högsta utflödet den 5 augusti beräknat till  $17.75 \text{ m}^3/\text{s}$ . Från modellering med återställd initial absorption och fördubblad fördröjningstids inträffade det högsta vattenflödet klockan 09:38 och beräknades till  $7.98 \text{ m}^3/\text{s}$ . Med samma indata ändrades även Mannings tal från 0,035 till 0.7 och det högsta flödet inträffade då den 5 september klockan 10:51 och beräknades till  $7.65 \text{ m}^3/\text{s}$ .

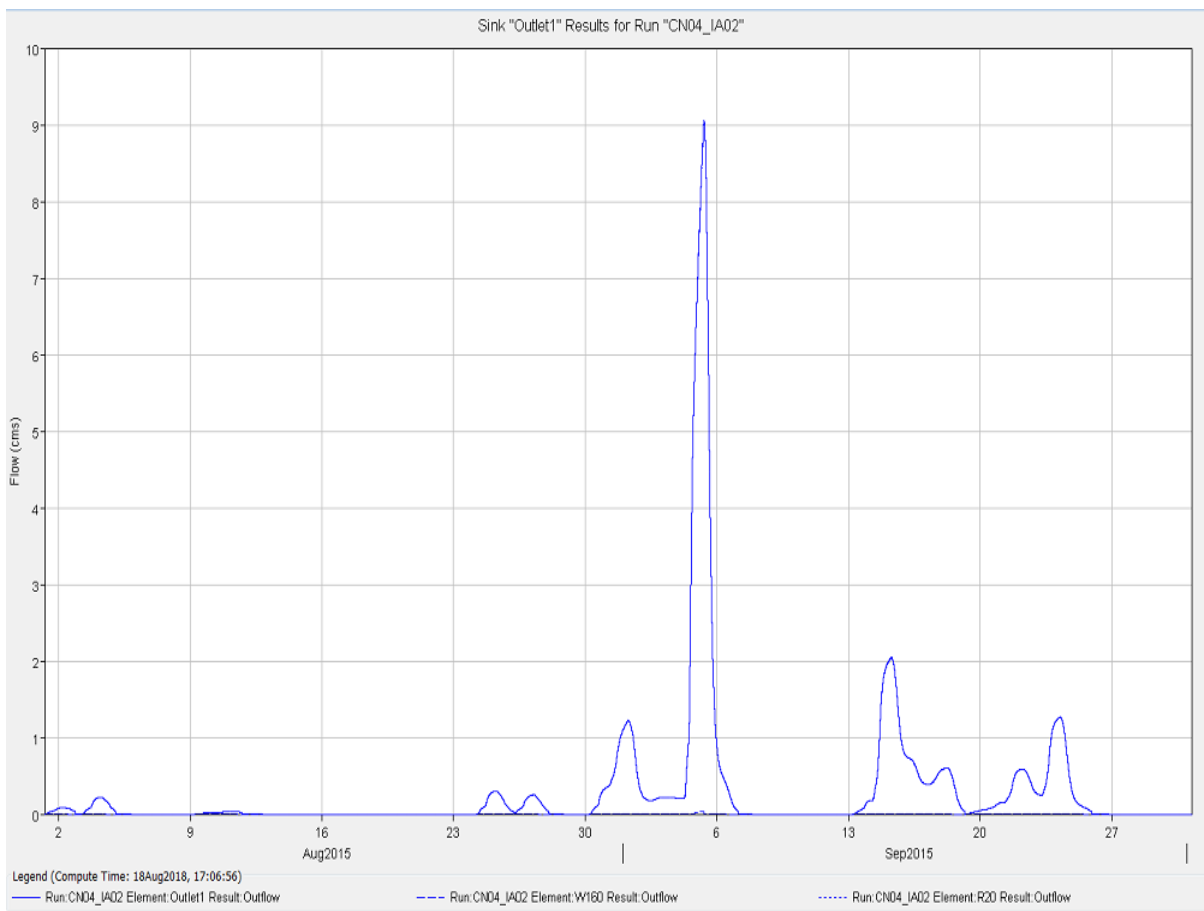
Från samtliga kalibreringar valdes försöket med 40% av de ursprungliga parametrarna storlek utan ändrat Mannings tal. Den bakomliggande anledningen var att fördröjningstiden beräknat med ekvation 7 inte skulle bli instabil, se stycket om fördröjningstid, samt eftersom en fördubbling av fördröjningstid och Mannings tal resulterade i en sådan liten ändring att det inte ansågs relevant. Försöket med initial absorption baserat på faktorn 0.05 valdes bort eftersom det högsta flödet ökade från  $9.12 \text{ m}^3/\text{s}$  till  $17.75 \text{ m}^3/\text{s}$ . För mer detaljerad information från samtliga försök se tabell 9 och figurerna 12, 13 och bilaga C

Tabell 9: Resultat för samtliga kalibreringsförsök.

Försök	Datum	Klockslag [hh:ss]	Högsta vattenföring [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
SMHI vattenwebb	2015-09-06	-	3.70
Ojusterad SCS parametrar	2018-09-05	07:20	36.22
40 % av ojusterade parametrar	2018-09-05	07:26	9.12
40 % med initial absorption baserat på 0.05	2018-09-05	07:26	17.75
40 % med fördubblad fördröjningstid	2018-09-05	09:38	7.98
40 % med fördubblad fördröjningstid och 0.7 som Mannings tal	2018-09-05	10:51	7.65



Figur 12: Modellerad avrinning för ojusterade parametervärden.



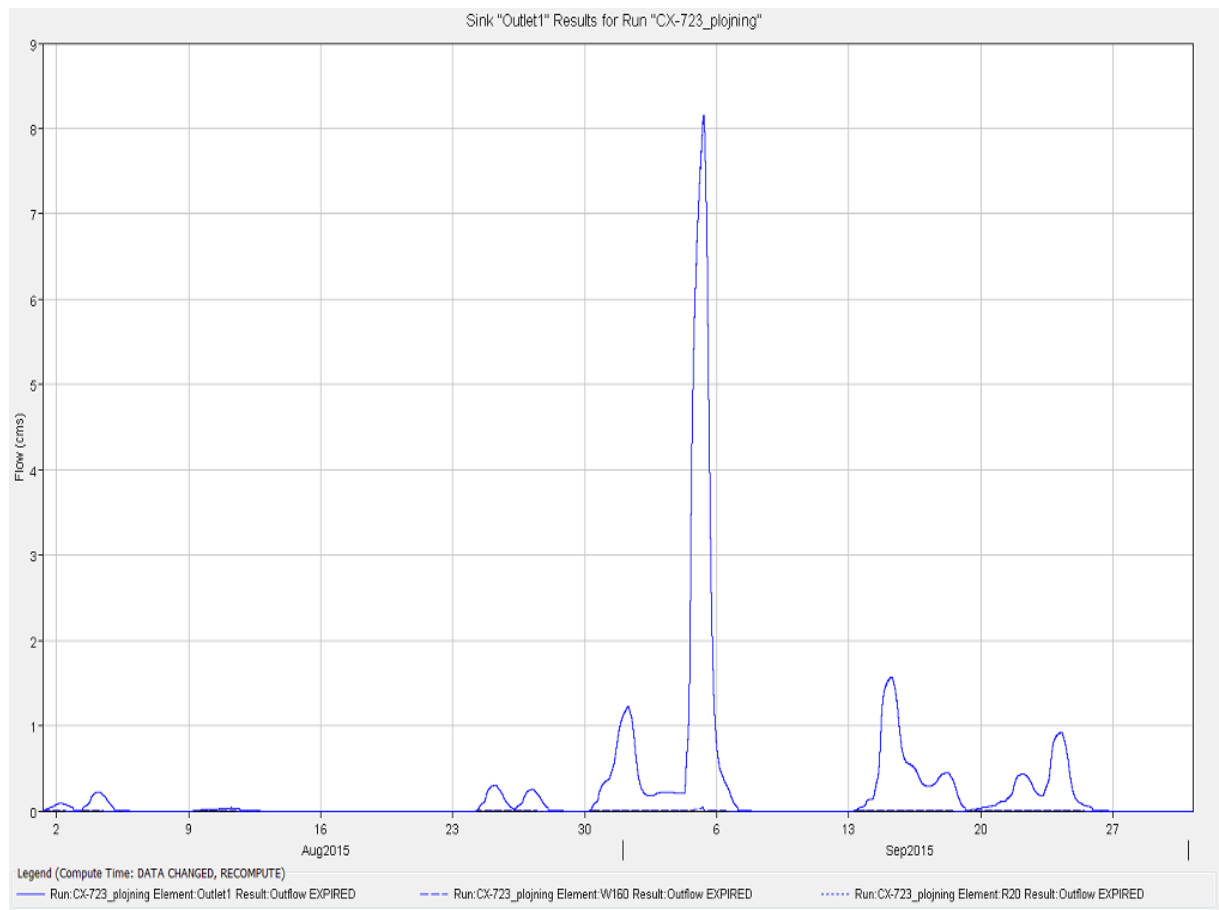
Figur 13: Modellerad avrinning för 40% av CN och tillhörande parametervärden.

