

Master Thesis
TVVR 20/5016

Hur kan infiltration i åkermark beskrivas vid skyfallskartering?

How can infiltration in arable soil be described in cloudburst mapping?

Anna Hilgers
Linnea Ahl



Hur kan infiltration i åkermark beskrivas vid skyfallskartering?

How can infiltration in arable soil be described in cloudburst mapping?

By:
Anna Hilgers
Linnea Ahl

Master Thesis

Division of Water Resources Engineering
Department of Building & Environmental Technology

Lund University
Box 118
221 00 Lund, Sweden

Water Resources Engineering
TVVR-20/5016
ISSN 1101-9824

Lund 2020
www.tvrl.lth.se

Master Thesis
Division of Water Resources Engineering
Department of Building & Environmental Technology
Lund University

Swedish title: <Hur kan infiltration i åkermark beskrivas vid skyfallskartering?>
English title: <How can infiltration in arable soil be described in cloudburst mapping?>
Author(s): <Anna Hilgers >
< Linnea Ahl>
Supervisor: <Magnus Persson; Michael Butts; Gunnar Svensson>
Examiner: <Linus Zhang>
Language <Swedish>
Year: 2020
Keywords: <skyfallmodellering; skyfallskartering; infiltration; jordbruksmark; åkermark; modellering>

Förord

Detta arbete avslutar vår utbildning till civilingenjörer i ekosystemteknik med inriktning mot vattenresurshantering och har kommit till under 20 veckor vårterminen 2020. Arbetet har skrivits hos avdelningen Vatten på Tyréns i Malmö och hade aldrig varit möjligt utan den utrustning, i form av bland annat datorer och programlicenser, som lånats till oss av företaget. Examensarbetet hade inte heller varit detsamma utan det varma mottagandet och den trivsamma atmosfären vi mötts av på avdelningen.

Vi vill rikta ett särskilt stort tack till vår handledare på Tyréns, Gunnar Svensson, som genom hela arbetet väglett och bistått oss med sin kunskap och expertis. Tack också till Michael Butts vid avdelningen för Teknisk Vattenresurslära på Lunds tekniska högskola, för råd och återkoppling gällande programvarorna och karteringens utformning. Slutligen vill vi tacka Helena Vikingson och Mikael Dunér på Tyréns för att de tålmodigt besvarat åtskilliga frågor som dykt upp och hjälpt oss med de många problem vi stött på i modelleringsprocessen.

Abstract

The report investigated how infiltration in arable soil can be described in a cloudburst mapping. Based on a literature study of the properties and nature of arable soil, a suit of infiltration parameters was decided upon. A rainfall runoff model over urban Ystad and adjacent arable land was conducted through the construction of several models in the software Mike Flood. Further, coarse runoff calculations and simple computations in the platform Scalgo Live were made in order to enable analysis and evaluation. The description of the infiltration appeared acceptable, even though several uncertainties could be identified. The results revealed that the specific description of infiltration in arable soil, where the distinct nature of the arable soil was considered, resulted in a larger runoff and hence a lesser risk of underestimating consequent flooding. However, in the case of Ystad the runoff from arable land had no large impact on the magnitude of urban flooding, which can partly be attributed well-planned culverts and ditches.

Sammanfattning

I denna rapport undersöktes hur infiltration i åkermark kan beskrivas i en skyfallskartering. Utifrån en fördjupad litteraturstudie av åkermarkens egenskaper och särart valdes en uppsättning parametrar för att beskriva dess infiltration. En skyfallskartering över Ystad tätort och omkringliggande åkermark genomfördes sedan genom konstruktion av flertalet modeller i programvaran Mike Flood. Även översiktliga avrinningsberäkningar och enklare kartering i plattformen Scalgo Live utfördes för att möjliggöra analys och utvärdering. Beskrivningen av infiltrationen tycktes godtagbar, även om åtskilliga osäkerheter kunde identifieras. Resultatet visade även att en specifik beskrivning av infiltrationen i åkermark, där hänsyn tas till åkermarkens särart, resulterade i en större avrinning och därmed en mindre risk för att underskatta påföljande översvämningar. I fallet med Ystad hade avrinningen från åkermark dock ingen större inverkan på översvämningens utbredning i tätorten, vilket till viss del kan tillskrivas en välplanerad kulvertering och dikning.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1. Bakgrund.....	1
1.1.1. Skyfall.....	1
1.1.2. Åkermarkens infiltration och avrinning	3
1.1.3. Skånes geologi och åkermark	3
1.1.4. Ystad.....	5
1.2. Syfte.....	6
1.2.1. Avgränsningar	6
2. Litteraturstudie	9
2.1. Jordars egenskaper	9
2.1.1. Jordarter och texturklasser.....	9
2.1.2. Genomsläpplighet	11
2.1.3. Porositet.....	15
2.1.4. Mättnadsgrad.....	16
2.2. Matjord på åkermark	20
2.2.1. Matjordens textur och geografiska variation	21
2.2.2. Genomsläpplighet och porositet.....	22
2.2.3. Mättnadsgrad.....	27
2.2.4. Mäktighet.....	29
2.3. Diskussion och slutsatser	29
2.3.1. Infiltrationslager och kartunderlag.....	30
2.3.2. Genomsläpplighet i matjorden.....	30
2.3.3. Genomsläpplighet i plogsulan.....	32
2.3.4. Matjordens porositet.....	33
2.3.5. Matjordens mättnadsgrad	33
2.3.6. Matjordens mäktighet.....	35

3.	Metod och modeller	37
3.1.	Metod.....	37
3.2.	Programvaror	40
3.3.	Infiltration i Mike 21	41
3.4.	Värden på infiltrationen i åkermark	42
3.5.	Modellerna	43
3.5.1.	Bussjö	45
3.5.2.	Hedeskoga.....	46
3.5.3.	Västra.....	48
3.5.4.	Djupadal.....	50
3.5.5.	Ystad tätort.....	51
4.	Resultat.....	53
4.1.	Modeller utifrån litteraturen.....	53
4.1.1.	Bussjö	53
4.1.2.	Hedeskoga.....	55
4.1.3.	Västra.....	56
4.1.4.	Djupadal.....	58
4.1.5.	Ystad tätort.....	60
4.2.	Avrinning enligt tid-area-metoden	62
4.3.	Högsta högvattenföring	63
4.4.	Tidigare erfarenheter från Ystad kommun	63
4.5.	Analyser i Scalgo	64
4.5.1.	Bussjö	64
4.5.2.	Hedeskoga.....	65
4.5.3.	Västra.....	66
4.5.4.	Djupadal.....	67
4.5.5.	Ystad tätort.....	68
4.6.	Modeller med Tyréns standardvärden	71

4.6.1.	Bussjö	71
4.6.2.	Hedeskoga.....	73
4.6.3.	Västra.....	75
4.6.4.	Djupadal.....	77
4.6.5.	Ystad tätort.....	79
5.	Diskussion	83
5.1.	Beskrivning av åkermark.....	83
5.2.	Infiltrationens betydelse.....	85
5.3.	Osäkerheter och korrektionsflöden	88
6.	Slutsatser	93
	Referenser	95
	Bilaga 1	105
	Bilaga 2	111
	Bilaga 3	113
	Bilaga 4	117

Figurförteckning

Figur 1. Jordartskarta över Skåne.....	4
Figur 2. Åkermarkskarta över Skåne.....	5
Figur 3. Terrängkarta över Ystad tätort.....	6
Figur 4. Klassificering enligt FAO.....	11
Figur 5. Fältkapacitet samt vissningsgräns	18
Figur 6. Karta över risk för torka i markvatten	20
Figur 7. Schematisk bild av infiltrationsmodellen	42
Figur 8. Samtliga modellområden	43
Figur 9. Modellområdet Bussjo mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta	45
Figur 10. Modellområde Bussjo mot bakgrund av Scalgos indelning av avrinningsområden	45
Figur 11. Flygfoto över modellområdet Bussjö	45
Figur 12. Inlagda kulvertar och dräneringsbrunnar i modellområdet Bussjö	45
Figur 13. Modellområdet Hedeskoga mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta	46
Figur 14. Modellområdet Hedeskoga mot bakgrund av Scalgos indelning av avrinningsområden	46
Figur 15. Flygfoto över modellområdet Hedeskoga	46
Figur 16. Inlagd kulvert och dräneringsbrunn i modellområdet Hedeskoga .	46
Figur 17. Modellområdet Västra, väster om Ystad tätort, mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta	48
Figur 18. Modellområdet Västra, väster om Ystad tätort, mot bakgrund av Scalgos indelning av avrinningsområden	48
Figur 19. Flygfoto över modellområdet Västra.....	48
Figur 20. Inlagd kanal vid viadukt i modellområdet Västra	48
Figur 21. Modellområdet Djupadal mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta	50
Figur 22. Modellområdet Djupadal mot bakgrund av Scalgos indelning av avrinningsområden	50
Figur 23. Flygfoto över modellområdet Djupadal	50
Figur 24. Inlagda kulvertar och dräneringsbrunnar i modellområdet Djupada	50

Figur 25. Modellområdet Ystad tätort mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta	51
Figur 26. Modellområdet Ystad tätort mot bakgrund av Scalgos indelning av avrinningsområden	51
Figur 27. Flygfoto över modellområdet Ystad tätort	51
Figur 28. Inlagda kulvertar och dräneringsbrunnar i modellområdet Ystad tätort.....	51
Figur 29. Maximala vattendjup i Bussjö.....	54
Figur 30. Volymflöde i kulverten från Bussjö till Djupadal	54
Figur 31. Maximala vattendjup i Hedeskoga	55
Figur 32. Volymflöde i kulverten från Hedeskoga till Djupadal	56
Figur 33. Maximala vattendjup i Västra	57
Figur 34. Volymflöde i viaduktundergången från Västra till Ystad tätort	57
Figur 35. Maximala vattendjup i Djupadal	59
Figur 36. Volymflöde i kulverten från Djupadal till Ystad tätort	60
Figur 37. Maximala vattendjup i Ystad tätort	61
Figur 38. Maximala vattendjup i de västra delarna av Ystad tätort	61
Figur 39. Maximala vattendjup i norra delen av Ystad tätort	62
Figur 40. Volymflöde i viaduktundergången mellan Västra och Ystad tätort enligt tid-areametoden	62
Figur 41. Volymflöde i kulverten från Djupadal till Ystad tätort enligt tid- areametoden	63
Figur 42. Översvämningar i Bussjö enligt Scalgos beräkningar	65
Figur 43. Översvämningar i Hedeskoga enligt Scalgos beräkningar	66
Figur 44. Översvämningar i Västra enligt Scalgos beräkningar	67
Figur 45. Översvämningar i Djupadal enligt Scalgos beräkningar	68
Figur 46. Översvämningar i Ystad tätort enligt Scalgos beräkningar	69
Figur 47. Översvämningar i de västra delarna av Ystad tätort enligt Scalgos beräkningar	70
Figur 48. Översvämningar i norra delen av Ystad tätort, vid inloppet från Djupadal, enligt Scalgos beräkningar.....	70
Figur 49. Maximala vattendjup i Bussjö enligt Tyréns standardvärden.....	72
Figur 50. Volymflöde i kulvert från Bussjö och Djupadal enligt Tyréns standardvärden	73
Figur 51. Maximala vattendjup i Hedeskoga enligt Tyréns standardvärden .	74

Figur 52. Volymflöde i kulverten från Hedeskoga till Djupadal enligt Tyréns standardvärden	75
Figur 53. Maximala vattendjup i Västra enligt Tyréns standardvärden	76
Figur 54. Volymflöde i viaduktundergången från Västra till Ystad tätort enligt Tyréns standardvärden	77
Figur 55. Maximala vattendjup i Djupadal enligt Tyréns standardvärden	78
Figur 56. Volymflöde i kulverten från Djupadal till Ystad tätort enligt Tyréns standardvärden	79
Figur 57. Maximala vattendjup i Ystad tätort enligt Tyréns standardvärden för infiltrationen.	80
Figur 58. Maximala vattendjup i de västra delarna av Ystad tätort enligt Tyréns standardvärden för infiltration.	80
Figur 59. Maximala vattendjup i norra delen av Ystad tätort, vid inloppet från Djupadal enligt Tyréns standardvärden för infiltrationen.	81
Figur 60. Vattenbalans för Bussjö, genererad från körning i Mike Flood med värden från litteraturen.	113
Figur 61. Vattenbalans för Hedeskoga, genererad från körning i Mike Flood med värden från litteraturen.	114
Figur 62. Vattenbalans för Västra, genererad från körning i Mike Flood med värden från litteraturen.	114
Figur 63. Vattenbalans för Djupadal, genererad från körning i Mike Flood med värden från litteraturen.	115
Figur 64. Vattenbalans för Ystad tätort, genererad från körning i Mike Flood med värden från litteraturen.	116
Figur 65. Vattenbalans för Bussjö, genererad från körning i Mike Flood med Tyréns standardvärden.	117
Figur 66. Vattenbalans för Hedeskoga, genererad från körning i Mike Flood med Tyréns standardvärden.	118
Figur 67. Vattenbalans för Västra, genererad från körning i Mike Flood med Tyréns standardvärden.	118
Figur 68. Vattenbalans för Djupadal, genererad från körning i Mike Flood med Tyréns standardvärden.	119
Figur 69. Vattenbalans för Ystad tätort, genererad från körning i Mike Flood med Tyréns standardvärden.	119

Tabellförteckning

Tabell 1. Jordartsklassificering	10
Tabell 2. Genomsläpplighet för månggraderade mineraljordarter.	11
Tabell 3. Genomsläpplighet för ensgraderade mineraljordarter.	12
Tabell 4. Genomsläpplighet i jordbruksmark	14
Tabell 5. Riktvärden för total porositet	16
Tabell 6. Total porositet.....	16
Tabell 7. Värden på genomsläpplighet och porositet	26
Tabell 8. Värden på genomsläpplighet i plogsula	26
Tabell 9. Värden på genomsläpplighet och porositet i matjord	27
Tabell 10. Maximal vattenkapacitet och fältkapacitet.....	28
Tabell 11. Antagen genomsläpplighet i matjord	31
Tabell 12. Antagen genomsläpplighet i plogsula.	32
Tabell 13. Antagen porositet i matjord.....	33
Tabell 14. Fältkapacitet, vissningsgräns och antagen mätnadsgrad för matjord.....	35
Tabell 15. Antagen mäktighet i matjorden	36
Tabell 16. Area och sjöprocent	39
Tabell 17. Justeringsfaktor, specifik medelvattenavrinning och vattenföringskvoter.....	39
Tabell 18. Porositet, mätnadsgrad, mäktighet, samt genomsläpplighet i matjord och plogsula	42
Tabell 19. Beräknad medelvattenföring, justerad högvattenföring, samt högsta högvattenföring	63
Tabell 20. Värden på mättad genomsläpplighet, porositet och mullhalt på olika djup i åkermark med olika textur.....	105
Tabell 21. Värden på mättad genomsläpplighet, porositet och mullhalt i matjord.....	111

1. Inledning

Vatten är en av de viktigaste komponenterna för liv. Men trots att vatten är en enorm resurs för oss kan det ställa till med problem när det befinner sig i stora mängder på fel ställen. Ett exempel på detta är översvämningar orsakade av havsnivåhöjning eller skyfall (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut [SMHI], 2019 a), vilka kan orsaka kostsamma skador på byggnader och infrastruktur. Ett sätt att utvärdera riskerna relaterade till skyfall, för att kunna vidta förebyggande åtgärder, är att utföra en skyfallskartering. En skyfallskartering är ett verktyg genom vilket sårbara områden kan identifieras (SMHI, 2018). En sådan kartering kan göras genom att exempelvis konstruera hydrauliska modeller som beskriver markavrinning och översvämningar (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap [MSB], 2017).