### 6.2.2 Modellering med mätvärden

Med mätningar från försöken CX-732 och E-124 blev resultatet att den mättade hydrauliska konduktiviteten inte påverkade vattenflödet, vilket visade på att det inte uppstod någon skillnad i avrinning mellan konventionell och reducerad jordbearbetning. På grund av resultatet undersöktes inte avrinningen inom vardera delavrinningsområden med åkermark mer detaljerat. Den högsta vattenföringen inträffade klockan 07:28 den 5 augusti och beräknades till  $8.25 \text{ m}^3/\text{s}$ . Förutom den 5 augusti kunde tre andra tydliga toppar likt tidigare kalibreringar utläsas. I kronologisk ordning uppstod topparna den 1 september, 5 september, 15 september och 24 september. Mer detaljerad information som vattenföring och klockslag redovisas i tabell 10. Hydrograferna från samtliga försök redovisas i figur 14 och bilaga C

Tabell 10: Detaljerad information om de högsta vattenföringstopparna mellan 2015-09-01 till 2015-10-01.

Försök	Bearbetningsmetod	Topp 1 [datum - klockslag -vattenföring ( $m^3/s$ )]	Topp 2 [datum - klockslag -vattenföring ( $m^3/s$ )]	Topp 3 [datum - klockslag -vattenföring ( $m^3/s$ )]	Topp 4 [ datum - klockslag -vattenföring ( $m^3/s$ )]
CX-732	Plöjning	2018-09-01 - 05:21:00 - 1.28	2018-09-05 - 07:28:00 - 8.25	2018-09-15 - 05:34:00 - 1.62	2018-09-24 - 09:15 - 0.96
	Grundkultivator	2018-09-01 - 05:21:00 - 1.28	2018-09-05 - 07:28:00 - 8.25	2018-09-15 - 05:34:00 - 1.62	2018-09-24 - 09:15 - 0.96
	Djupkultivator	2018-09-01 - 05:21:00 - 1.28	2018-09-05 - 07:28:00 - 8.25	2018-09-15 - 05:34:00 - 1.62	2018-09-24 - 09:15 - 0.96
E-124	Plöjning	2018-09-01 - 05:21:00 - 1.28	2018-09-05 - 07:28:00 - 8.25	2018-09-15 - 05:34:00 - 1.62	2018-09-24 - 09:15 - 0.96
	Grundkultivator	2018-09-01 - 05:21:00 - 1.28	2018-09-05 - 07:28:00 - 8.25	2018-09-15 - 05:34:00 - 1.62	2018-09-24 - 09:15 - 0.96
	Grundkultivator	2018-09-01 - 05:21:00 - 1.28	2018-09-05 - 07:28:00 - 8.25	2018-09-15 - 05:34:00 - 1.62	2018-09-24 - 09:15 - 0.96



Figur 14: Modellerad avrinning i avrinningsområdet utlopp för serien CX-739 med mättad hydraulisk konduktivitet för bearbetningsmetoden plöjning.

## 7 DISKUSSION

En jord är uppbyggd av komplexa system vilket gör det svårt att försöka förutse hur olika bearbetningsmetoder påverkar avrinningen från åkermark. I en övervägande del av rapporterna har ett antal trendbrytande mätvärden redovisats och de bakomliggande orsakerna har inte kunnat identifieras. Osäkerheten i mätningarna är alltid

något som det måste tas hänsyn till, men när det är frekvent återkommande är det snarare en indikator på att en jord är ingen annan lik och att lokala avvikelser är något som bör tas hänsyn till. Med det sagt, samt att litteraturstudien var begränsad till skandinaviska rapporter, kan bara slutsatsen dras att det inte går att dra en vetenskapligt grundad slutsats utifrån rapporternas underlag om hur en övergång till reducerad jordbearbetning påverkar avrinning.

Det som har kunnat identifieras är att den luckrande effekten från konventionell plöjning överlag leder till en bättre genomsläpplighet i den centrala delen av matjorden. För djupare skikt blev resultaten mer spridda. Sjöholm (2008) rapporterar att genomsläppligheten i bearbetningsdjupet (22–27 cm) från Charlottenlund (Sandig mo) var generellt bäst för konventionella led, vilket inte stämde överens med tidigare studier. I Väby (Lerig/mjällig mo) rapporterar Sjöholm däremot om att det var konventionella led som hade den signifikant lägsta genomsläppligheten. Från studien av Roland (2003) rapporteras det att reducerade bearbetningsmetoder på lätt-styv lera gav en högre genomsläpplighet i bearbetningsdjupet (25–30 cm) samt att mätningarna i alven (50–55 cm) indikerade på en svag tendens till att plöjning hade en lägre genomsläpplighet. Från studien av Ekholm (2016) redovisas det i samtliga mätningar att packade led kring djupet 30 cm hade lägsta genomsläpplighet jämfört med icke packade led, samt att det vid 50 och 70 cm djup inte gick att dra någon slutsats om vilken bearbetningsmetod som gav högst genomsläpplighet.

Från mätningarna på penetrationsmotstånd var resultaten mer spridda och alla studier grundar sina osäkerheter i faktorer som uppkomst av stenar, rot-maskgångar med mera. När penetrationsmotståndet för de olika metoderna jämfördes gick det att urskilja ett mönster. Det som har kunnat urskiljas är att samtliga metoder har liknande motstånd vid ytskiktet av marken, samt att det i majoritet av fallen var plöjning som hade det lägsta motståndet i matjorden. Vid bearbetningsdjupet har penetrationsmotstånden i nästan samtliga fall ökats som mest för plöjning, vilket indikerar på uppkomsten av en plogsula. Vid lägre djup blev resultaten mer spridda och vid djup närmare 40–45 cm har det inte kunnat utläsas någon signifikant skillnad mellan metoderna. När genomsläppligheten och penetrationsmotståndet ställdes mot varandra gick det att urskilja att konventionell plöjning hade det lägsta penetrationsmotståndet och den högsta genomsläppligheten i matjordens centrala del. Vid bearbetningsdjupet var det plöjning som generellt hade den lägsta genomsläppligheten och den största ökningen av penetrationsmotstånd. Vid djup där penetrationsmotstånden mellan metoderna var väldigt lika har de som mätt genomsläpplighet dragit slutsatsen att det inte finns några signifikanta skillnader mellan metoderna. Sambanden är intressanta, men innan någon slutsats kan dras måste det fler rapporter undersökas där fler system och andra påverkande faktorer vägs in.

Texturen i en jord är en annan parameter som har en stor inverkan på markens fysikaliska egenskaper, men trots det har studierna inte gett jordartens inverkan mycket

uppmärksamhet. Visserligen har texturen använts som underlag, men den har inte undersökts i den mån att det har kunnat dragits någon slutsats om hur stor inverkan en jordart egentligen har på bearbetningsmetoderna. Det som har kunnat identifierats är Pålssons (2006) slutsats om att skillnaden mellan fraktionssammansättningarna i en lätt och styvlera inte påverkar den fysikaliska ändringen mellan bearbetningsmetoderna. I de resterande studierna har jordarter identifierats som en eventuell faktor som kan ha påverkat resultatet eller att det kan finnas ett samband med någon faktor som inte har undersökts. Resultaten om aggregatstorleksfördelning och vattenhalt föll däremot under förväntningarna och stämmer bra överens med tidigare resultat från bland annat Etana m.fl. (2000) som visade på att reducerad bearbetning förbättrade markens dräneringsförmåga och förbättrade vattenförsörjningen under torra förhållanden. En högre vattenhalt kan dock leda till en ökad risk för packningsskador då hållfastheten i aggregat och mellan markpartiklar kan minska och därmed lättare kollapsa under påfrestningar, vilket även kan leda till en minskad genomsläpplighet i markprofilen. Dock innebär även en högre vattenhalt att det även kan ske en mer omfattande tjälexpansion, som i sin tur kan motverka packningsskador. Från mätningar av aggregatfördelningen i matjorden erhöles det att konventionellt plöjda jordar innehåller en högre andel små aggregat, vilket visar på att bearbetningsmetoden effektivt kan luckra jorden och slå sönder gamla skador och större sammanfogade aggregat. Vilket även kan gynna förutsättningarna för en bättre genomsläpplighet i profilen. Tyvärr fanns det inte tillräckligt med underlag för att dra någon slutsats om hur aggregatstorleksfördelning påverkar genomsläppligheten.