I Skåne omges städer inte sällan av åkermark (Region Skåne, 2009). I de fall städer har tillrinning från åkermark, kan det vara av betydelse att beskriva infiltrationen i denna på ett passande sätt i modellering. För att undersöka hur infiltrationen i åkermark kan beskrivas, vilken betydelse denna beskrivning har, och vilka parametrar som är osäkra, består detta arbete av en fördjupande litteraturstudie följt av skyfallskartering med olika parametervärden. Kartering görs över den skånska staden Ystad i programvaran Mike Flood med komponenterna Mike 21 och Mike Urban. Även kartering i Scalgo Live, samt översiktliga beräkningar av avrinning och högvattenföring, utförs för att besvara frågorna som ställs.

1.1. Bakgrund

För att förstå arbetets relevans och innehåll behövs viss fördjupad förståelse för företeelserna skyfall och infiltration. Även bakgrund om Skånes geologi och jordbruk, samt om Ystad, är en förutsättning för att förstå de karteringar och beräkningar som gjorts.

1.1.1. Skyfall

I takt med att klimatet förändras förväntas svenska samhällen allt oftare drabbas av extrema regn under sommarhalvåret (Svenskt Vatten, 2016, s. 15). Då ett regnevent uppgår till hela 50 mm/h eller 1 mm/min är det enligt SMHI:s (2019 b) definition så pass intensivt att det benämns skyfall. De senaste 20 åren har kraftiga skyfall drabbat många orter i riket. År 2014 drabbades sydvästra

Skåne, särskilt Malmö och Vellinge, av ett sådant. I centrala Malmö översteg regnet 100 års återkomsttid och i området kring Söderkullaskolan i Malmö var regnet som störst med 360 års återkomsttid (Svenskt Vatten, 2016, s. 24).

Ingen myndighet har övergripande ansvar för klimatanpassningen i Sverige, utan ansvaret att genomföra konkreta åtgärder ligger på kommuner och enskilda fastighetsägare (Svensk Försäkring, 2015). Enligt utslag i statens VA-nämnd sträcker sig kommunens ansvar till att kommunala dagvattenanläggningar ska vara utformade för att kunna ta emot regn med 10 års återkomsttid (Svenskt Vatten, 2016, s. 21). I samband med skyfall kraftigare än så är stadens dagvattensystems kapacitet alltså begränsad och vatten rinner istället av ovan mark och orsakar översvämningar. Skyfallet i Malmö 2014 resulterade i flera skadekrav mot VA-huvudmannen VA Syd på grund av källaröversvämningar (MSB, 2017, s. 45). Det resulterade också i omfattande samhällsskador vars kostnader uppgick till 600 miljoner kronor, bland annat på grund av att stadens färdtjänstflotta förstördes då parkeringen där de stod översvämmades (TT, 2018). För att undvika sådana situationer ligger det i kommuners intresse att se över sin beredskap för extrema regnhändelser.

Genom skyfallskartering kan samhällens sårbarhet för skyfallsrelaterade översvämningar analyseras innan de inträffar. Detta genom att till exempel dynamiskt simulera markavrinningen med en tvådimensionell hydraulisk modell. I en sådan kartering av markavrinning förutsätts att rörsystemen är fyllda och ett representativt schablonmässigt avdrag görs därför från regnvolymen. En sådan modell är lämplig och kostnadseffektiv för ett regn med en återkomsttid på 100 år eller mer, men är inte lämplig för mindre regn, samt har vissa begränsningar så som att lokala kapacitetsbrister inte tas i beaktning och lokala översvämningar därmed riskerar att underskattas eller överskattas (MSB, 2017, s. 23). Sådana modeller kan byggas och köras i exempelvis programmet Mike 21.

Då en skyfallskartering utförs genom hydraulisk modellering är resultatet av karteringen avhängigt de antaganden om och förenklingar av verkligheten som görs. Det finns en del vägledning i hur en skyfallskartering kan utföras. Två exempel på detta är *Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet* (2014) samt *Vägledning för Skyfallskartering* (2017) utgivna av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). För en del

modellparametrar saknas dock riktvärden, och modellerarna får göra egna bedömningar utifrån sin kunskap och erfarenhet.

1.1.2. Åkermarkens infiltration och avrinning

En av parametrarna i en översvämningsmodellering är jordens infiltrationskapacitet, vilken beror på bland annat geologi och markanvändning (Svensson, 2012, ss. 70-71). I en modell i Mike 21 beskrivs infiltrationen av fem parametrar; jordmånens infiltrationshastighet, mäktighet, porositet och mättnadsgrad, samt perkolationen vidare ner i jordpelaren (DHI, 2017 b). Eftersom hårdgjorda ytor vanligtvis har en försumbar infiltrationskapacitet genereras ofta stor avrinning i städer (MSB, 2017; Stockholm Stad, 2019). I genomsläppliga ytor i staden bedöms dock hela 25 % av regnet kunna infiltrera vid ett 100-årsregn (MSB, 2017). Infiltrationen kan alltså vara viktig för resultatet, särskilt i områden med mycket permeabel yta.

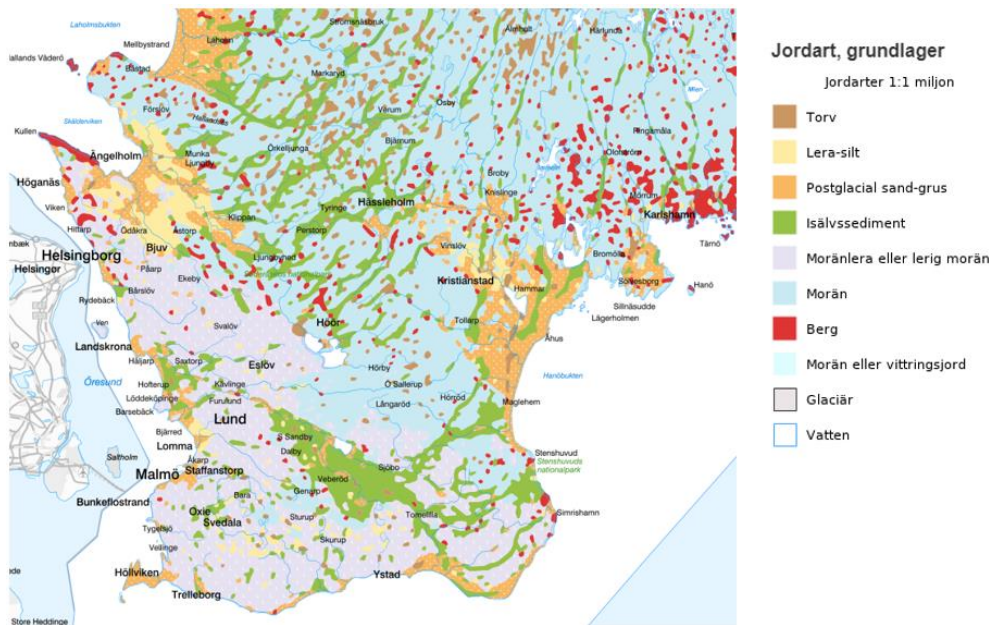
Vid skyfallskartering ligger ofta fokus på en tätort. I vissa fall kan dock även omkringliggande mark bidra med avrinning in till städer och i jordbruksintensiva delar av landet är det inte ovanligt att åkermark omger en tätort. Ifall avrinningen ifrån åkermark inkluderas i en skyfallskartering kan det vara viktigt att göra realistiska antaganden om infiltrationen i denna. Samtidigt är beskrivningen av åkermarkens infiltrationskapacitet ofta inte lika lättbedömd som för exempelvis grönytor i staden. Detta beror på att avrinningen från åkermark mer sällan inkluderas i en skyfallskartering och att det därför inte finns något standardiserat tillvägagångssätt för att beskriva denna. Avrinning ifrån åkermark kan ske ovan mark såväl som under mark. Eftersom åkrar vanligtvis är flacka och ligger lågt i terrängen, dräneras de ofta för att undvika översvämnningar. Denna dränering kan ske genom dikning eller kulvertering (Wallentin, o.a., 2016). Den skånska tätorten Ystad är ett exempel på en stad som omges av åkermark, och där kulverterad dränering från denna leds in i tätorten.

1.1.3. Skånes geologi och åkermark

Sveriges jordartsgeologi har formats och omformats av de många inlandsisar som i olika geologiska tidsåldrar täckt landet. 75% av landets yta täcks idag av morän, en sorterad jordart bestående av olika kornfraktioner, vilket är ett resultat av den senaste inlandsisen (Andréasson, 2006). Även i Skåne dominerar morän i det översta jordlagret. Dock så skiljer sig lerhalten åt i olika delar av Skåne, då moränen i nordöstra Skåne är lerfattig medan den i sydvästra Skåne är lerrik. Dessa skillnader beror på att landisens rörelseriktning skiftade

kraftigt under den senare delen av den sista istiden, så att isälvarna strömmat och avsatt material relativt komplext (Larsson, 2000).

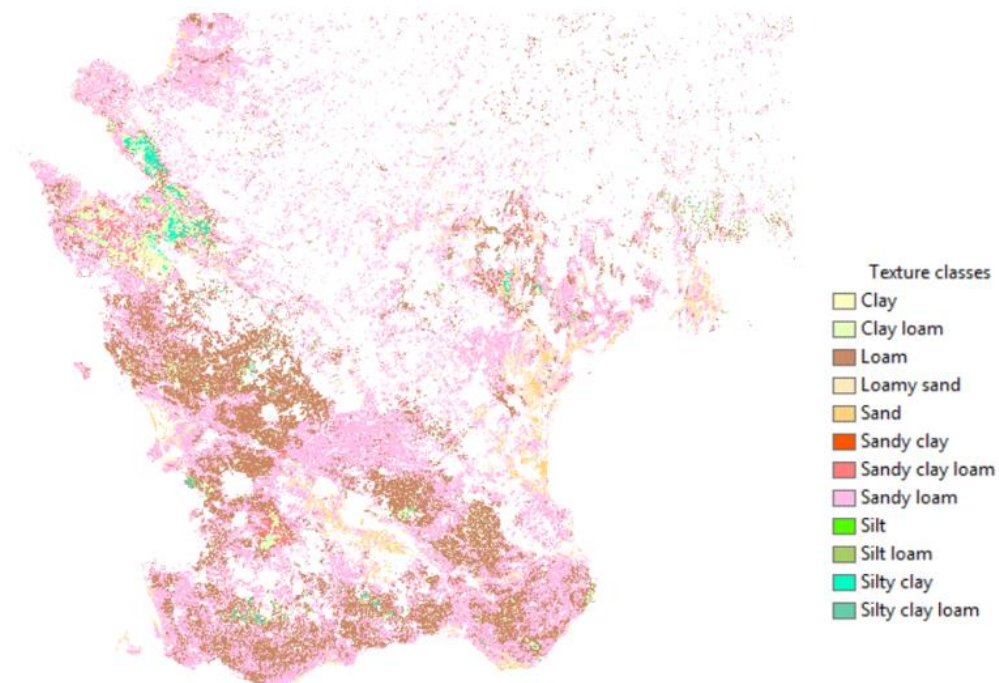
Vid den senaste istidens slut tros en större isälv med smältvatten från inlandsisen ha gått genom Vombsänkan och vidare mot Öresund och då avlagrat större kornfraktioner så som sand och grus (Andréasson, 2006; Holmberg & Johansson, 1986). Avrinningen tros ha skett i ett flätflodssystem och det finns även teorier om att issjöar dämts upp i sänkan i olika stadier (Holmberg & Johansson, 1986). Dessa processer har resulterat i att området kring Vombsänkan domineras av sorterade sediment i form av framför allt issjösand och isälvssediment. Även i de centrala nordliga delarna av Skåne återfinns ett nät av isälvssediment. Delar av Skåne har legat under vatten då havsnivån senast var som högst, de ligger alltså under den så kallade högsta kustlinjen (HK), och domineras idag av sand och lera. Detta är extra tydligt för två områden; kring Ängelholm på västkusten och kring Kristianstad på östkusten. Figur 1 visar en jordartskarta över Skåne, där dessa iakttagelser framgår.



Figur 1. Jordartskarta över Skåne (Sveriges Geologiska Undersökning, u.å. b).

Skåne är ett jordbruksintensivt län och sett till avkastning är åkermarken den bästa i Sverige. Ungefär hälften av Skånes mark används som åkermark, vilket

särskiljer länet från resten av riket då åkermark endast täcker totalt 8 % av ytan i Sverige (Region Skåne, 2009). I Figur 2 nedan visas Sveriges Geologiska Undersöknings (SGU) digitala åkermarkskarta över Skåne, vilken täcker åkermark och ger information om markens textur (Söderström & Piikki, 2016). Från figuren framgår att stora delar av Skåne är mycket jordbruksintensiva, samt att texturklasserna *sandy loam* och *loam* dominerar.



Figur 2. Åkermarkskarta över Skåne.

1.1.4. Ystad

Ystad är en tätort belägen i Ystad kommun på Skånes sydkust. Tätorten hade år 2018 en folkmängd på 19 705 personer och en yta på 1 093 hektar (SCB, 2019). Kommunen är i likhet med andra delar av Skåne jordbruksintensiv, vilket syns tydligt i Figur 3. Geologin är varierad och kring tätorten dominerar jordarterna postglacial sand, morängrovlera och moränlera. Precis som i resten av Skåne domineras åkermarken av texturklasserna *sandy loam* och *loam*.



Figur 3. Terrängkarta över Ystad tätort med omkringliggande åkermark (Lantmäteriet, u.å.).

1.2. Syfte

Syftet med detta arbete är att utreda hur infiltrationen i åkermark kan beskrivas, vilken betydelse denna beskrivning har, samt vilka osäkerheter som föreligger, vid skyfallskartering. Infiltration beskrivs i programmet Mike 21 med parametrar så som genomsläpplighet, porositet, mättnadsgrad och mäktighet. Denna uppsats ämnar därför att svara på frågorna:

- Hur kan infiltrationen i åkermark beskrivas i en skyfallskartering i Mike 21?
- Hur viktig är beskrivningen av infiltration i åkermark vid skyfallskartering?
- Kring vilka parametrar råder det stor osäkerhet?

1.2.1. Avgränsningar

Arbetets inriktning är mot infiltration i åkermark. Infiltration i annan mark, så som grönytor och skog, undersöks inte. Vidare ligger fokuset på infiltrationens roll i skyfallskartering, medan infiltrationens roll vid kartering av översvämningar orsakade av exempelvis havsnivåhöjning eller stora vårflöden

inte behandlas. Arbetet består av en fallstudie över Ystad tätort och omkringliggande åkermark. Av denna anledning har Skånes geologi och klimat varit i fokus. Skyfallskartering genomförs i programvaran Mike Flood med komponenten Mike 21 och beskrivning av infiltration utgår därför endast ifrån de parametrar som ingår i en modell i detta program.

De aspekter av den hydrologiska cirkeln som tagits i beaktning i modellerna är regn, infiltration, markvattenmagasinerings, perkolation och markavrinning. Då skyfall sker under en relativt kort och intensiv period är inte evapotranspirationen, även kallat avdunstningen, modellerad. Den genomsnittliga avdunstningen i Skåne ligger kring 0,06 mm/h, vilket medför att den bör ha en ytterst marginell effekt under ett skyfallsevent (SMHI, 2009; 2013). Hydrologiska processer så som grundvattenmagasinerings, grundvattenflöde, snömagasinerings, snösmältning och vattenupptag av växter modelleras inte i Mike 21 (DHI, 2017 b).

2. Litteraturstudie

Infiltration varierar kraftigt för olika jordar och omständigheter. Den översta jordmånens genomsläpplighet, porositet, mäktighet och mätnadsgrad är fyra exempel på faktorer som påverkar infiltrationen i viss mark och vanligtvis inkluderas i en skyfallsmodell i Mike 21. Även genomsläppligheten i den djupare jorden är en faktor som tas i beaktning i modellen. Därmed är dessa fem parametrar högst relevanta att studera och välja ut passande värden för.

2.1. Jordars egenskaper

De ovan nämnda parametrarna genomsläpplighet, porositet och mätnadsgrad påverkas i stor utsträckning av jordens särskilda egenskaper. Det är därför av vikt att ta reda på hur dessa parametrar skiljer sig mellan olika jordarter och texturklasser.

2.1.1. Jordarter och texturklasser

Jordarten ger information om både bildningsätt och innehåll. De naturliga jordarterna delas enligt SGU in i grupperna mineraljordarter och organiska jordarter (Svensson, 2012, s. 44). Mineraljordarterna har bildats genom nedbrytning av mineral och bergarter och indelas efter kornfördelning, eller textur, vilket innefattar kornfraktion såväl som gradering (Svensson, 2012, s. 68). Kornfraktionen utgör storleksintervallet, medan graderingen talar om hur heterogen jordarten är. En månggraderad jordart är alltså mer heterogen, medan en ensgraderad jordart är mer homogen (Svensson, 2012, s. 76). De organiska jordarterna har istället bildats genom avlagring av döda växter och djur och indelas efter endast bildningsprocess. Två viktiga organiska jordarter är gyttja och torv (Svensson, 2012, s. 67). Dessa innehåller som gruppnamnet avslöjar mycket organiskt material i form av humusämnen, vilket har stark påverkan på jordens mekaniska egenskaper. Kännetecknande för de organiska jordarterna är att de är mycket kompressibla. Porvolymen kan vara över 95 % av den totala volymen, men dessa jordar kan också pressas ihop till en bråkdel av sin ursprungliga volym (Larsson, 2008).

Det kornfördelningssystem som idag används av Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) är från Svensk Geoteknisk Förenings laboratoriekommitté och spänner över huvudgrupperna block, sten, grus, sand, silt och ler. Moräner är jordarter som innehåller flera olika kornfraktioner och benämns därmed som månggraderade jordarter, medan sediment som är mer välsorterade benämns ensgraderade (Larsson, 2008). Den indelning som

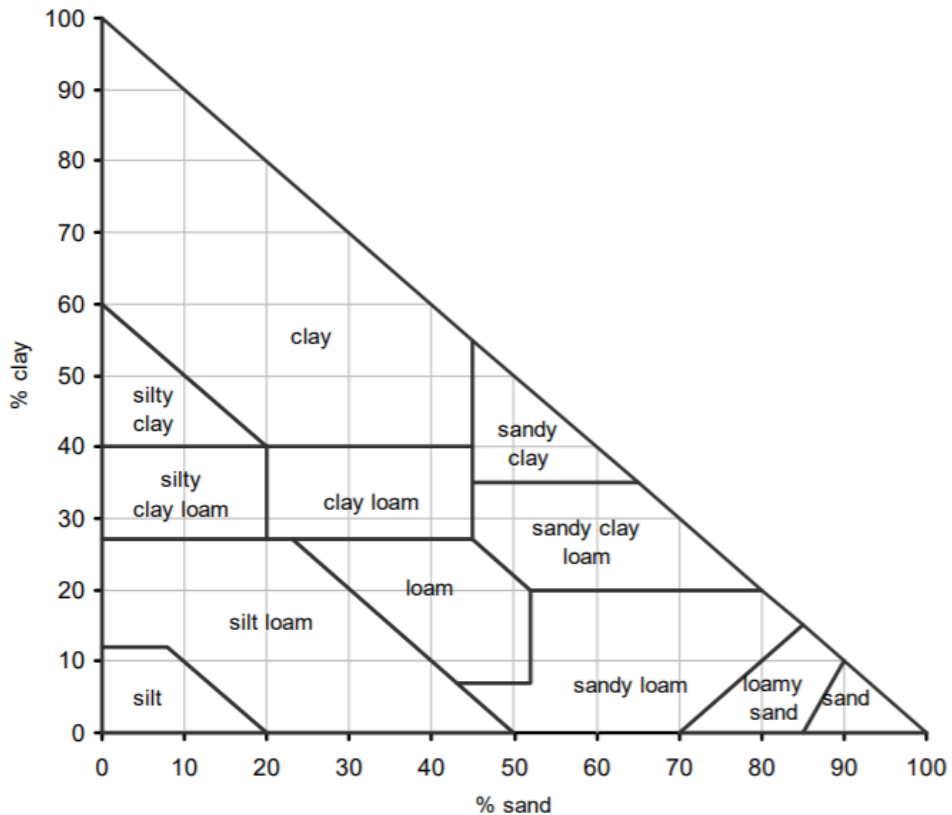
används av SGU skiljer sig dock från den som används av Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) gällande benämning av jordarter med olika lerhalt (Sohlenius & Eriksson, 2009), vilket visas schematiskt i Tabell 1 nedan.

Tabell 1. Jordartsklassificering med avseende på lerhalt enligt SGU respektive SLU

Lerhalt [%]	SGU	SLU
<5	Lerfri eller svagt lerig jordart	Lerfri eller svagt lerig jordart
5-15	Lerig jordart	Lerig jordart
15-25	Grovlera	Lättlera
25-40	Finlera	Mellanlera
40-60	Finlera	Styv lera
>60	Finlera	Mycket styv lera

Kommentar. Hämtad från "Kan SGUs kornstorleksdata användas för modellering av utlakning och andra miljörelaterade frågeställningar?" av G. Sohlenius och J. Eriksson, 2009.

Ett annat klassificeringssystem som förekommer är ifrån Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) och baseras på jordarternas innehåll av ler, silt och sand (Sohlenius & Eriksson, 2009). FAO-systemet visas i Figur 4 nedan. Detta system skiljer sig ifrån det svenska i stor utsträckning. Klassificeringen som SGU använder utgår både ifrån bildningssätt och textur, samt tar hänsyn till innehållet av grus, medan FAO-systemet endast baseras på textur och då bara utgår från innehållet av sand, ler och silt. Det finns betydligt fler klasser för att beskriva de finkorniga jordarterna i FAO-systemet. Vidare används i FAO-systemet exempelvis termen *loam*, vilken saknar motsvarighet i klassificeringssystemet som SGU använder, om relativt osorterade jordar (Sohlenius & Eriksson, 2009).



Figur 4. Klassificering enligt FAO. Innehåll av lera (clay) och sand visas på respektive axel, medan siltinnehåll beräknas från de två förra (Sohlenius & Eriksson, 2009).

2.1.2. Genomsläpplighet

Genomsläppligheten hos en jord är relaterad till dess sammanhängande hålrumsvolym. De minsta kornfraktionerna silt och ler saknar näst intill sammanhängande hålrumsvolym och har därför mycket låg genomsläpplighet, medan de större kornfraktionerna har en högre genomsläpplighet (Svensson, 2012, s. 71). I Tabell 2 och Tabell 3 nedan presenteras teoretisk genomsläpplighet för månggraderade respektive ensgraderade jordarter.

Tabell 2. Genomsläpplighet för månggraderade mineraljordarter.

Moräner (månggraderad jord)	Genomsläpplighet [m/s]
Grusig morän	$10^{-5} - 10^{-7}$
Sandig morän	$10^{-6} - 10^{-8}$
Siltig morän	$10^{-7} - 10^{-9}$

Lerig morän	$10^{-8} - 10^{-10}$
Moränlera	$10^{-9} - 10^{-11}$

Kommentar. Hämtad från ”Jords egenskaper”, av R. Larsson, 2008.

Tabell 3. Genomsläpplighet för ensgraderade mineraljordarter.

Sediment (ensgraderad jord)	Genomsläpplighet [m/s]
Fingrus	$10^{-1} - 10^{-3}$
Grovsand	$10^{-2} - 10^{-4}$
Mellansand	$10^{-3} - 10^{-5}$
Finsand	$10^{-4} - 10^{-6}$
Grovsilt	$10^{-5} - 10^{-7}$
Mellansilt-finsilt	$10^{-6} - 10^{-8}$
Lera	$<10^{-9}$

Kommentar. Hämtad från ”Jords egenskaper” av R. Larsson, 2008.

För grovkorniga jordar har man funnit att permeabiliteten främst påverkas av kornstorleken. Sambandet mellan kornstorlek och permeabilitet är dock inte användbart i leriga jordarter (Larsson, 2008). Jordarten lera har, vilket framgår i Tabell 3, en mycket låg teoretisk genomsläpplighet. Som ovan nämnt beror detta på att de mycket små lerpartiklarna kan bilda en tät struktur med få sammanhängande porer (Svensson, 2012, s. 71). Generellt kan infiltrationen i lerjord som inte är uttorkad antas vara ringa eller obefintlig (Knutsson & Morfeldt, 1973, s. 16).

När lerjordar torkar ut krymper dock leret, vilket resulterar i en öppnare makrostruktur av aggregat som avgränsas från varandra med fina sprickor. Ju högre lerhalten är desto kraftigare och stabilare aggregat bildas (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 29). Den faktiska genomsläppligheten hos lera kan därmed vara betydligt högre än den teoretiska ifall makrostrukturen tillåter detta. En öppen lerstruktur är emellertid mer kompressibel och kan förändras under belastning till en struktur med mindre aggregat och porer. Organiskt innehåll i leran skapar en mer öppen och därmed än mera kompressibel struktur (Larsson, 2008). Siltjordar kännetecknas av en god vattenhållande förmåga och hög kapillär stighöjd (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 39). De bildar i likhet med lerorna en aggregatstruktur (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 29) som dock är mycket svag (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 104).

Vid uttorkning, tjälning eller vittring kan en så kallad torrskorpa bildas i de övre lagren hos fina jordar (Larsson, 2008). Exempelvis kan instabila aggregat falla sönder vid regn och när jorden torkar bildas en kompakt skorpa (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 31). På mellanleror och styva leror spricker dock skorpan lätt upp när leret krymper, vilket resulterar i en genomsläpplig makrostruktur (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 40; Larsson, 2008). En övre grundvattenvåning kan då skapas när vatten infiltrerar i dessa sprickor (Knutsson & Morfeldt, 1973, s. 16). Skorpbildning kan dock vara ett problem hos siltiga jordar och även lättleror, eftersom det inte sker någon betydande sprickbildning när jorden torkar upp (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 39). Mycket styva leror torkar sällan ut eftersom de är mycket vattenhållande (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 41).

En lermorän, eller moränlera, är en osorterad jordart med >40% finjord, det vill säga silt och ler, varav finjorden består av >20% ler (Larsson, 2008). Moräner med en lerhalt på 5 – 15 % har av SGU klassats som leriga (Sohlenius & Eriksson, 2009). Lermoräner och lerig morän är täta jordarter som förekommer framför allt i närheten av områden med finkornig, sedimentär berggrund, så som i Skåne (Larsson, 2000), vilket framgår av Figur 1. Kornstorleksfördelningen i lermorän kan variera kraftigt. Den finkorniga lermorän som återfinns längst Skånes väst- och sydkust kan ha en lerhalt på upp till 40% med endast blygsamt innehåll av sand och grus. Lermoränens månggradering leder till att porvolymen är liten, med en total porositet som i undersökningar har varierat mellan 0,2 och 0,6. Dessutom är den, på grund av istrycket den legat under vid bildningen, ofta en mycket fast och tät lagrad jordart, vilket medför att den sällan är särskilt kompressibel. Mättnadsgraden i de naturliga lermoränerna ligger därmed ofta kring 80 – 100%. Genomsläppligheten är låg och nederbörd påverkar enligt mätningar endast jorden ner till ett ringa djup under en uppsprucken eventuell torrskorpa (Larsson, 2000).

Intervallvärden för genomsläpplighet i jordbruksmark från Food and Agriculture Organisation of the United Nations (2007) presenteras i Tabell 4 nedan. Av tabellen framgår att genomsläpplighet i texturerna *clay* och *heavy clay loam*, vilka är jordarter med hög lerhalt, är starkt beroende av ifall jorden är uppsprucken eller ej.

Tabell 4. Genomsläpplighet i jordbruksmark med olika textur och struktur.