Ytavrinning var den parameter som hade det minsta underlaget. I Turtolas studie (2008) redovisas det att ytavrinningen från konventionellt plöjd jord stod för mellan 8–42 % av den årliga avrinningen, medan ytavrinningen från reducerad bearbetning (grundkultivering) och jord som aldrig plöjts efter skörd stod för 36–66% samt 36–82% av den totala avrinningen. Skillnaderna inom metoderna är stora, jämförs det minimala och maximala värden för plöjning med reducerad bearbetning skiljer det sig som mest 28 % som lägsta värde och 24% som det högsta. Att det uppstår skillnader på över 20 % mellan konventionell och reducerad bearbetning indikerar på att ytavrinningen från plöjda åkermarker är mindre. Dock är underlaget begränsat samt att samtliga värden är medelvärdesbildade över en lång tid där bl.a. olika typer nederbördsintensitet och årets samtliga säsonger (snösmältning m.m.) har inverkat, varav det blir väldigt svårt att med säkerhet säga att konventionellt plöjda åkermarker har en mindre andel ytavrinning. Det hade varit väldigt intressant om det funnits fler fältstudier där ytavrinningen explicit hade undersökts för fler olika bearbetningsmetoder under olika typer av nederbördsintensitet och marklutning, och genom system likt Turtola m.fl. (2008) hydrologiskt isolera jordarna för att få en bredare vetskap om vilken fördelning som avrinningen får.

Sammanfattningsvis kan det sägas att det inte finns många rapporter inom avgränsningarna som undersöker hur en övergång till reducerad jordbearbetning påverkar avrinning. Det finns delar av bilden som är undersökta, till exempel genomsläpplig-

het vid olika skikt, men eftersom en jords fysikaliska egenskaper är produkten av ett samspel mellan flertalet olika externa och interna system blir det ytters svårt att dra en slutsats om hur en övergång påverkar avrinning. Eftersom det vetenskapliga underlaget var begränsat till skandinaviska rapporter mynnad litteraturstudien ut i ett försök till att hitta vilken metod som gav det högsta eller lägsta värdet, och utifrån det identifiera hur en övergång påverkar avrinning. De slutsatserna som har kunnat dras har varit för enskilda fysikaliska parametrar, och bara för att en bearbetningsmetod i överlag gav ett bättre resultat behöver det inte det betyda att det leder till en märkbar skillnad i avrinning.

Mätningar från penetrationsmotstånd och genomsläpplighet har visat på både överensstämmande mönster och samtidigt väldigt skilda värden. Utan ett bredare underlag kan ingen tydlig slutsats dras om helhetsbilden i hur en övergång från konventionell till reducerat jordbruk påverkar genomsläppligheten och strukturen. Bitar av olika skikt för fysikaliska parametrar är undersöka och där har det gått i bästa fall att dra en väldigt generaliserad slutsats som absolut inte behöver stämma överallt. Även om mer underlag hade existerat måste även faktorer som val av jordbruksfordon, ringtryck och val av bearbetningsdjup inom samtliga metoder vägas in innan en tydligare slutsats kan dras.

För de hydrologiska modelleringarna stod det tidigt klart att det inte skulle gå att återspegla vattenflödena vid Ralaån. En av anledningarna var att den enda mätstation med kvalitetsgranskad nederbördsdata låg i Hjortkvarn. I Hjortkvarn inträffade även det extrema nederbördstillfället cirka en dag innan Hallsberg. En annan faktor var att avrinningsområdet var relativt litet samt området var hydrologiskt isolerat från intilliggande avrinningsområden. Vattenföringen vid utloppet i Ralaån var inte heller korrekt eftersom den var beräknat med SMHI:s hydrologiska modell HYPE, men för att undersöka möjligheterna till att besvara på frågeställningar fortsatte arbetet med att ta ställa upp ett avrinningsområde (Vattenwebb, 2018). Kurvnummer metoden och lag method valdes som beräkningsmetoder eftersom båda modellerna är välutvecklade och har i tidigare försök gett lovande resultat. Dastorani m.fl. (2011) undersökte i Iran med ett avrinningsområde på  $131.34 \text{ km}^2$  med en genomsnittlig lutning på 39% hur pass noggrant kurvnummer, initial absorption och fördröjningstid kan estimeras vattenflöden. Resultatet blev att med kalibrering mot uppmätta vattenflöden kan modellen förutspå de högsta vattenflödena med mindre än 1% fel. Baserat på underlaget kalibrerades samtliga ingående parametrar för att försöka passa de högsta vattenflödena från SMHI, medveten om att samtliga toppar skulle vara uppstå tidigare än vattenföringen från Ralaån, samt att vattenföringen inte stämde överens med nederbörds mängden. För delavrinningsområdena som skulle användas för att återspegla försöken CX-732 och E-124 behövdes en annan infiltrationsmodell. Till dem valdes Initial and Constant. Som grund till valet låg en rapport från Iran med syftet att utvärdera de tre infiltrationsmodellerna Green & Ampt, Initial and constant loss rate och Deficit and Constant loss förmåga att estimeras vattenföringen



för ett avrinningsområde. Undersökningen resulterade i att Initial and constant var den modell som fick minst prediktionsfel jämfört med uppmätta värden (Saleh m. fl., 2011). De högsta vattenflödena för modelleringarna inträffade som väntat en dag innan vattenflödena från Ralaån. Men trots grova reduceringar av samtliga parametrar blev de beräknade vattenflödena betydligt högre än det från Ralaån. Dock måste det även vägas in att infiltrationen för åkermark var baserad på vattenmättad hydraulisk konduktivitet, vilken åkermark i naturliga förhållanden vanligtvis inte är. Men utan exakta mätvärden är det svårt att dra någon slutsats om modellens funktionalitet.

Från försöken med Initial and Constant kan ingen annan slutsats dras än att det inte går att modellera skillnader i avrinning mellan olika bearbetningsmetoder. Constant rate [mm/h] ska enligt HEC-HMS tekniska handbok återspegla steady-state som uppstår under vattenmättade förhållanden, samt att man i en rapport från Saleh (2011) använt konstant infiltrationskapaciteter mellan 0 och 11.43 mm/h utan problem, vilket indikerar på att modellen borde fungera. Men innan en slutsats dras om funktionaliteten måste även den tillgängliga informationen om avrinningsområdet vägas in. Exempel på bristande information var vid framtagandet av vattendragens sidolutning och geometrisk form. I brist på information undersöktes de verkliga huvudfloderna i den ursprungliga höjdkartan via 3d-plottar och formen uppskattades och sattes till lika för samtliga framtagna huvudvattendrag, Vilket inte ger en verklig bild av hur vattendragen egentligen ser ut.

Sammanfattningsvis är HEC-HMS en väldokumenterad modell som tillåter detaljerade specificeringar för ett avrinningsområde. Vilket gör att funktionaliteten framförallt blir begränsad av den tillgängliga informationen som finns om området.

## 7.1 FRAMTIDA STUDIER

För framtida studier kommer det att behövas ett mer kompletterande underlag. Till exempel studier som specifikt undersöker jordartsammansättningens inverkan på bearbetningsmetoder eller studier som mer noggrant undersöker packningsskadors inverkan på avrinningen. I de undersökta rapporterna har genomsläppligheten överlag undersökts i få lager i jorden. I majoritet av de sammanställda mätningarna har enbart djupet kring 7–12 cm som undersökts, vilket inte behöver vara den del i jorden som bildar vattentransportens flaskhals. Det skulle därför vara intressant att ha mer omfattande studier som underlag, likt infärgningsexperimenten, med mål att identifiera vilket skikt i marken som blir det mest begränsade för en bearbetningsmetod. Liket tidigare nämnt kommer även faktorer som val av jordbruksfordon, ringtryck och val av bearbetningsdjup behövas vägas in. Hade mer tid funnits hade det även varit intressant att sammanställa information om hur olika bearbetningsmetoder påverkar den biologiska aktiviteten samt rotutvecklingen. En effekt av ökad biologisk aktivitet kan vara fler makroporer samt ökad aggregatstabilitet. En förbättrad rotutveckling leder också till fler makroporer och en förbättrad stabilitet.