Texture	Structure	Hydraulic conductivity [mm/h]
Clay, heavy clay loam	Massive, very fine or fine columnar	0,42-2,08
	With permanent cracks	> 417
Clay, clay loam, silty clay, sandy clay loam	Very fine or fine prismatic, angular blocky or platy	0,42-4,2
Clay, silty clay, sandy clay, clay loam, sandy clay loam, silt loam, silt, sandy clay	Fine and medium prismatic, angular blocky and platy	4,2-16,7
Light clay loam, silt, silt loam, very fine sandy loam, loam	Medium prismatic and subangular blocky	12,5-42
Fine sandy loam, sandy loam	Coarse subangular block and granular, fine crumb	42-126
Loamy sand	Medium crumb	67-250
Fine sand	Single grain	67-250
Medium sand	Single grain	> 250
Coarse sand and gravel	Single grain	> 250

Kommentar. Bearbetad från "Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems" av W.H. Van der Molen, J. Martínez Beltrán och W.J. Oschs, 2007.

Gyttja bildas då organiskt material sedimenterar på botten av sjöar och hav. Den organiska gyttjan har ofta sedimenterat tillsammans med ler- och finsilt (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 23). Gyttjejordar, så som gyttja och lergyttja, kännetecknas av en hög total porositet (>60%), vattenhållande egenskaper och för bildning av permanenta sprickor i dränerat tillstånd

(Berglund, Miller, & Persson, 1989). Sprickbildningen i gyttjeleror är särskilt kraftig i jämförelse med andra leror, eftersom gyttjemassans krympning är stor och ofta permanent (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 175). I en undersökning av dessa egenskaper utförd av SLU har provtagning och analys av gyttjejordar vid olika platser i landet utförts. Genomsläppligheten för gyttjelera varierade mellan 0,7 mm/h och 222,5 mm/h i olika mätpunkter och för ren gyttja gjordes endast en analys där genomsläppligheten i snitt var 64,5 mm/h. Resultaten varierade alltså kraftigt i provpunkterna. Rapportens författare menade utöver detta att genomsläppligheten i fält är genomgående högre än den uppmätta, eftersom permanenta sprickor undvikits vid provtagning. Gyttjelera och gyttja är i ren form jordarter med mycket låg permeabilitet, men ändå var genomsläppligheten i vissa fall mycket hög tack vare ett permanent spricksystem, gamla roststabiliserade rotsystem, samt vissa stora porer (Berglund, Miller, & Persson, 1989).

Torv består av organiska rester av vegetation som växt på markytan och är en vanlig övre jordart i stora delar av Sverige. I naturligt tillstånd har torv en genomsläpplighet i intervallet $10^{-5} - 10^{-7}$ m/s (Carlstén, 1989) och en torvjords totala porositet kan uppgå till hela 80-90 % (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 103). Torv är dock väldigt kompressibelt och vid belastning minskar denna genomsläpplighet och porositet snabbt. Vid 50 % komprimering kan genomsläppligheten mycket väl vara endast en tusendel av den ursprungliga (Carlstén, 1989).

2.1.3. Porositet

En jords porositet är dess hålrumsvolym, vilken oftast är fylld med luft eller vatten. Samtlig hålrumsvolym utgör alltså den totala porositeten. Med effektiv porositet avses den sammanhängande hålrumsvolymen (Svensson, 2012, s. 71). Från denna effektiva porositet kan så kallat fritt vatten, eller dränerbart vatten, dräneras under inflytande av tyngdkraften. Det bundna vattnet, eller ej dränerbara vattnet, är istället det vattnet som är bundet i porerna av kapillära, adsorptiva och osmotiska krafter (Knutsson & Morfeldt, 1973, ss. 11-12).

Små kornfraktioner har en hög total porositet, men en låg effektiv porositet, då dess struktur innebär att de många hålrum som finns är små och isolerade. Större kornfraktioner har däremot en lägre total porositet, men en generellt högre effektiv porositet, då de färre hålrummen i större utsträckning är sammanhängande (Svensson, 2012, s. 70). Månggraderade jordarter har en

lägre total porositet eftersom de finare kornen kan fylla hålrummen mellan de större (Fetter, 2018, s. 71). Porositet beror dock också på bland annat packningsgrad och kornens form (Svensson, 2012, s. 70). En jordart är sällan fullständigt sorterad och homogen och kommer dessutom ha olika packningsgrad, vilket medför att porositeten kan variera. I Tabell 5 är intervallvärden på total porositeten hos olika jordarter presenterade enligt Sundberg (1991) och i Tabell 6 enligt Fetter (2018, s. 75).

Tabell 5. Riktvärden för total porositet för olika jordarter.

Jordart	Total porositet
Lera, hög lerhalt	60 – 75%
Torrskorpelera, hög lerhalt	45 – 55%
Lera, siltig	45 – 60%
Torrskorpelera, siltig	45 – 55%
Silt	30 – 60%
Sand, grus	25 – 50%
Moränlera	25 – 50%
Morän	15 – 45%
Torv	80 – 95%

Kommentar. Bearbetad från ”Termiska egenskaper i jord och berg” av J. Sundberg, 1991.

Tabell 6. Total porositet hos några vanliga jordarter.

Sediments	Porosity ranges
Well-sorted sand or gravel	25 – 50%
Sand and gravel, mixed	20 – 35%
Glacial till	10 – 20%
Silt	35 – 50%
Clay	33 – 60%

Kommentar. Hämtad från ”Applied Hydrogeology” av C.E. Fetter, 2018, s. 75.

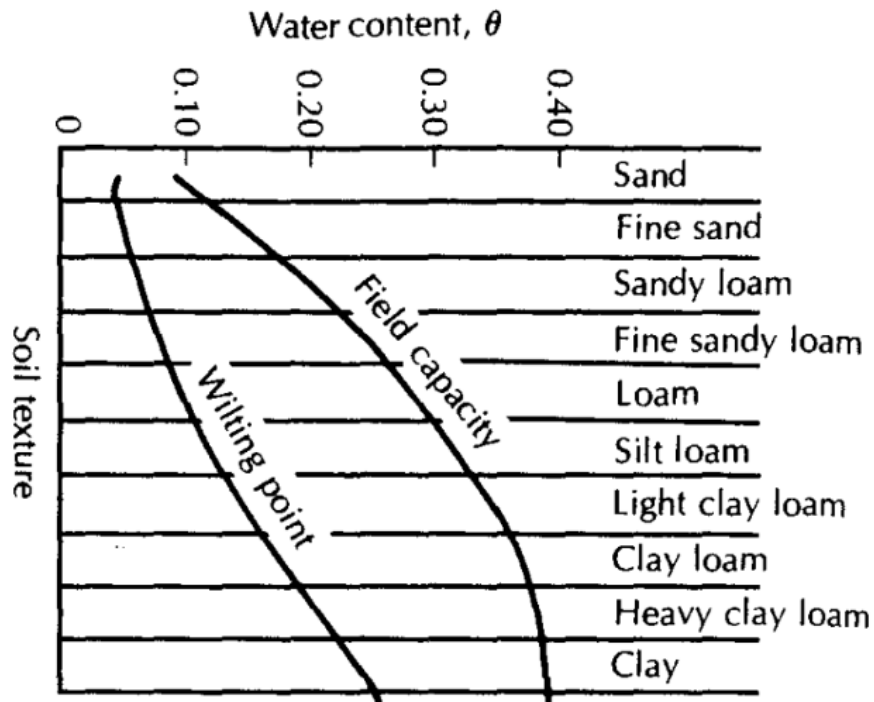
2.1.4. Mättnadsgrad

Mättnadsgraden i jorden berättar hur stor del av materialet som är vattenfyllt. Denna parameter beror förstås på jordartens kornfördelning, men även på klimat, årstid och väder eftersom infiltration av nederbörd ökar mättnadsgraden medan uttorkning minskar den (Svensson, 2012, ss. 73-74). Tre vanliga begrepp för att beskriva vattenhalten i jord är maximal vattenkapacitet, fältkapacitet och permanent vissningsgräns.

Vid den maximala vattenkapaciteten är jordens totala porositet fylld med vatten, den är alltså helt mättad. Sådan är vattenhalten under grundvattennivån, samt i de övre jordlagren efter längre regnperioder (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 154).

Fältkapaciteten, även kallat vattenhållningstalet, är den största möjliga mängd vatten som marken, genom kapillära, adsorptiva och osmotiska krafter, kan hålla emot tyngdkraften. Fältkapaciteten har nåtts då fri dränering av en helt vattenmättad jordpelare avtagit, vilket innebär att fältkapaciteten är skillnaden mellan maximal vattenkapacitet och effektiv porositet (Knutsson & Morfeldt, 1973, s. 12). När fältkapaciteten är nådd är de större porerna luftfyllda. De mindre porerna är vattenfyllda närmre grundvattenytan, men andelen luft i dessa ökar längre upp i profilen. Fältkapaciteten för mineraljord varierar från några få % till 45 % (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 154). Värden på fältkapacitet för olika texturer ifrån U.S. Department of Agriculture, refererad i Fetter (2018, s. 228), illustreras i Figur 5. Dräneringen genom gravitationen fortsätter dock i en lägre hastighet över en längre tid, vilket gör konceptet fältkapacitet aningen diffust (Fetter, 2018, s. 226). Mättnadsgraden fortsätter på grund av evapotranspiration att sjunka under fältkapaciteten, vilket i längden kan resultera i en mycket torr jord ifall vatten inte tillförs (Fetter, 2018, s. 228).

Den permanenta vissningsgränsen nås då vattnet i marken inte längre är tillgängligt för växter då det är för hårt bundet i små porer (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 155). Skillnaden mellan fältkapaciteten och den permanenta vissningsgränsen kallas således för det växttillgängliga vattnet (Knutsson & Morfeldt, 1973, s. 11). Eftersom den permanenta vissningsgränsen bestäms av jordens innehåll av små porer påverkas den i regel inte av bearbetning, utan varierar med framför allt med innehåll av ler och humus (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 155). Värden på permanent vissningsgräns för olika texturer, ifrån U.S. Department of Agriculture, refererad i Fetter (2018, s. 227), illustreras tillsammans med fältkapacitet i Figur 5.



Figur 5. Fältkapacitet samt vissningsgräns (Field capacity respektive Wilting point) för olika texture från U.S. Department of Agriculture, refererad i Fetter (2018, s. 228).

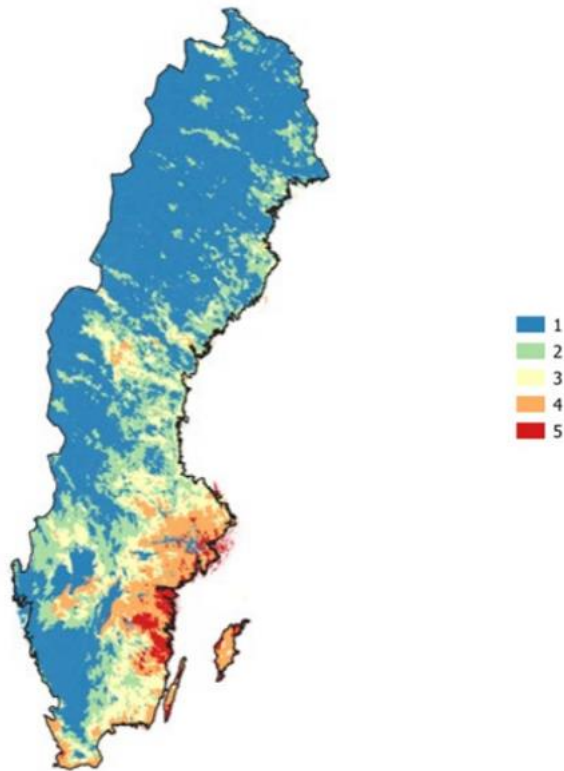
Under sommaren är evapotranspirationen generellt hög, vilket leder till att jorden torkar ut. Enskilda större regn ökar mätnadsgraden tillfälligt, men grundvattennivån och därmed mätnadsgraden i jorden, ligger fortsatt lågt. Mot hösten minskar växternas transpiration kraftigt och i kombination med höstregn ökar mätnadsgraden. Under vinter och vår ligger mätnadsgraden fortsatt högt till följd av fortsatt nederbörd och låg evapotranspiration (Fetter, 2018, s. 227). Mätnadsgradens exakta årscykel skiljer sig förstås åt inom landet på grund av bland annat skillnader i snösmältning och årstidernas varaktighet. I en undersökning av markfuktighetens variation i åkermark i Ukraina, vilken sträckte sig över fem år och involverade 211 fält, uppskattades markfuktigheten ligga mellan vissningsgränsen och fältkapaciteten ca 90 % av tiden (Wagner, Lemoine, & Rott, 1999).

I en rapport för SMHI av Lindström (1987) konstateras att en låg mätnadsgrad sommartid minskar risken för kraftig avrinning vid extrema regn. I flera områden i Sverige tycks flödena vid extrema regn vara något lägre på

sommaren, då det finns ett betydande underskott i markfuktighet, gentemot våren och hösten då det inte finns någon betydande underskott i markfuktighet och häftiga regn dessutom kan sammanfalla med snösmältning. Detta trots att de mest extrema regnen framför allt inträffar under sommaren. Jorden i Skåne är dock generellt fin och tät och det sker ingen omfattande snösmältning, men rapporten understryker likväl vikten av att ta hänsyn till magasineringen i marken.

Klimatscenarier för framtiden visar att en lägre markfuktighet kommer bli allt vanligare. Anledningen till detta kommer framför allt vara förlängd växtsäsong och ökad avdunstning i ett varmare klimat (Sjökvist, Abdoush, & Axén, 2019). Redan idag bedöms en del områden i Sverige löpa en hög risk att drabbas av torka med avseende på markvatten (Stensen, Krunegård, Rasmusson, Matti, & Hjerdt, 2019), vilket illustreras i Figur 6 nedan. Från figuren framgår det att det föreligger en sådan risk längst bland annat den sydsvenska kusten, där Ystad ligger.

Riskklass markvatten



Figur 6. Karta över risk för torka i markvatten, baserat på klimat, markens magasinerande förmåga och vattenanvändning. 1 representerar en låg risk medan 5 representerar en hög risk (Stensen, Krunegård, Rasmusson, Matti, & Hjerdt, 2019).

2.2. Matjord på åkermark

Matjorden är det mullrika lagret närmast jordytan i åkermark. Begreppet mull avser här organiskt material i form av humus. Den högre mullhalten bidrar till en stabilare struktur, högre porositet och högre genomsläpplighet (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, ss. 42-43). Matjorden är inte en egen jordart, utan dess sammansättning varierar med jordarterna i närområdet. Den kan ha olika kornfördelning och humustillgångar (Wallander, o.a., 2016, s. 37), vilket i sin tur ger matjorden olika infiltrationshastighet, porositet och mättnadsgrad (Svensson, 2012, ss. 70-71). Under det mullrika matjordslagret ligger den så kallade alven.