Som tillägg till framtida studier för den hydrologiska modellen vore det intressant att använda radardata som med ArcMap kan göras kompatibel för HEC-HMS (USACE, 2000). Gällande kurvnummer skulle det vara intressant att utföra en liknande undersökningen fast med hydrologiska jordgrupper och kurvnummer kalibrerade efter svenska förhållanden. Det skulle även vara intressant att fördjupa sig i indelningen av hydrologiska jordgrupper. Framförallt för silt som är en flytjord och har nödvändigtvis inte en lägre genomsläpplighet än jordar som siltig sand. Skillnaden vid en eventuell revidering av klassificeringarna kan potentiellt sänka kurvnumret över ett område. Det skulle även vara av intressant att ta fram en modell som skulle kunna ta hänsyn till markytans råhet samt fysikaliska skillnader i markens olika jordlager. I framtida studier skulle det även vara till stor fördel kunna applicera dränering- och dikessystem till modellen. Med anledningen att det är deras kapacitet som i huvudsak påverkar vattenflöden från åkermark i samband med avrinning.

## 8 SLUTSATSER

Under arbetets gång har vetenskapliga rapporter analyserats och hydrologiska modelleringar utförts. Gemensamt utgjorde de en sammanvägd bild för hur en övergång från konventionell plöjning till reducerad jordbearbetning påverkar avrinning från åkermark. Från resultatet har de frågeställningarna kunnat besvaras enligt:

- Från undersökningar av strukturen erhöles det att konventionellt plöjda led hade den högsta andelen små aggregat  $<2$  mm samt att reducerade bearbetningsmetoder hade den högsta andelen stora aggregat  $>5$  mm. Vid jämförelse av penetrationsmotstånd fanns det inga tydliga skillnader i det övre lagret av matjorden. Djupare i matjorden erhöles det att plöjda led i majoritet av fallen hade lägst motstånd. Vid bearbetningsdjupet, plogsulan, erhöles det att plöjda led hade den högsta ökningen av motstånd. Vid i alven kunde inga tydliga skillnader mellan bearbetningsmetoderna identifieras.
- Den uppmätta vattengenomsläppligheten i åkermarken har varierat kraftigt och ingen slutats om helhetsbilden har kunnat dragits. Det som erhöles var att den medelvärdesbildad genomsläpplighet i matjordens centrala del var högst för plöjda led. Medan reducerade metoder hade den högsta medelvärdesbildade genomsläppligheten i bearbetningsdjupet. I alven kunde inga skillnader utläsas.
- Från studien som undersökte hur stor andel av avrinningen som skedde på ytan för olika bearbetningsmetoder erhöles det att led bearbetade med kultivator fick den högsta andelen avrinning. Från den slutliga jämförelsen mellan samtliga bearbetningsmetoder och led som tidigare bearbetats, men aldrig luckrats, fick de led som inte luckrats den högsta avrinning.
- HEC-HMS är ett program som är applicerbart för att undersöka skillnader i avrinning mellan olika bearbetningsmetoder. De begränsade faktorerna är tillgången av information om avrinningsområdet samt valet av hydrologiska metoder. Valet av Kurvnummermetoden har tidigare visat sig lyckad, men i den här studien har det inte gått att applicera metoden för att undersöka skillnad i avrinning.

Vid den slutgiltiga bedömningen om hur en övergång från konventionell till reducerad jordbearbetning påverkar avrinning kunde ingen tydlig slutsats dras. Tidigare mätningar har visat på tendenser och skillnader mellan metoders inverkan på jordens fysikaliska egenskaper, men för att med säkerhet kunna svara på syftet med studien behövs mer kompletterande underlag.

# REFERENSER

## Allmänna referenser

- Arvidsson, J. och F. Sörensson (2013). *Bearbetningsdjup i plöjningsfri odling*. URL: <https://www.slu.se/globalassets/ew/org/inst/mom/mark-och-miljo/mark-och-miljo/jbhy/dokument/rapport126.pdf>.
- Ekholm, R. (2016). *Markpackning – påverkan på markens fysikaliska egenskaper*. URL: [https://stud.epsilon.slu.se/10031/1/ekholm\\_r\\_170227.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/10031/1/ekholm_r_170227.pdf).
- Etana, A., T. Rydberg och I. Håkansson (2000). *Markfysikaliska studier i långliggande försök med reducerad jordbearbetning Slutrapport*. URL: [https://pub.epsilon.slu.se/5077/1/etana\\_a\\_etal\\_100823.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/5077/1/etana_a_etal_100823.pdf).
- Gottfridsson, J. (2015). *Översvämning i Hallsbergsområdet i september 2015 - Konsekvenser för växtodlingen*. URL: [https://www.jordbruksverket.se/download/18.229ea55815233ba0390d9b4a/1452686345404/%C3%96versv%C3%A4mning%20i%20Hallsberg%20med%20bilaga%20\(2\).pdf](https://www.jordbruksverket.se/download/18.229ea55815233ba0390d9b4a/1452686345404/%C3%96versv%C3%A4mning%20i%20Hallsberg%20med%20bilaga%20(2).pdf).
- Håkansson, I. (2000). *Packning av åkermark vid maskindrift - Omfattning- Effekter - Motåtgärder*. URL: [https://pub.epsilon.slu.se/5082/1/hakansson\\_i\\_100823.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/5082/1/hakansson_i_100823.pdf).
- Jordbruksverket (2008). *Reducerad jordbearbetning*. URL: [http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf\\_jo/jo08\\_28.pdf](http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/jo08_28.pdf).
- Messing, I. (2013). *Markfysikens grunder*. Institutionen för mark och miljö, SLU (Sveriges lantbruksuniversitet).
- MSB (2014). *Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet - Framtagande av metodik för utredning på kommunal nivå*. URL: <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/27365.pdf>.
- Myrbeck, Å., A. Arvidsson och T. Keller (2003). *Plöjningstidpunktens inverkan på markstruktur, växtproduktion och kväveutlakning på lerjord. Skutrapport från försök 1999-2002*. URL: [https://pub.epsilon.slu.se/5088/1/myrbeck\\_et\\_al\\_100823\\_4.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/5088/1/myrbeck_et_al_100823_4.pdf).
- Pålsson, O. (2006). *Fältförsök med reducerad bearbetning i Skåne och Halland*. URL: [https://pub.epsilon.slu.se/5367/1/palsson\\_o\\_101014.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/5367/1/palsson_o_101014.pdf).
- Sjöholm, N. (2008). *Inverkan av bearbetningsdjup på markstrukturen i försök med plöjningsfri odling i Skåne och Halland*. URL: [https://pub.epsilon.slu.se/5373/1/sjoholm\\_n\\_101014.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/5373/1/sjoholm_n_101014.pdf).
- Turola, E., L. Alakuku och R. Uusitalo (2008). *Surface runoff, subsurface drainflow and soil erosion as affected by tillage in a clayey finnish soil*. URL: <https://journal.fi/afs/article/view/5889/5087>.
- USACE (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS*. URL: <http://ce531.groups.et.byu.net/syllabus/Documents/HMSTechnicalReference.pdf>.
- USDA (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds*. URL: [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf).

- USDA (2009). *Hydrologic Soil Groups*. URL: <https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch7.pdf>.
- Wejde, T. (2011). *Direktsådd under svenska förhållanden*. URL: [https://stud.epsilon.slu.se/2342/1/wejde\\_t\\_110314.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/2342/1/wejde_t_110314.pdf).
- Wesström, I., P. Geranmayeh, A. Joel och B. Ulén (2016). *Översvämningar på jordbruksmark – utredning av konsekvenser på mark och produktion*. URL: [https://pub.epsilon.slu.se/13612/7/wesstrom\\_i\\_etal\\_160915.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/13612/7/wesstrom_i_etal_160915.pdf).

## Hemsidereferenser

- ESRI (2018a). *How Fill works*. URL: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-fill-works.htm>.
- ESRI (2018b). *How Flow Accumulation works*. URL: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-accumulation-works.htm>.
- ESRI (2018c). *How Flow Direction works*. URL: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm>.
- Lantmäteriet (2018). *SGU:Jordarter 1:25 000 - 1:100 000 vektor*. URL: <https://zeus.slu.se/get/?drop=>.
- Maps, Google. (2018). *Hallsberg*. URL: <https://www.google.com/maps/place/Hallsberg/@59.0948772,14.9938102,19337m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x46595559291a560f:0x868a49c9df4eae6b!8m2!3d59.0665316!4d15.10229>.
- Merwade, V. (2012). *Watershed and Stream Network Delineation using ArcHydro Tools*. URL: [http://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/education/terrain\\_processing.pdf](http://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/education/terrain_processing.pdf).
- Nationalencyklopedin (2018a). *Avrinning*. URL: [http://www.ne.se/ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/avrinning%20\(h%C3%A4mtad%202018-08-29\)](http://www.ne.se/ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/avrinning%20(h%C3%A4mtad%202018-08-29)).
- Nationalencyklopedin (2018b). *avrinningsbildning*. URL: <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/avrinningsbildning>.
- Nationalencyklopedin (2018c). *avrinningsområde*. URL: <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/avrinningsomr%C3%A5de>.
- SIG (2018). *Jordarter - Kornstorleken bestämmer jordartens namn*. URL: <http://www.swedgeo.se/sv/kunskapscentrum/om-geoteknik-och-miljogeoteknik/geoteknik-och-markmiljo/jordmateriallara/lera-och-kvicklara/>.
- SMHI (2015). *Nederbördsintensitet*. URL: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/nederbordsintensitet-1.19163>.
- SMHI (2017a). *Avrinning*. URL: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/avrinning-1.110938>.
- SMHI (2017b). *Extrem punktnederbörd*. URL: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/extrem-punktnederbord-1.23041>.
- SMHI (2017c). *Hur mäts nederbörd?* URL: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/hur-mats-nederbord-1.637>.

- SMHI (2017d). *Vad är hydrologiska modeller?* URL: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/vagledning-klimatscenarioer/vad-ar-hydrologiska-modeller-1.80293>.
- SUDAS (2013). *Time of Concentration*. URL: <http://www.iowasudas.org/manuals/design/Chapter02/2B-3.pdf>.
- United, nations. (2014). *Step by Step: Flood Hazard Mapping*. URL: <http://www.un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-flood-hazard-mapping/step-by-step#Preparing%20land%20use%20data%20for%20CN%20Grid>.
- USDA (2010). *Time of Concentration*. URL: <https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch15.pdf>.
- Vattenwebb (2018). *Modelldata per område*. URL: <https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>.

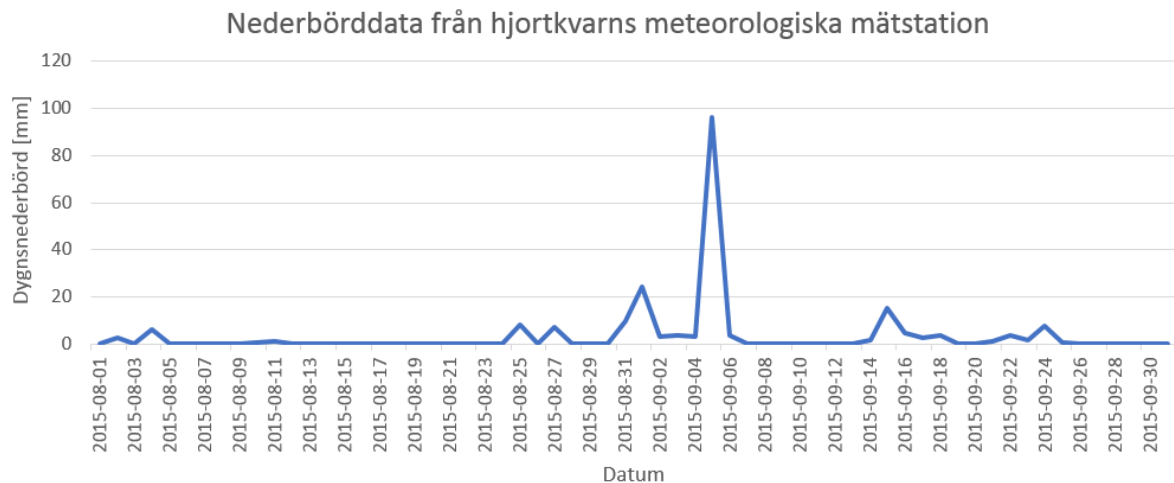
# BILAGOR

## BILAGA A: Tillvägagångsätt i ArcMap

Tabell B.1: *Huvudsakliga steg i ArcMap för att ta fram avrinningsområdet.*

Steg	Funktion	Steg	Funktion
1	DEM reconditioning	15	Longest Flowpath
2	Fill Sink	16	Basin Centroid
3	Flow Direction	17	Centroid Elevation
4	Flow Accumulation	18	Centroidal Longest Flow Path
5	Stream Definition	19	River and Basin Auto Name
6	Stream Segmentation	20	Select HMS Process
7	Catchment Grid Delineation	21	Subbasin Parameters From Raster
8	Catchment Polygon Processing	22	Muskingum-Cunge and Kinematic Wave Parameters
9	Drainage Line processing	23	CN Lag
10	Adjoint Catchment Processing	24	Map to HMS unit
11	Drainage Point Processing	25	Add Cordinate
12	Batch Watershed Delineation	26	Export Model
13	River Lengt & Slope		
14	Basin Slope		

## BILAGA B: Inhämtad mätdata



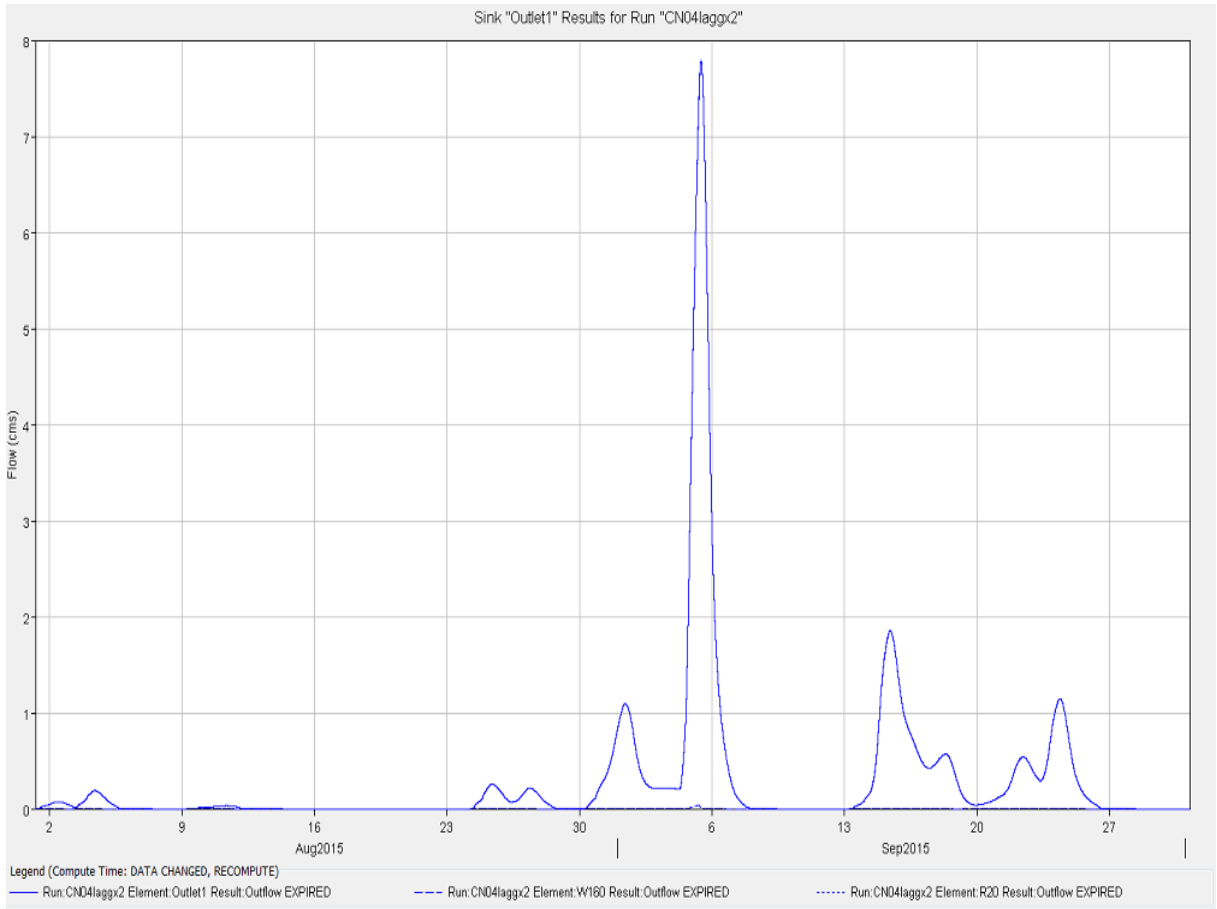
Figur B.1: Hämtad nederbördsdata för perioden 2015-08-01 till 2015-09-30 från Hjortkvarns meteorologiska station (Vattenwebb, 2018).