Utmärkande för matjord på åkermark är bland annat att den gödslas, överkörs av tunga maskiner samt bearbetas genom bland annat plöjning (Wesström, Geranmayeh, Joel, & Ulén, 2016). En del lerjordar struktureras dessutom för att stabilisera marken (Kvarmo, o.a., 2019). Bildningen av torrskorpa med torksprickor i lerjordar, som behandlades i avsnitt ”2.1.2 Genomsläpplighet”, är mest framträdande i matjorden och i alvens översta del. Dessa delar är under de torra sommarmånaderna genomdragna av sprickor som ofta medför en god genomsläpplighet, medan den djupare jorden är ständigt vattenmättad och tät. Som nämnt uppstår inte samma sprickbildning i siltjordar (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, ss. 174-175).

Problem med tjäle uppstår då jorden fryser och vattnet i jorden volymutvidgas (Svensson, 2012, s. 83). Jordbearbetning i form av tjäle, harvning, sådd, ogräsbekämpning och skörd kommer inte heller diskuteras i detalj, även om all form av jordbearbetning bör ha viss påverkan på matjordens egenskaper.

2.2.1. Matjordens textur och geografiska variation

Som ovan nämnt så varierar matjordens sammansättning med jordarterna i närområdet. I en rapport från Naturvårdsverket konstateras att drygt hälften av Sveriges åkerareal har ett lerinnehåll >15% och alltså klassas som leror. 22 % är lättleror, 18 % mellanleror, 12 % styva leror och 3 % mycket styva leror. När jordarterna istället klassas enligt FAO är *sandy loam* den vanligaste jordarten på svensk åkermark. Humusinnehållet ligger på i genomsnitt 4 %. Skånes jordartsfördelning skiljer sig i vissa aspekter. I östra Skåne är sandjordar i form av exempelvis moränsand vanligt, medan siltiga moränlättileror är den vanligaste jordarten i sydvästra Skåne. Enligt FAO-klassificering är det dock precis som i riket *sandy loam* som dominerar. Humushalten ligger lågt, <3%, i delar av Skåne, bland annat i Ystad (Eriksson, Andersson, & Andersson, 1999).

Jordartskartor ifrån SGU visar jordartsfördelningen på ett djup av 0,5 m (Sveriges Geologiska Undersökning, 2018), medan det i denna studie är den ytliga matjordens jordartsfördelning som är av allra störst intresse. I en rapport från SGU undersöktes ifall kornstorlek i den underliggande alven kunde användas för att uppskatta matjordens textur på åkermark. Undersökningen hade fokus på Skåne och Mälardalen och visade bland annat att det var små skillnader i kornstorlekssammansättning mellan matjord och alv i de skånska moränjordarna.

De områden som klassades som moränlera enligt jordartskarta hade också en högre lerhalt i matjorden än de som klassades som endast morän. Det poängterades dock att merparten av provpunkterna var tagna i områden ovanför HK, vilket innebär att de inte påverkats av de kustprocesser som kunnat svallat ur de finaste sedimenten (Sohlenius & Eriksson, 2009). Den stora majoriteten av områdena som ingår i denna studie ligger likaså över HK och bör inte heller påverkats nämnvärt av sådana processer. På postglaciala och glaciala leror var lerhalten betydligt högre i alven än i matjorden, vilket misstänks bero på att de överlagrats av tunna lager av grovkornigare sediment så som sand och silt. På sandjordar visade undersökning tvärtom att lerhalten var något högre i matjorden än i alven, vilket förmodas bero på att en kraftigare vittring av mineralkornen skett i matjorden. I rapporten dras slutsatsen att SGU:s detaljerade jordartskartor kan användas som ett underlag vid kartläggning av jordmån, men att bildningen av jordmån också styrs av andra faktorer än modermaterialen (Sohlenius & Eriksson, 2009).

Den digitala åkermarkskartan togs fram genom ett samarbetsprojekt mellan SLU och SGU och släpptes 2016 som en allmänt tillgänglig produkt. Kartprodukten bygger på jordprovtagning och modellering och ger detaljerad information om matjordens textur och texturklass, med en upplösning på 50 meter, enligt FAO-systemet (Söderström & Piikki, 2016).

Till följd av jordbearbetning och jorderosion sker en högre grad av uppblandning av jordmånen, det vill säga matjorden, i jordbruket. Ytterligare en process som förändrar matjordens sammansättning är påläggning av ny matjord. I Ystadstrakten har bönder tidigare hämtat slamjord från sockerbruket och lagt på sina sandiga åkrar, vilket har resulterat i ett lerhaltigt jordskikt ovanpå den tidigare sandiga jorden. Ett annat exempel är när bönder i sydvästra Skåne med åkrar som blivit översandade av flygsand vänt på jorden så att matjorden återigen hamnat överst och sanden överlagrats (Sarnäs, 2008, s. 30).

2.2.2. Genomsläpplighet och porositet

Jordens genomsläpplighet och porositet beror på dess kornfraktion (Svensson, 2012, ss. 70-71). Även bearbetningen av jorden, i form av bland annat gödsling, packning, och plöjning, påverkar dess egenskaper.

2.2.2.1. Gödsling

De allra flesta åkermarker gödslas och denna gödsel kan vara i form av bland annat mineralgödsel, stallgödsel, biogödsel eller avloppsslam. Innehållet i gödseln varierar, men ofta handlar det om näringsämnen så som kväve, fosfor och kalium, samt organiskt material. Gödseln sprids således över den uppodlade markytan med syftet är att tillföra näring och öka mullhalten i matjorden (Kvarmo, o.a., 2019).

Organiskt material bidrar i olika utsträckning och på olika sätt till bildning av aggregat och har därmed stor effekt på stabiliteten hos dessa aggregat (Tisdall & Oades, 1982). En högre mullhalt har visat sig bidra till en större skillnad mellan fältkapacitet och vissningsgräns, det vill säga bättre vattenhållande egenskaper (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 43). Dock har fallstudier på hur organiskt kol påverkar jordens vattenhållande egenskaper gett olika resultat. En meta-studie utförd av Minasny & Mcbratney (2018) visade på att tillsats av organiskt kol i form av exempelvis slam, kompost och gödsel på åkermark kunde bidra till högre porositet och fältkapacitet, men att denna effekt inte var betydande. Effekten var mer uttalad i den underliggande alven, till skillnad från den övre matjorden. En möjlig förklaring till detta menar författarna är att matjordens egenskaper i högre utsträckning påverkas av själva brukandet och bearbetningen av jorden.

2.2.2.2. Packning

Åkermark som brukas i modernt skandinaviskt jordbruk överfars vanligtvis flera gånger per år av tunga fordon i form av traktorer och maskiner. Detta görs vid bland annat gödsling, besprutning, sådd och skörd. Detta är också en form av jordbearbetning som, så länge marken inte är mycket torr och hård, resulterat i att matjorden och ofta också undre lager packas (Håkansson, 2000, s. 7). Under matjordslagret, i den så kallade alven, är jorden normalt hårdare packad med en högre densitet och mindre porositet (Arvidsson, 2014). Packningen innebär att framför allt grova porer, så som maskkanaler, gamla rotkanaler, sprickor och håligheter, minskar i storlek. Eftersom det är dessa grova porer som bidrar mest till genomsläppligheten minskar denna kraftigt (Håkansson, 2000, s. 41).

Packning består i att jordpartiklarna under tryck flyttar sig och bildar en tätare struktur med mindre porositet. Packningsgraden beror på vilket tryck jorden utsätts för, men också hur väl jorden motstår trycket (Jones, Spoor, &

Thomasson, 2003). Den förra faktorn avgörs av vilken slags bearbetning av jorden som sker, vilket i sin tur påverkas av bland annat vilken gröda som odlas. Var punkt på fälten överfars exempelvis i snitt minst fyra gånger per år vid spannmålsodling men hela sex till åtta gånger per år vid sockerbetsodling (Håkansson, 2000, s. 7). Jordens förmåga att motstå packning beror däremot på dess kohesion eller friktion. I kohesionsjordar, så som leror och leriga jordarter, är det molekylära krafter som håller samman partiklarna. I friktionsjordar, så som sandjordar, hålls partiklarna istället på plats av framför allt friktion mellan partiklarna. Generellt är friktionsjordar mer lättpackade. Månggraderade jordarter, så som morän, är normalt sett redan mycket täta och därför inte så mottagliga för packning, medan organiskt material däremot är mycket lättpackat (Jones, Spoor, & Thomasson, 2003).

Plöjning, tjälning, biologisk aktivitet samt förändringar i vattenhalt är processer som luckrar upp matjorden igen. På en lerfattig matjord är packningens verkan kompenserad för efter en vintertjäle och en plöjning, men på leriga matjordar består en del av packningens verkan i upp till fem år (Håkansson, 2000, s. 23). Den djupare jorden förblir dock än mer varaktigt packad eftersom de uppluckrande processerna inte är särskilt intensiva här. På ett jorddjup större än 40 cm i lerjordar respektive 30 cm i grövre jordar tycks packningen bli permanent (Håkansson, 2000, s. 38).

2.2.2.3. Konventionell plöjning

Åkermark i Sverige bearbetas konventionellt med plöjning (Wesström, Geranmayeh, Joel, & Ulén, 2016), det vill säga att en plog dras genom matjorden och vänder på jordtiltor. Plöjningen brukar bearbeta ett lager på 20 - 30 cm (Frisk, 2019) och syftet är bland annat att luckra upp jorden för att förbättra förutsättningarna för rottillväxt (Arvidsson, 2014). Detta innebär dock inte nödvändigtvis att genomsläpligheten är lägre i oplöjd matjord eftersom det i sådan jord kan bildas mer kontinuerliga porer, så som maskgångar (Arvidsson, 2014). Effekten av konventionell plöjning på jordens struktur är fortfarande omtvistad. Infiltrationen kan öka av att torrskorpor och täta jordlager bryts, fördjupningar görs i markytan och makroporer skapas. Dock kan infiltrationen också minska av att markstrukturen försämras (Wesström, Geranmayeh, Joel, & Ulén, 2016). Studier i Skandinavien har visat på att genomsläpligheten här ökar i den delen av matjorden som plöjs (Arvidsson, 2014).

2.2.2.4. Reducerad jordbearbetning

Omkring en fjärdedel av Sveriges åkermark plöjs idag inte på traditionellt vis. I en ytterst liten andel av dessa bearbetas inte jorden alls, men i de flesta fall är det frågan om en reducerad jordbearbetning, vilket innebär att man bearbetar till ett mindre djup samt inte vänder på jorden i samma utsträckning (Frisk, 2019). På lerrik matjord har en reducerad jordbearbetning resulterat i att ett sammanhängande system av grova porer kunnat utvecklas i jorden precis under bearbetningsdjupet, i den så kallade plogsulan, trots packning orsakad av tunga maskiner. Detta har lett till en ökad genomsläpplighet i matjordens bottenlager och alvens översta del. På sandjord har däremot inte samma makroporer bildats, utan istället har plogsulan packats hårt (Håkansson, 2000, s. 68). Den del av matjorden som inte längre plöjs vid övergång till ett reducerat bearbetningsdjup förtätas dock normalt (Arvidsson, 2014).

2.2.2.5. Strukturkalkning av lerjordar

Strukturkalkning i lerjordar resulterar i att lerpartiklarna bildar fler och stabilare aggregat. Den effektiva porositeten kommer då öka till följd av att det bland annat bildas ett finmaskigt nät av sprickor (Berglund & Blomquist, 2015). Sedan 2010 är det möjligt att söka finansiellt stöd för strukturkalkning av lerig åkermark och under de påföljande sju åren har stöd utbetalats till strukturkalkning av 42 000 hektar. Kustnära lerjordar har prioriterats (Geranmayeh, 2017). Ytterligare mark bör förstås ha strukturkalkats med finansiellt stöd under de senaste åren och en del mark kan möjligtvis ha strukturkalkats utan finansiellt stöd. Det bedöms dock finnas hela 1 260 000 hektar åkermark med en lerhalt högre än 15% i landet (Geranmayeh, 2017), vilket innebär att det ännu endast är ett fåtal procent av sådan åkermark som strukturkalkats.

2.2.2.6. Uppmätta värden

SLU har sedan år 2003 genomfört en omfattande studie av markpackning. Bland annat porositet och mättad genomsläpplighet i matjord och alv har mätts upprepade gånger inom ett långtgående övervakningsprogram. I en sammanfattande rapport av Etana (2019) presenteras resultat ifrån mätningar under åren 2003 - 2018 på 30 svenska åkermarker. I

Bilaga 1 återfinns en sammanställning av de uppmätta värdena på porositet och genomsläpplighet från de senaste undersökningarna på respektive fält, tillsammans med information om matjordens klass enligt SGU:s klassificering och FAO-systemet. I Tabell 7 nedan sammanfattas medelvärden och intervallvärden för porositet och mättad genomsläpplighet i matjorden för de olika representerade FAO-klasserna. I Tabell 8 sammanfattas istället medelvärde och intervallvärden för mättad genomsläpplighet i plogsulan. Värdena för matjord är hämtade på ett djup av 10 - 15 cm, medan värden för plogsula på ett djup av 30 - 35 cm.

Tabell 7. Värden på genomsläpplighet och porositet i matjord med olika textur.

Textur (FAO)	Mättad genomsläpplighet [mm/h]			Porositet [%]		Antal provfält
	Medel	Median	Intervall	Medel	Intervall	
Clay	138,8	10,2	0-1020	52,5	49-58,6	8
Silty clay	74,2	37,7	0,5-221	49,4	44,6-55	4
Silty clay loam	154,0	-	-	47,0	-	1
Clay loam	11,3	11,3	9,3-13,4	46,9	40,6-52	3
Silt loam	68,6	13,3	6,5-186	49,7	46-54	3
Loam	6,0	4,6	0,1-15	46,5	40-52	9
Sandy loam	4,2	-	2,8-5,6	41,5	39-44	2

Kommentar. Bearbetad från ”Undersökning av markpackning” av A. Etana, 2019.

Tabell 8. Värden på genomsläpplighet i plogsula med olika textur.

Textur (FAO)	Mättad genomsläpplighet [mm/h]			Antal provfält
	Medel	Median	Intervall	
Clay	4,1	0,5	0 - 17,8	10
Silty clay	6,4	0,8	0,1 - 18,2	3
Silty clay loam	19,5	3,8	1,2 - 69,0	4
Clay loam	10,0	0,2	0,1 - 29,7	3
Silt loam	0,5	-	0,1 - 0,8	2
Loam	4,4	4,2	1 - 08,4	4
Sandy loam	1,9	1,6	1 - 3,3	4

Kommentar. Bearbetad från ”Undersökning av markpackning” av A. Etana, 2019.

Av mätvärdena som presenteras i Tabell 7 och Tabell 8 framgår att särskilt genomsläppligheten kan variera betydligt inom en viss texturklass. Detta är

föga förvånande med tanke på tidigare resonemang om bland annat packning, torrskorpor, sprickbildning och utveckling av makroporer. Att medianvärdet ofta ligger markant lägre än medelvärdet tyder på att ett mindre antal särskilt höga värden riskerar att ge en felaktig bild av genomsläppligheten. Porositeten varierar inom ett mindre intervall och en tydlig trend med högre porositet i matjord med högre halt ler kan noteras, vilket stämmer väl med teorin.

Under åren 1970 - 75 undersöktes ett antal jordprover från dansk åkermark, och i en rapport av Hansen (1976) presenteras resultaten ifrån dessa undersökningar. I

Bilaga 2 återfinns en sammanställning av de uppmätta värdena på porositet och mättad genomsläpplighet i matjorden, tillsammans med information om matjordens klass enligt FAO-systemet. Endast värden hämtade på normalt plogdjup har inkluderats, medan uppmätta värden från plogsula och alv har utelämnats. Detta eftersom mätningarna har många år på nacken och inte med säkerhet kan anses representativa för dagens markstruktur. Även om det moderna maskinella jordbruket var på plats på 70-talet, finns misstankar om att det i dagens jordbruk sker en än större packning av djupare jordlager (Håkansson, 2000; Moberg, 2001). I Tabell 9 nedan sammanfattas medelvärden och intervallvärden för porositet och mättad genomsläpplighet i matjorden, för de olika representerade FAO-klasserna.

Tabell 9. Värden på genomsläpplighet och porositet i matjord med olika textur.

Textur (FAO)	Mättad genomsläpplighet [mm/h]			Porositet [%]		Antal provfält
	Medel	Median	Intervall	Medel	Intervall	
Silt loam	64,8	-	-	54,9	-	1
Sandy loam	20,9	18	3,6-43,2	39,4	37,4-42,9	5
Loamy sand	25,2	-	3,6-46,8	48,4	46,3-50,4	2
Fine sand	68,4	-	-	44,1	-	1
Coarse sand	142,2	-	122,4-162	43,0	42,5-43,4	2

Kommentar. Bearbetad från ”Jordtyper ved Statens Forsøgsstationer” av L. Hansen, 1976.

Även bland de danska värdena varierar genomsläppligheten betydligt inom en viss texturklass. I klassen *sandy loam* kan det noteras att medianvärdet ligger lägre än medelvärdet, medan de andra klasserna har för få uppmätta värden för att kunna dra ytterligare slutsatser. Porositeten varierar inom ett mindre intervall och ligger generellt lågt för de grövre danska texturklasserna, vilket stämmer väl med teorin.

2.2.3. Mättnadsgrad

Fältkapaciteten beror framför allt på jordens kornfraktion och struktur. Eftersom jordstrukturen påverkas av bearbetning kan matjordens fältkapacitet skilja sig ifrån fältkapaciteten i annan jordmån (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 154). Kultiverad jord innehåller mer makroporer än vad deras okultiverade motsvarighet (Arshada, Franzluebbbersb, & Azooza, 1999), vilket innefattar en högre total porositet samt infiltrationsförmåga för en jordart, men samtidigt även en sämre fältkapacitet då mikroporstrukturen är sämre

utvecklad (Gozubuyuk, Sahin, Ozturk, Celik, & Adiguzel, 2014; Bruschi Gonçalves, Gloagen, Folegatti, Libardi, & Montes, 2010)

Vid nederbörd mätts ofta inte jorden till fältkapaciteten, eftersom en stor del av nederbörden dräneras genom marken utan att undantränga all luft i de mindre porerna (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 154). Vid en kortvarig översvämning kommer dock marken vara helt vattenmättad under 1 - 3 dagar och vid en långvarig översvämning ännu längre (Wesström, Geranmayeh, Joel, & Ulén, 2016).

Eriksson, Nilsson och Simonsson (2005, s. 154) har presenterat några bestämningar av maximal vattenkapacitet och fältkapacitet för fem olika svenska jordar, vilka presenteras i Tabell 10. Ett av områdena är betesmark och övriga åkermark. Från mätningarna framgår bland annat att alven i de fyra lerjordarna har en liknande maximal vattenkapacitet och fältkapacitet. Det framgår också att matjorden i den leriga betesmarken har en högre maximal vattenkapacitet och fältkapacitet än matjorden i de leriga åkermarkerna. Detta tros bero på att betesmarkens permanenta vegetationstäckte har bidragit till en bättre aggregatstruktur (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 154).

Tabell 10. Maximal vattenkapacitet och fältkapacitet (MVK respektive FK) för fyra lerjordar och en sandjord.

Plats	Matjord			Alv		
	Textur (SLU)	MVK [%]	FK [%]	Textur (SLU)	MVK [%]	FK [%]
Marsta	Mellanlera	50	30	Styv lera	43	37
Ultuna (betesmark)	Mellanlera	70	54	Styv lera	48	40
Ultuna (åkermark)	Mellanlera	50	36	Styv lera	47	40
Lanna	Mellanlera	47	35	Styv lera	44	37
Lövsta	Mellansand	64	33	Mellansand	43	18

Kommentar. Hämtad från "Wiklanders Marklära" av J. Eriksson, I. Nilsson och M. Simonsson, 2005, s. 155.

Under varma och torra perioder bevattnas normalt åkermark för att väga upp för en hög evapotranspiration. Under svala och fuktiga perioder kan avdunstningen uppgå till 1 - 2 mm, medan den under varma och torra perioder

kan motsvara till 6 - 8 mm per dag Rekommendationer ifrån Jordbruksverket är att bevattna när hälften av det växttillgängliga vattnet i matjorden förbrukats, och att då eftersträva att fylla jorden till strax under fältkapaciteten. För jord med låg lerhalt eller låg mullhalt, så som mullfattig sand, lerig silt, och lerig sand, är rådet att därför tillföra 15 - 20 mm vid bevattning. För jord med hög mullhalt eller hög lerhalt, så som lättlera, mellanlera och styv lera, är rådet 25 - 30 mm (Malm & Berglund, 2007). Under en varm sommar, ifall ingen nederbörd faller, motsvarar detta bevattning med endast några dagars mellanrum.

2.2.4. Mäktighet

Enligt Eriksson, Nilsson och Simonsson (2005, s. 43) sammanfaller matjordens mäktighet med plöjningsdjupet, vilket i Sverige oftast är 20 - 30 cm. Två av Tyréns egna markundersökningar i de skånska orterna Svarte och Skegrie visade dock på genomsnittliga mäktigheter på 0,52 respektive 0,55 m.

Arkeologiska rapporter ifrån ett antal utgrävningar runt om i Skåne som gjorts under de senaste tolv åren, visar på en matjordsmäktighet som varierar mellan 0,20 m och 0,75 m i skånsk åkermark. I de studerade rapporterna gav ett genomsnitt på 0,35 m (Becker, 2009; Becker, 2010; Björk, 2015; Björk, 2019; Friman, 2015; Hulting Lindgren, 2016; Hulting Lindgren, 2018; Jacobsson, 2008; Kjällquist, 2012). Även inom ett undersökningsområde kunde mäktigheten variera betydligt. Utanför Hittarp i Helsingborgs kommun, vid den skånska kusten, var mäktigheten hos åkermarken 0,25 m i slänterna men hela 0,55 m i sänkorna (Hulting Lindgren, 2018). Utanför Vallkärra i Lunds kommun var skillnaden ännu större med en mäktighet på 0,20 - 0,25 meter på höjdparter, och 0,5 - 0,75 m i sänkor (Friman, 2015).

2.3. Diskussion och slutsatser

För att kunna konstruera en modell som beskriver verkligheten så väl som möjligt, måste slutsatser dras och antaganden göras på basis av litteraturen. De fem informationslager som vanligtvis inkluderas i en skyfallsmodell i Mike 21 är som sagt jordmånens genomsläpplighet, porositet, lagermäktighet och mättnadsgrad, samt genomsläppligheten i den djupare jorden. I följande avsnitt kommer dessa fem element diskuteras med utgångspunkt i litteraturen, följt av val av värden att använda.

2.3.1. Infiltrationslager och kartunderlag

Eftersom plogsulan generellt har en högre packningsgrad (Arvidsson, 2014) kan dennes genomsläpplighet antas vara en begränsande faktor för infiltrationen. Av denna anledning kommer det jordmånslager vars infiltrationsegenskaper används i modellering antas motsvara matjorden och begränsas nedåt av plogsulan. Genomsläpplighet, porositet, mätnadsgrad och djup hos den övre jordmånen kommer alltså antas motsvara dessa egenskaper hos matjordslaget och perkolationen från detta matjordslager kommer antas motsvara plogsulans genomsläpplighet.

Sohlenius och Eriksson (2009) bedömde att SGU:s jordartskartor ger en mycket bra bild av jordarternas geografiska fördelning och kan användas för att beskriva jordmånen textur. Klassificeringen av jordarter i SGU:s jordartskartor anses dock i många fall vara för grov och inte ge tillfredställande information om innehållet av ler och silt (Sohlenius & Eriksson, 2009). Ytterligare ett alternativ är därför att använda den digitala åkermarkskartan från SGU för att beskriva matjordens sammansättning. Eftersom denna karta redogör specifikt för jordbruksmark och ger en beskrivning av matjorden enligt den mer detaljerade FAO-indelningen (Söderström & Piikki, 2016) kommer den användas som underlag i detta arbete.

2.3.2. Genomsläpplighet i matjorden

Matjorden är det mullrika lagret närmast jordytan. Dess sammansättning varierar med jordarten i närområdet (Wallander, o.a., 2016, s. 36), men den kännetecknas generellt av en högre porositet och genomsläpplighet än underliggande lager. Litteraturen pekar på att detta kan bero på bland annat en högre halt organiskt material, som ett resultat av gödsling (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, ss. 42-43; Minasny & Mcbratney, 2018), samt på plöjningens uppluckrande effekt (Arvidsson, 2014).

För grovkorniga jordarter påverkas genomsläppligheten framför allt av kornstorleken. För leriga jordar finns inte samma samband mellan kornstorlek och genomsläpplighet (Larsson, 2008). Lerjord som inte är uttorkad kan antas ha en ringa eller obefintlig infiltration (Knutsson & Morfeldt, 1973, s. 16), medan uttorkad lerjord spricker upp och kan få en mycket god genomsläpplighet (Larsson, 2008). Finjordar med en lägre halt ler, alltså siltjordar, spricker inte i samma utsträckning vid upptorkning (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 31).

I Tabell 4 redovisades genomsläpplighet i jordbruksmark för olika texturer. Intervallen är stora och skillnad görs på jordar med olika struktur. Likheter finns mellan dessa intervall och värdena på mättad genomsläpplighet i matjord från Etana (2019) och Hansen (1976) som presenterades i Tabell 7 och Tabell 9. En sådan likhet är att intervallvärdena på genomsläpplighet i de lerigare och siltigare texturerna stämmer väl överens ifall dessa antas ha en fin struktur. Totalt medianvärde för mättad genomsläpplighet i de siltiga och relativt leriga texturerna *silty clay*, *silty clay loam*, *silt loam* och *loam*, från mätningarna presenterade i Tabell 7 och Tabell 9, ligger på 7 mm/h. Detta värde kommer därför antas för dessa texturer. Medianvärde för den leriga texturen *clay*, från mätningarna presenterade i Tabell 7, ligger på 10 mm/h. Dessa mätningar är gjorda regelbundet under flertalet år och är inte uppmätta specifikt på sommaren. Texturen *clay*, vilken motsvarar styv lera enligt SLU:s indelning, kan dock antas ha en markant högre genomsläpplighet sommartid än i andra perioder på grund av upptorkning och sprickbildning. Exakt hur hög denna genomsläpplighet kan vara är dock svårt att säga. För att inte riskera att överskatta infiltrationen och därmed underskatta markavrinningen väljs därför en genomsläpplighet motsvarande det uppmätta medianvärdet på 10 mm/h.

För de sandigare texturerna *sandy loam*, *loamy sand*, *fine sand* och *coarse sand* stämmer de uppmätta värdena i Tabell 7 och Tabell 9 väl med värdena från Tabell 4. Genomsläppligheten i *sandy loam*, *loamy sand*, *fine sand* och *coarse sand* sätts därför till respektive medianvärdet, beräknade från de värden som presenterats av från Etana (2019) och Hansen (1976), även om ytterst få värden uppmätts för de tre senare klasserna. Samtliga antagna värden att använda redovisas nedan i Tabell 11.

Tabell 11. Antagen genomsläpplighet i matjord med olika textur.

Textur (FAO)	Genomsläpplighet i matjord [mm/h]
Clay	10
Silty clay	7
Silty clay loam	7
Clay loam	7
Silt loam	7
Loam	7
Sandy loam	7

Loamy sand	25
Fine sand	70
Coarse sand	140

2.3.3. Genomsläpplighet i plogsulan

Plogsulan ligger under plöjningsdjupet, i den nedre matjorden eller alven, och kännetecknas av en högre packningsgrad (Arvidsson, 2014). Jordbearbetningen i jordbruket luckrar och packar jorden, och hur denna luckring och packning ser ut avgörs av jordartens egenskaper såväl som bearbetningsmetoderna och odlad gröda (Håkansson, 2000, ss. 38, 7). Eftersom uppluckrande processer så som plöjning och biologisk aktivitet inte är särskilt intensiva i plogsulan blir den mer varaktigt packad (Håkansson, 2000, s. 38). Den vanligaste plöjningsmetoden för åkermark är konventionell plöjning till ett djup av 20 - 30 cm (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 43; Frisk, 2019) och på lerjordar är en mer ovanlig men förekommande metod reducerad jordbearbetning (Frisk, 2019). En konventionell plöjning leder generellt till en högre packningsgrad i lerjordar än en reducerad jordbearbetning (Håkansson, 2000, s. 68).

I Tabell 8 redovisades mättad genomsläpplighet i plogsula med olika textur, baserat på värden från Etana (2019). Värdena var mycket spretiga och samband mellan textur och genomsläpplighet var svåra att identifiera. Den stora variationen beror sannolikt på bland annat skillnader i packningsgrad och utveckling av makroporer. Ett medianvärde för genomsläppligheten i plogsulan beräknas istället och får anses representativt för svensk plogsula i dagens jordbruk oavsett textur. Detta medianvärde presenteras i Tabell 12 nedan.