## BILAGA C: Överskådlig sammanställning av resultatet

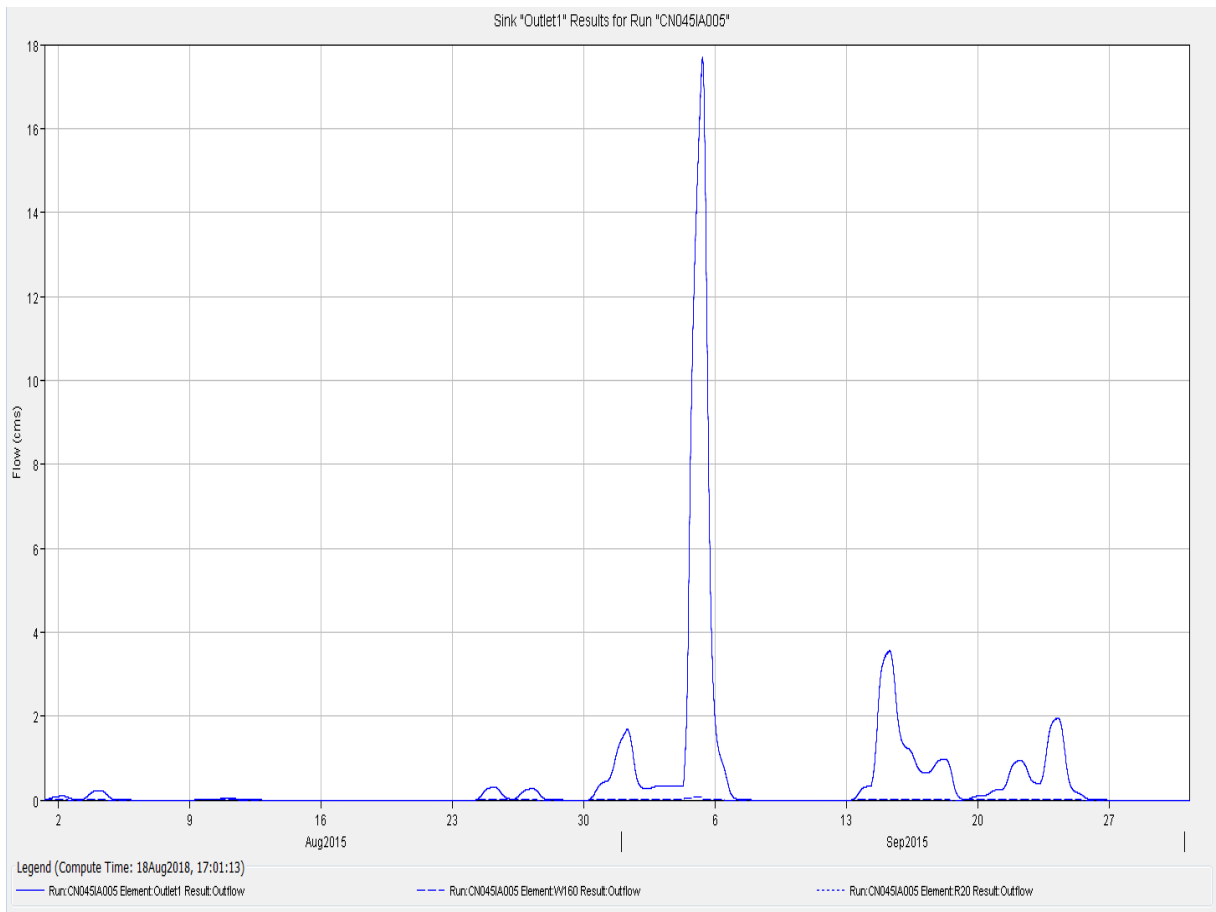
Tabell C.1: *Samtliga delavrinningsområden med tillhörande kurvnummer, initial absorption, andel ogenomträngliga ytor och fördröjningstid för försöket med 40 % av de ursprungliga värdena .*

Delavrinningsområde	Kurvnummer	Initial absorption [MM]	Andel ogenomträngliga ytor[%]	Fördröjningstid [Min]
W160	31.77	28.92	2.00	67.86
W170	29.97	31.46	32.00	135
W180	25.25	47.04	5.34	231.46
W190	32.49	27.46	17.20	269.93
W200	31.03	30.27	2.00	333.41
W210	26.46	45.99	6.88	454.13
W220	32.93	26.80	4.15	148.37
W230	26.10	41.11	28.22	282.48
W240	32.66	27.41	35.67	31.31
W250	22.96	54.88	8.81	382.45
W260	31.11	32.30	4.51	162.74
W270	31.39	30.37	22.89	100.27
W280	20.017	66.11	7.48	310.73
W290	21.84	58.77	2.32	404.03
W300	20.022	64.27	7.27	290.22