Tabell 12. Antagen genomsläpplighet i plogsula.

Textur (FAO)	Genomsläpplighet i plogsula [mm/h]
Samtliga	1,2

2.3.4. Matjordens porositet

Eftersom marken kan antas bli helt vattenmättad vid kortvariga översvämningar (Wesström, Geranmayeh, Joel, & Ulén, 2016), är det den totala porositeten som är av störst intresse i skyfallskartering. Generellt har fina texturer en hög total porositet, då många små och isolerade hålrum kan existera

i dess struktur. Grövre texturer har istället en lägre total porositet (Svensson, 2012, s. 70). Månggraderade jordarter kan ha en särskilt låg total porositet då finare korn kan uppta hålrummen mellan de större (Fetter, 2018, s. 71). Dock beror porositeten i en viss jord också på andra faktorer, så som packningsgrad (Svensson, 2012, s. 71).

Matjorden kännetecknas som nämnt av en högre porositet än underliggande lager, vilket som sagt kan tillskrivas bland annat gödsling och plöjning. Den totala porositeten för odlade jordar ligger enligt Wiklander (1976, ss. 76-77) kring 40 - 60 %. Medelvärden för porositet i matjorden, utifrån värden från Etana (2019) och Hansen (1976), sammanställdes och avrundades till närmsta femtal. Resultatet visas i Tabell 13 nedan.

Tabell 13. Antagen porositet i matjord.

Textur (FAO)	Porositet [%]
Clay	50
Silty clay	50
Silty clay loam	45
Clay loam	45
Silt loam	50
Loam	45
Sandy loam	40
Loamy sand	50
Sand	45

2.3.5. Matjordens mätnadsgrad

Mättnadsgraden beror på jordartens kornfördelning, men också på klimat och väder (Svensson, 2012, s. 73) och har i undersökning uppskattats att mestadels ligga mellan fältkapaciteten och vissningsgränsen under året (Wagner, Lemoine, & Rott, 1999). Under sommaren leder en hög evapotranspiration till att jorden torkar upp (Fetter, 2018, s. 227) och den låga mätnadsgraden har visat sig spela en viktig roll i att minska risken för avrinning vid extrema regn (Lindström, 1987). Vidare kommer en låg mätnadsgrad enligt klimatscenarier bli allt vanligare i framtiden som en följd av förlängd växtsäsong och ökad avdunstning (Sjökvist, Abdoush, & Axén, 2019). Redan idag bedöms större delar av den skånska kusten, inklusive Ystad, löpa hög risk att drabbas av torka

med avseende på markvatten (Stensen, Krunegård, Rasmusson, Matti, & Hjerdt, 2019).

Skyfall är vanligast under sommaren, särskilt i månaderna juli och augusti (SMHI, 2012; MSB, 2017) och under sådana varma och torra perioder bevattnas normalt jordbruksmark. Rekommendationer ifrån Jordbruksverket är att bevattna när hälften av det växttillgängliga vattnet i matjorden förbrukats, och att då eftersträva att fylla jorden till strax under fältkapaciteten. Detta motsvarar under en varm och torr sommarbevattning med endast några dagars mellanrum (Malm & Berglund, 2007). Mot bakgrund av denna regelbundna bevattning kan mätnadsgraden antas motsvara ca 50 - 90 % av det växttillgängliga vattnet. Eftersom modellerna förväntas innehålla flertalet åkrar, samtliga vars mätnadsgrader kan antas variera inom detta intervall, kommer en genomsnittlig mätnadsgrad på 70 % av det växttillgängliga vattnet användas.

Generellt så gäller att finare kornfraktioner har en högre fältkapacitet och vissningsgräns, samt ett större spann däremellan, vilket framgår av Figur 5. Detta eftersom finare jordarter bildar en tät struktur med många små porer och därmed har goda vattenhållande egenskaper med en hög kapillär stighöjd (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, ss. 40-41).

En högre halt organiskt material i matjord har visat sig bidra till bättre vattenhållande egenskaper (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 43). Dock har studier visat på att detta samband inte alltid är betydande för matjord (Minasny & Mcbratney, 2018). Vissningsgränsen påverkas dock i regel inte av bearbetning eftersom den bestäms av innehållet av små porer (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, s. 155).

Figur 5 visar typiska värden på permanent vissningsgräns och fältkapacitet för olika texturer. Härifrån har värden för olika matjordstexturer hämtats, vilka har lagt till grund för uppskattning av mätnadsgraden i matjord. Värden på vissningsgräns och fältkapacitet för klasserna *loamy sand*, *silty clay* och *silty clay loam*, som saknar angivna värden i figuren, har istället antagits baserat på värden för liknande texturer. Mätnadsgrad för olika texturer har beräknats som 70 % av skillnaden mellan fältkapacitet och vissningsgräns, avrundat till närmsta femtal, och visas i Tabell 14 nedan.

Tabell 14. Fältkapacitet, vissningsgräns och antagen mätnadsgrad för matjord med olika textur.

Textur (FAO)	Fältkapacitet [%]	Vissningsgräns [%]	Antagen mätnadsgrad [%]
Clay	39	23	35
Silty clay	38	20	30
Silty clay loam	37	19	30
Clay loam	37	17	30
Silt loam	31	11	25
Loam	28	9	20
Sandy loam	20	6	15
Loamy sand	17	5	15
Fine sand	14	5	10
Coarse sand	9	4	10

2.3.6. Matjordens mäktighet

Enligt Eriksson, Nilsson och Simonsson (2005, s. 43) sammanfaller matjordens mäktighet med plöjningsdjupet, vilket i Sverige oftast är 20 - 30 cm. Det mull som tillförs jorden genom gödsel blandas ofta ner till detta djup, eftersom jorden under plöjningsdjupet inte vänds och eventuellt packas hårt (Arvidsson, 2014; Håkansson, 2000, s. 38). Dock kan marklevande organismer så som maskar blanda ner mulden till ett större djup (Eriksson, Nilsson, & Simonsson, 2005, ss. 43-44). Ett antal arkeologiska rapporter från skånsk åkermark visade på ett matjordsdjup som varierar mellan 0,2 och 0,75 m, med ett genomsnitt på ca 0,35 m. Variationen inom samma undersökningsområde var ibland mycket stor. Två av Tyréns egna markundersökningar i den skånska jordbruksmarken i Svarte och Skegrie visade på en genomsnittlig mäktighet på 0,52 respektive 0,55 m. Mäktigheten tycks alltså variera i olika skånska marker, och har i flera fall visat sig vara större än plöjningsdjupet. Trots detta bör plöjningsdjupet vara en god uppskattning av den verkliga mäktigheten, då det relativt låga värdet är både verklighetsförankrat och minskar risken för att markens infiltrationskapacitet överskattas. Av denna anledning kommer mäktigheten antas till 0,3 m i all jordbruksmark.

Tabell 15. Antagen mäktighet i matjorden

Textur (FAO)	Matjordens mäktighet [m]
Samtliga	0,3

3. Metod och modeller

Breda och utförliga skyfallskarteringar förutsätter ofta ett omfattande arbete, med åtskilliga moment och komponenter. Tillvägagång vid denna kartering återges på ett översiktligt sätt, med vissa tekniska detaljer. De flertalet programvaror som används beskrivs kortfattat, medan modellernas uppbyggnad återges i vidare detalj.

3.1. Metod

En litteraturstudie genomfördes för att möjliggöra kvalificerade antaganden om infiltrationshastighet, perkolationshastighet, porositet, mätnadsgrad och mäktighet. Detta för att kunna beskriva infiltrationen i åkermark på lämpligt sätt. Baserat på denna studie valdes en uppsättning värden för olika jordtexturer, vilka sedan användes i modellering.

För att kunna konstruera modeller för att besvara de frågeställningar som berör hur åkermarken kan beskrivas samt vilken betydelse denna beskrivning har identifierades relevanta avrinningsområden. Detta gjordes med analysverktyget ”Watersheds” under ”Flash Flood Mapping” på plattformen Scalgo Live. Detta verktyg beräknar omfattningen av avrinningsområden vid regn av olika magnitud, utifrån höjddata. Utifrån dessa avrinningsområden kunde sedan modellområden avgränsas. Regnet som var av intresse vid avgränsning var ett regn med 100 års återkomsttid, sex timmars varaktighet och med en klimatafaktor på 1,3. Enligt Svenskt Vattens publikation P110 motsvarar detta ett regn på 109,85 mm (Svenskt Vatten, 2016, s. 67), och därför användes i Scalgo Live ett 110 mm regn vid avgränsning av modellområden.

Med utgångspunkt i litteraturstudien skapades rasterdata som beskrev infiltrationen i åkermark. Rasterdata som beskrev infiltration i övrig mark, markytans råhet, höjddata samt regndata konstruerades istället utifrån tillvägagångssätt typiska för skyfallsmodellering inom ett konsultuppdrag. Sådan tillvägagång beskrivs bland annat av konsultföretaget WSP i rapporten ”Skyfallsmodellering Stockholm Stad” (Thurin, 2018). Som en del av skapandet av infiltrationsdata och råhetsdata över tätort kartlades hårdgjord yta med hjälp av IR-analys. Hårdgjord yta gavs ett Mannings tal på 50 och icke-hårdgjord yta ett Mannings tal på 2. I regndatan gjordes ett schablonmässigt avdrag ifrån regnet över Ystad tätort, representativt för de volymer som ledningsnätet i staden har kapacitet för att ta emot vid ett skyfall. Regnet som användes i modellerna var ett 100-årsregn med sex timmars

varaktighet och en klimatfaktor på 1,3. I enlighet med MSB:s publikation "Vägledning för skyfallskartering" (MSB, 2017) konstruerades ett regn av typen California Design Storm (CDS). Detta är ett regn bestående av en standardiserad serie blockregn med olika varaktigheter (Thurin, 2018).

För att på ett effektivt sätt representera Ystad tätort med tillrinning från åkermark, byggdes fem olika modeller i Mike 21. Fyra av dessa modeller representerade jordbruksområden med avrinning in mot tätorten. För att beskriva omfattning och tidsvariation hos denna avrinning skapades vidare fem enkla Mike Urban modeller med länkar för en kort järnvägspassage samt kulvertar som enligt Länsstyrelsens karttjänst "Vatten och Klimat" finns i dessa områden. Mike Urban modellerna kopplades ihop dynamiskt med motsvarande Mike 21 modeller i verktyget Mike Flood. Flödet genom de kulvertar eller järnvägspassage som ledde ut ur ett visst avrinningsområde, erhållet ifrån körningen i Mike Flood, användes sedan som en källa till tillrinning i den Mike 21 modell som representerade det avrinningsområde dessa ledde in i. Samtliga modeller redogörs för i vidare detalj under avsnitt "3.5. Modellerna".

För att kunna utvärdera modellernas giltighet, och därmed besvara frågeställningen som berör beräknades avrinning vid ett regn med 100 års återkomsttid med tid-area-metoden i Mike Urban såväl som högsta högvattenflöde med ekvationer och metodik ifrån Vägverket. Tjänstemän på Ystad kommun tillfrågades även om sina erfarenheter av översvämningar i tätorten. Utvärderingen kunde senare göras genom jämförelse mellan avrinningen från tid-area metoden och avrinningen som genererats i modellerna, samt jämförelse mellan beräknad högsta högvattenföring och det maximala volymutflödet i modellerna. Slutligen så jämfördes även den översiktliga översvämningsskildern med erfarenheter från anställda på Ystad kommun.

Med tid-area metoden kunde avrinningen från två modellområden uppskattas, genom att två avrinningsområden skapades i Mike Urban. Dessa avrinningsområden hade samma storlek som, och fick representera, två av modellområdena i Mike 21 med avrinning mot tätorten. Koppling till två tillhörande länkar och noder upprättades. Tidskoncentration beräknades utifrån avståndet till den punkt vars avrinningsväg var längst ifrån utflödespunkten, samt utifrån avrinningshastighet i rör och över mark enligt publikation P110

(2016) från Svenskt Vatten. Tid-area kurva valdes för båda avrinningsområdena, utifrån deras aningen divergenta utseenden, till den Mike Urban specifika kurvan ”TACurve2”. Andel impermeabel yta valdes genom kalibrering till 0,02 respektive 0,04. Reduktionsfaktor sattes till 1 och en simpel avrinningsberäkning kördes.

Högsta högvattenflöde i de två modellområdena med avrinning till tätorten beräknades för ett regn med 100 års återkomsttid utifrån ekvationer och metodik beskrivna i publikation VVMB 3010 (2008) från Vägverket, vilken beskriver tillvägagång vid hydraulisk dimensionering. Utifrån avrinningsområdenas area och sjöprocent, presenterat i Tabell 16, kunde olika värden och kvoter för naturmark avläsas från figurer. Dessa avlästa kvoter och värden presenteras i Tabell 17.

Tabell 16. Area och sjöprocent för avrinningsområdena Västra och Djupadal.

Modellområde	Västra	Djupadal
Area, N [km ²]	3,79	2,65
Sjöprocent, P _k [%]	0	0

Tabell 17. Justeringsfaktor, specifik medelvattenavrinning och vattenföringskvoter för modellområdena Västra och Djupadal.

Justeringsfaktor	1,5
Specifik medelvattenavrinning, M _q [l/(s·km ²)]	10
Kvot mellan medelhögvattenföring och medelvattenföring, MHQ/MQ [-]	16
Kvot mellan högsta högvattenföring vid regn med återkomsttid på 100 år och medelhögvattenföring, HHQ ₁₀₀ /MHQ [-]	4

För att möjliggöra förståelse för den frågeställning som berör betydelsen av beskrivningen av infiltrationen i åkermark gjordes översvämningberäkningar i Scalgo Live. Detta eftersom beräkningar i Scalgo Live inte tar hänsyn till infiltration. En ny arbetsyta, vilken inkluderade samtliga modellområden, skapades och terrängediteringar i form av tillägg av diken gjordes för att representera kulvertar. Analysverktyget ”Flooded Areas” under ”Flash Flood Mapping” användes för den editerade arbetsytan för att illustrera omfattning och utbredning av översvämningarna.

Det är av intresse att kartlägga skillnader i resultat då beskrivning av åkermark görs med utgångspunkt i litteraturen gentemot då den görs med samma metoder som för annan genomsläpplig mark. Av denna anledning kördes samtliga modeller även med Tyréns standardvärden för infiltration över all icke-hårdgjord yta – grönytor i staden såväl som åkermark.