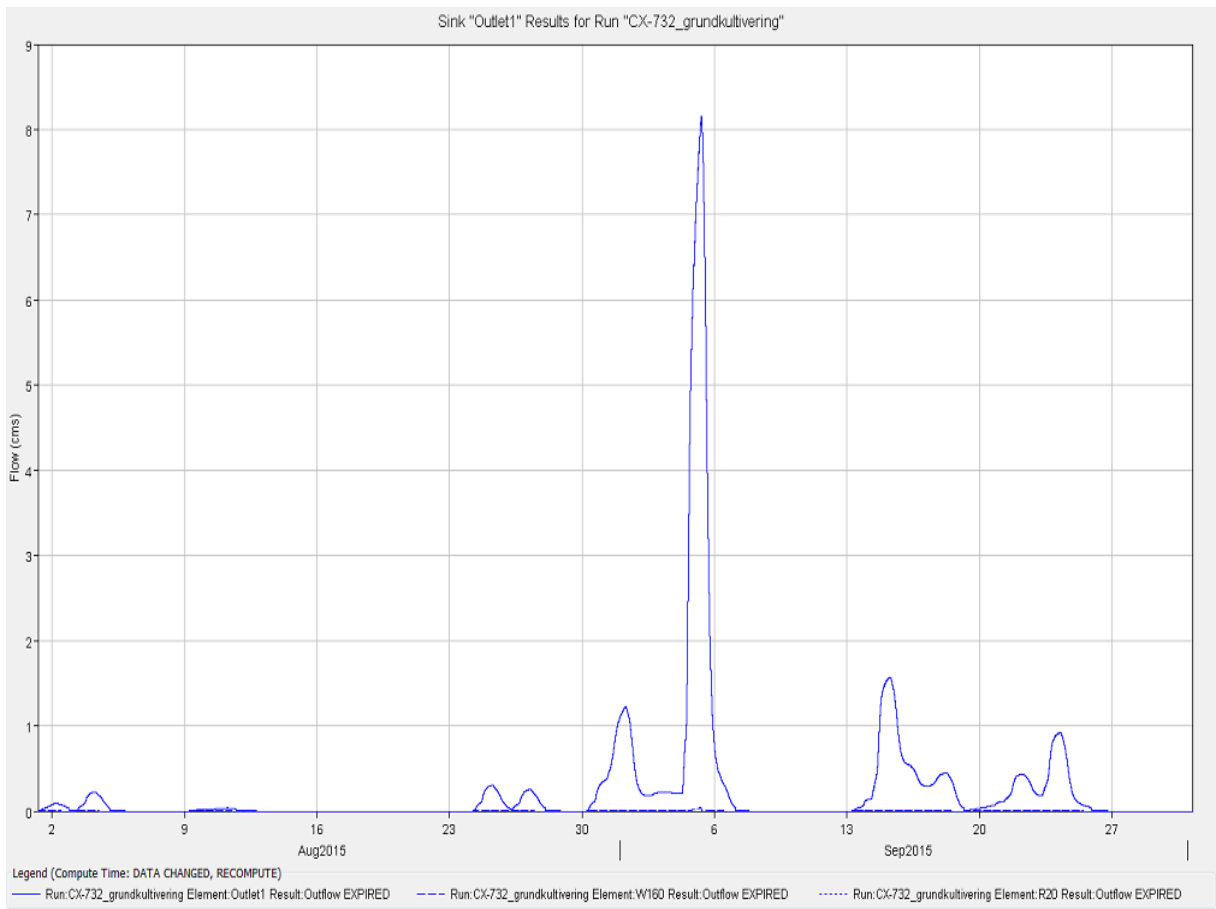




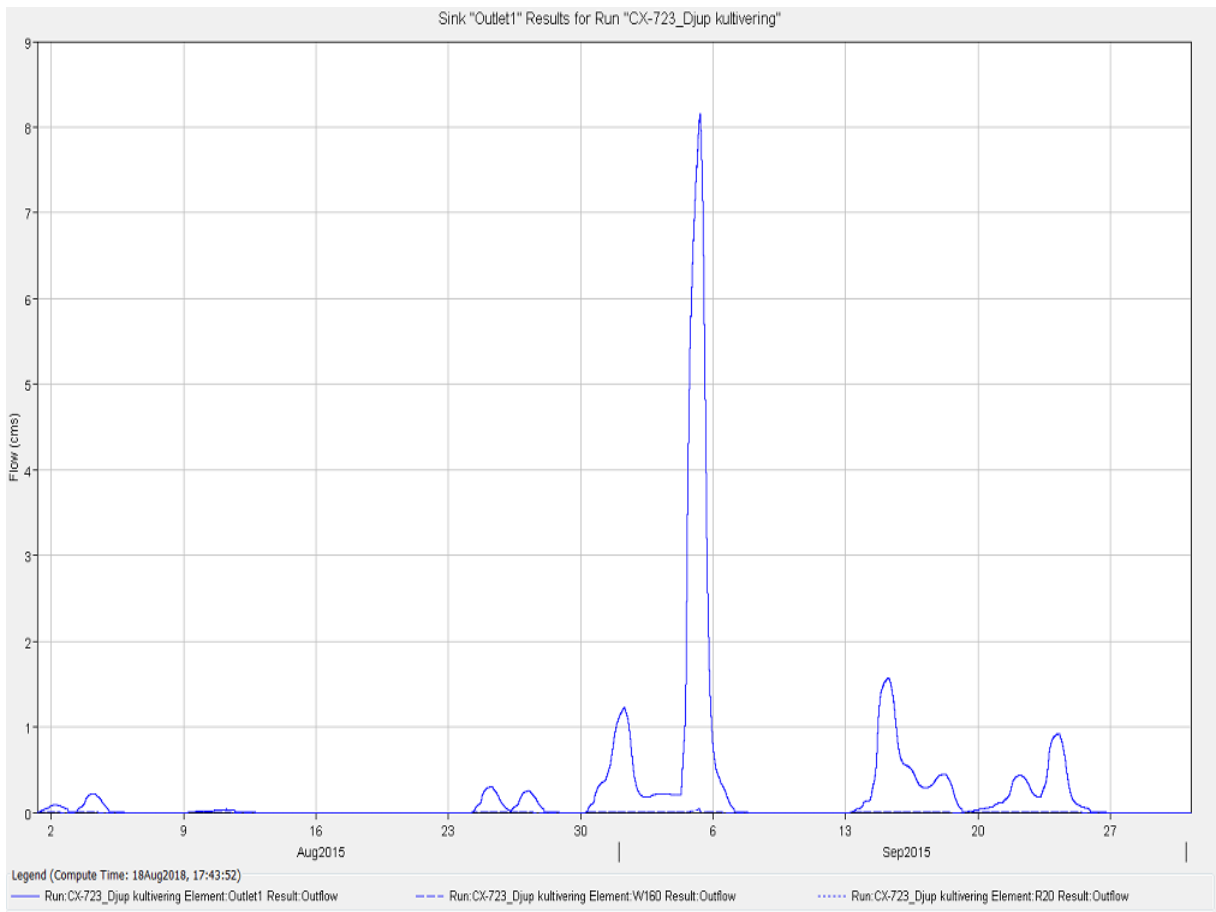
Figur C.1: Vattenflöde för 60 % reducerat CN, fördubblad fördröjningstid och beräknad initial absorption med faktorn 0.02.



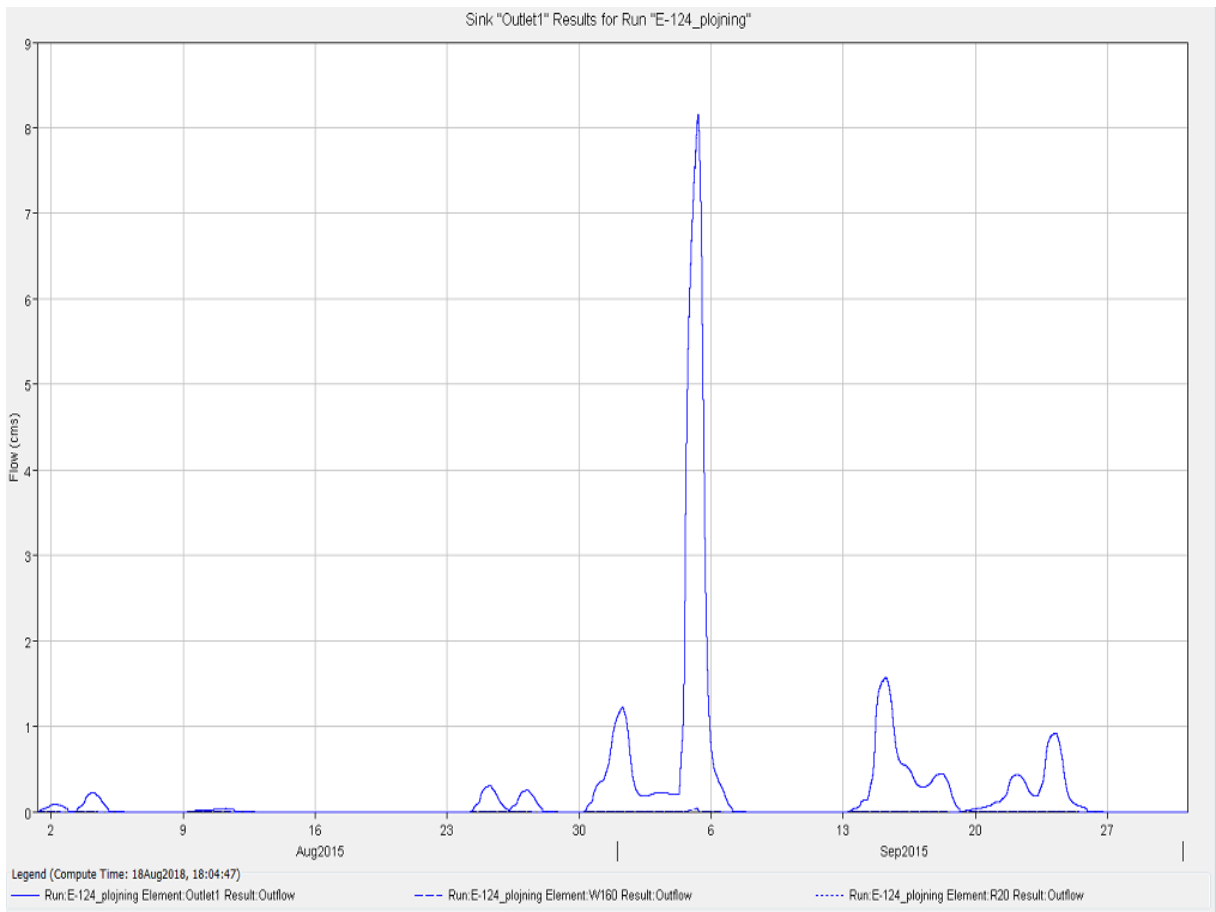
Figur C.2: Modellerad avrinning för 40 % av CN och beräknad initial absorption med faktorn 0.05.



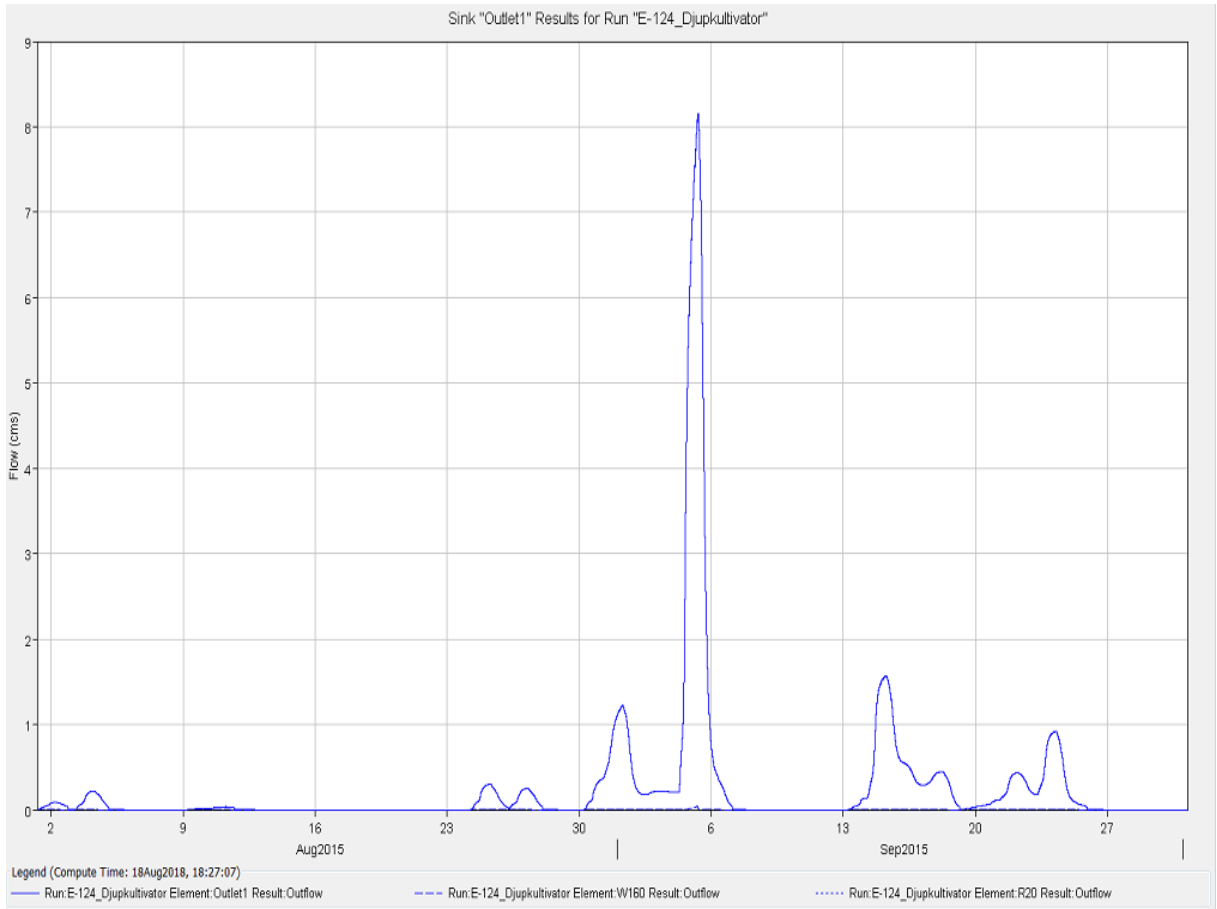
Figur C.3: Modellerad avrinning vid avrinningsområdet utlopp för serien CX-739 med mättad hydraulisk konduktivitet för bearbetningsmetoden grund kultivering.



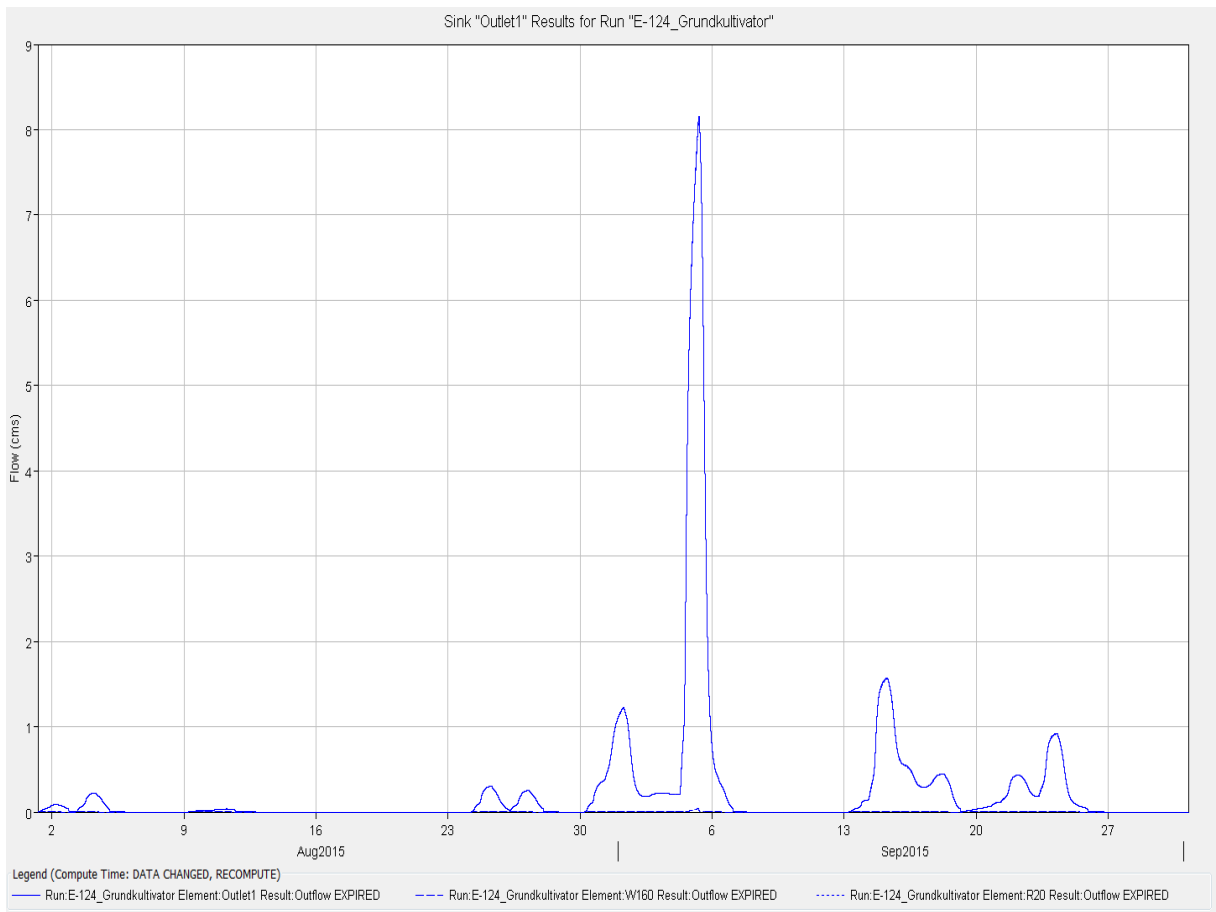
Figur C.4: Modellerad avrinning vid avrinningsområdet utlopp för serien CX-739 med mättad hydraulisk konduktivitet för bearbetningsmetoden djup kultivering.



Figur C.5: Modellerad avrinning vid avrinningsområdet utlopp för serien E-124 med mättad hydraulisk konduktivitet för bearbetningsmetoden plöjning.



Figur C.6: Modellerad avrinning vid avrinningsområdet utlopp för serien E-124 med mättad hydraulisk konduktivitet för bearbetningsmetoden grund kultivering.



Figur C.7: Modellerad avrinning vid avrinningsområdet utlopp för serien E-124 med mättad hydraulisk konduktivitet för bearbetningsmetoden djup kultivering.

Namn [år]	Plats	Jordart
Björn Roland [2003]	Loggården [Västergötland]	Lätt-styvlera
Oloaf Pålsson [2006]	Väby, Charlottenlund och Ultuna	Ej specificerat, lätt- styvlera
Niclas Sjöholm [2008]	Väby och Charlottenlund	Väby: Lerig / mjällig mo, Charlottenlund: Sandig mo
Tobias Wejde [2011]	Säby, Vreta kloster och Brunnby	Ej specificerat
Fredrik Sörensson [2015]	Skåne, Väderstad, Uppsala, Örebro och västerås	Se rapport
Johan Arvidsson och Fredrik Sörensson [2013]	Flera olika ställe	Se rapport

Figur C.8: Del 1/2. Sammanställning av de generella slutsatserna som kunde dras mellan konventionell och reducerad bearbetning från rapporterna som undersökte skillnader mellan olika bearbetningsmetoder. Plustecknet beskriver vilken metod som har lett till bättre egenskaper, se figur C.9 för del 2.



Namn [år]	Markfysikaliska parametrar	Djup i jorden	Konventionell plöjning	Reducerad jordbearbetning
Björn Roland [2003]	Genomsläpplighet	15-20 cm	+	
		25-30 cm	+	
		50-55 cm		+
	Penetrationsmestånd	Mitt - nedre del av matjorden		+
Oloaf Pålsson [2006]	Genomsläpplighet	0-15 cm	+	
		Penetrationsmestånd	generellt genom jorden	+
		Genomsläpplighet	10-15 cm	+
		22-27 cm	Charlottenlund +	Väby +
Niclas Sjöholm [2008]	Penetrationsmestånd	Charlottenlund (generellt) 0-30 cm	+	
		Genomsläpplighet	7-12 cm	+
		Penetrationsmestånd	20-25 cm (generellt)	+
Tobias Wejde [2011]	Andel stora aggregat (> 5 mm)	Såbädd		+
		Vattenhalt	Såbädden och såbotten	+
Fredrik Sörensson [2015]	Genomsläpplighet (generellt): Plöjning vs tallriksredskap	7-12 cm	+	
		Penetrationsmestånd	Generellt genom jorden	+
		Vattenhalt	Såbädden	
Johan Arvidsson och Fredrik Sörensson [2013]	Genomsläpplighet	7-12 cm	+	
		Penetrationsmestånd	5-15 cm	+

Figur C.9: Del 2/2. Sammanställning av de generella slutsatserna som kunde dras mellan konventionell och reducerad bearbetning från rapporterna som undersökte skillnader mellan olika bearbetningsmetoder. Plustecknet beskriver vilken metod som har lett till bättre egenskaper.