Slutligen presenterades och utvärderades resultat. Resultat ifrån tid-area metoden i Mike Urban, Vägverkets ekvationer samt Ystad kommuns erfarenheter av översvämningar i staden användes för att utvärdera modellens giltighet. För att förstå infiltrationens betydelse i skyfallskartering gjordes jämförelser med översvämningsberäkningar i Scalgo Live. Ytterligare jämförelser gjordes sedan mellan modellerna som skapats med utgångspunkt i litteraturstudien och de modeller som skapats med endast Tyréns standardvärden, för att kunna dra slutsatser om vikten av en särskild beskrivning av infiltration i åkermark. Slutligen diskuterades osäkerheter.

3.2. Programvaror

De programvaror som använts i arbetet är Scalgo Live från Scalgo, Feature Manipulation Engine (FME) Desktop från Safe Software, ArcGIS Desktop från Esri, samt Mike 21, Mike Urban och Mike Flood från DHI.

Scalgo Live från Scalgo är en onlinebaserad plattform vars algoritmer tillåter användaren att med olika verktyg snabbt och enkelt analysera översvämningsrisker. Analysverktygen involverar bland annat identifiering av depressioner, avrinningsvägar och avrinningsområden samt kartläggning av översvämningsrisker vid både regn och havsnivåhöjning. I Scalgo Live visualiseras avrinning och påföljande översvämningar inte som ett successivt förlopp, utan det är de slutliga översvämningsytorna som beräknas. För nuvarande involverar Scalgos analyser inte heller infiltration (Scalgo, 2020).

FME Desktop från Safe Software är en programvara som används för hantering och bearbetning av framför allt geografiska data. Användaren tillåts skapa anpassade arbetsflöden genom vilka data kan konverteras och manipuleras utan kodning (Safe Software, 2020).

ArcGIS Desktop från Esri är en programvara för att analysera och bearbeta geografisk data. I dess huvudkomponent ArcMap kan rumslig data bland annat visas, skapas och editeras (Esri, 2019).

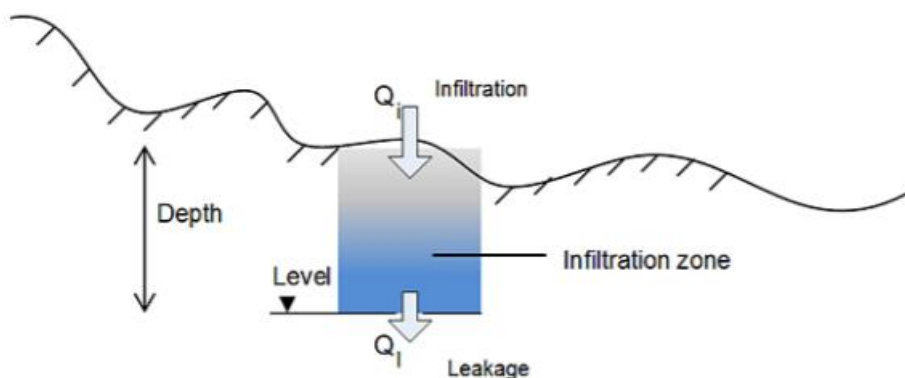
Mike 21 från DHI är ett tvådimensionellt hydrauliskt verktyg för kustmodellering (DHI, u.å). Trots att programvaran är utformad för framför allt simulering av kust- och havsprocesser finns möjlighet att modellera också inlands översvämning (DHI, 2017 a).

Mike Urban från DHI är en programvara för endimensionell hydraulisk modellering av urbant vatten i form av bland annat dricksvatten, dräneringsvatten, dagvatten och spillvatten (DHI, u.å).

Mike Flood från DHI är ett modelleringsverktyg för dynamisk hopkoppling av hydrauliska endimensionella och tvådimensionella beräkningsmotorer, så som Mike 21 och Mike Urban. Hopkopplingen tillåter dynamiskt vattenutbyte mellan komponenterna, vilket möjliggör en mer avancerad översvämningsmodellering (DHI, u.å).

3.3. Infiltration i Mike 21

Ett alternativ för att beskriva infiltration i Mike 21 är genom infiltrationsmodellen ”Constant infiltration with capacity”. I denna förenklade modell sker infiltration från markytan till det översta jordlagret samt läckage vidare ut ur detta lager med två respektive konstanta hastigheter. Det översta jordlagret, den så kallade infiltrationszonen, har ett djup, en porositet som är konstant med djupet och en initial mättnadsgrad. Infiltrationszonens magasinierande förmåga motsvarar den volym som vid ett givet djup är porös men inte vattenmättad. Ingen infiltration sker från ytan i en torrlagd cell och inget läckage från en infiltrationszon utan magasinerat vatten (DHI, 2017 a). En enkel schematisk bild av infiltrationsmodellen visas i Figur 7.



Figur 7. Schematisk bild av infiltrationsmodellen "Constant infiltration with capacity" i Mike 21 (DHI, 2017 a).

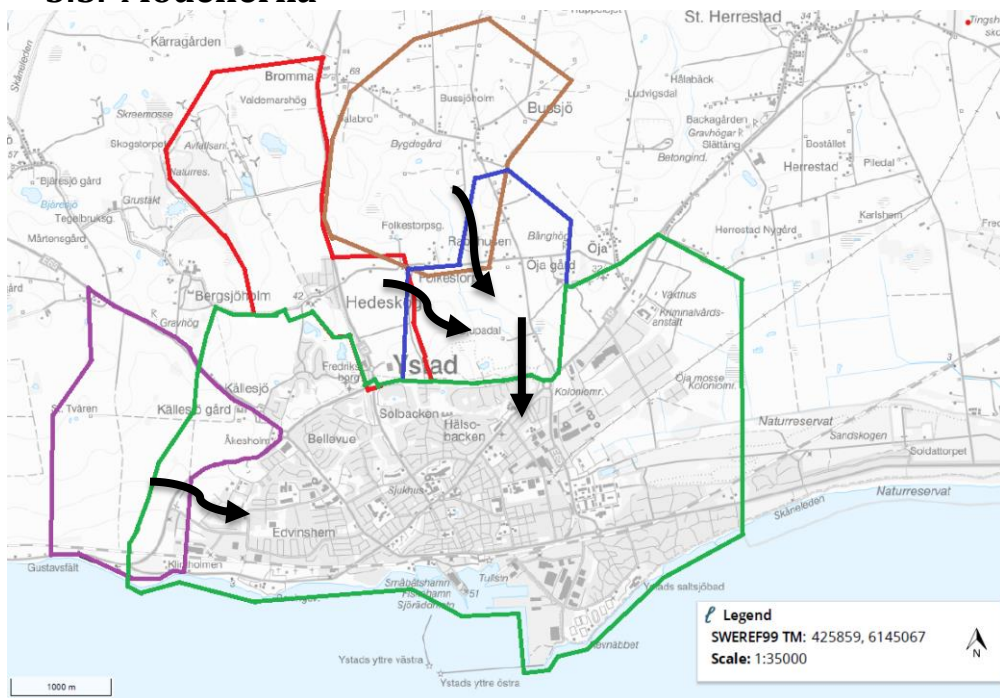
3.4. Värden på infiltrationen i åkermark

Beskrivning av infiltration i en Mike 21 modell utgår alltså ifrån fem parametrar: genomsläpplighet i det översta infiltrationslagret (infiltration rate), genomsläpplighet i det undre lagret (leakage rate), porositet i det översta infiltrationslagret (porosity), mättnadsgrad i det översta infiltrationslagret (percentage) och mäktighet hos det översta infiltrationslagret (depth). De värden som utifrån litteraturen ansågs bäst lämpade att använda för dessa parametrar i åkermark presenteras i Tabell 18 nedan. För texturen *sand* användes värden för *fine sand* från litteraturstudien. För texturen *silt* användes samma uppsättning värden som för den närbesläktade texturen *silt loam*.

Tabell 18. Porositet, mättnadsgrad, mäktighet, samt genomsläpplighet i matjord och plogsula i modellerna.

Textur (FAO)	Infiltration rate [mm/h]	Leakage rate [mm/h]	Porosity [-]	Percentage [%]	Depth [m]
Clay	10	1,2	0,50	35	0,3
Clay loam	7	1,2	0,45	30	0,3
Silt loam	7	1,2	0,50	25	0,3
Silt	7	1,2	0,50	25	0,3
Loam	7	1,2	0,45	20	0,3
Sandy loam	7	1,2	0,40	15	0,3
Loamy sand	25	1,2	0,50	15	0,3
Sand	70	1,2	0,45	10	0,3

3.5. Modellerna



Figur 8. Samtliga modellområden mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta i Scalgo. Området Bussjö visas i brunt, Hedeskoga i rött, Västra i lila, Djupadal i blått och Ystad tätort i grönt (Scalgo, u.å. b). Bilden är modifierad så att pilar översiktligt visar hur avrinning mellan områdena ser ut.

En skyfallsmodell över hela Ystad stad hade varit en omfattande sådan. Tätorten så som den ser ut idag enligt satellitbilder breder ut sig över en area på ca 8 km². Utöver detta sker tillrinning från jordbruksområden norr och väster om staden.

För att minska beräkningstiden och representera relevanta avrinningsområden på ett effektivt sätt skapades fem separata modellområden, vilka visas i Figur 8. En största modell konstruerades för det avrinningsområde som innefattar Ystad tätort och förorten Kjällesjö. Detta modellområde kom att kallas ”Ystad tätort”. För omkringliggande mark som eventuellt kan bidra med tillrinning skapades ytterligare fyra separata modeller – ”Västra” till väster om tätorten, ”Hedeskoga” i nordväst, ”Bussjö” längst till norr och slutligen ”Djupadal” strax norr om tätorten. Avrinning från Hedeskoga och

Bussjö sker mot Djupadal genom kulvert, medan det från Djupadal och Västra sker vidare mot tätorten genom kulvert respektive under en viadukt. Avrinningen illustreras översiktligt med pilar i Figur 8.

Som nämnt konstruerades markavrinningsmodeller i Mike 21 för samtliga områden. Även Mike Urban modeller med dräneringskulvertar respektive viaduktundergång konstruerades för samtliga områden. Modellerna i Mike 21 och Mike Urban kopplades sedan ihop i beräkningsmotorn Mike Flood, vilket möjliggjorde ett dynamiskt utbyte av vatten mellan modellerna. Tidsserier för flödet ut ifrån modellerna, genom kulvert eller undergång, kunde därmed extraheras och användas som källa till inflöde i nästa modell. Modellerna sattes att starta kl. 09:00 det framtida datumet 2100-01-01 och sträckte sig över nio eller 15 timmar.

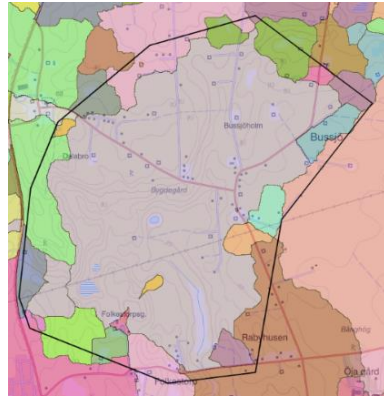
I Mike Urban representerades dräneringsbrunnar av noder utan energiförluster och med ett flöde enligt "Weir equation" med en "Qdh factor" på 0,2 m och en "Discharge coefficient" på 0,98 valdes utifrån erfarenhet på Tyréns. Ett maximalt flöde ner i brunnarna sattes likaså utifrån erfarenhet på Tyréns till 0,3 m³/s. Kulvertarna beskrevs som cirkulära länkar och viaduktundergången som en rektangulär länk, samtliga av materialet "Concrete (Normal)" med friktionsförluster beskrivna av "Manning explicit". Omkrets och geografisk position på brunnar och kulvertar definierades utifrån uppgifter i Länsstyrelsens databas över dikningsföretag. Bredd och position på viaduktundergången uppskattades utifrån höjddata och flygfoto.

I Mike 21 modellerades samtliga områden i modulen "Hydrodynamic only" med "Inland Flooding" valt. Regnet varade under modellernas första sex timmar, alltså från kl. 09:00 till kl. 15:00, och modellerna hade ett tidssteg på 0,25 sekunder. Utifrån erfarenhet på Tyréns sattes "Drying depth" till 0,003 m och "Flooding depth" till 0,008 m. Infiltrationen specificerades till typen "Constant Infiltration with Capacity" och formatet "Constant in Time, Varying in Space". Eddy Viscosity gavs som ett konstant värde, av typen "Flux based", på 0,5 m²/s.

3.5.1. Bussjö



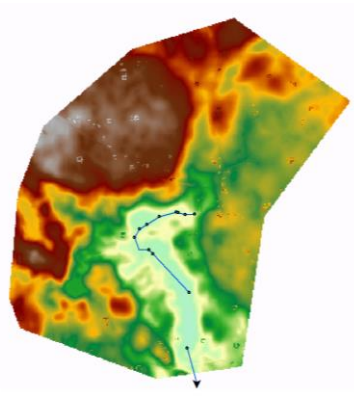
Figur 9. Modellområdet Bussjö mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta i (Scalgo, u.å. c).



Figur 10. Modellområde Bussjö mot bakgrund av Scalgos indelning av avrinningsområden (Scalgo, u.å. d).



Figur 11. Flygfoto över modellområdet Bussjö (Scalgo, u.å. e).



Figur 12. Inlagda kulvertar och dräneringsbrunnar i modellområdet Bussjö, mot bakgrund av höjddata. Röd färg illustrerar höjder ca 70 m.ö.h. och ljusblå färg visar sänkor ca 20 m.ö.h.

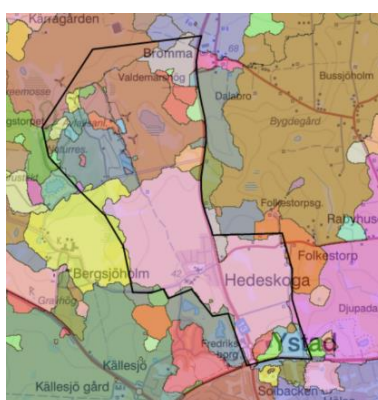
Längst till norr ligger ett större avrinningsområde som avrinner söderut genom en dräneringskulvert. Detta avrinningsområde visas i Figur 10 och har benämnts Bussjö. Det är ett separat modellområde med en area på 4,13 km² som konstruerades för att beskriva avrinningsområdet och kartlägga flödet vidare söderut genom kulverten. Området består mestadels av åkermark, med endast ett fåtal byggnader, vägar, grönområden och vattendrag, vilket framgår av översiktskartan i Figur 9 och flygfotot i Figur 11.

Kulvertar och dräneringsbrunnar som lades in i Mike Urban visas i Figur 12. I Mike 21 valdes en upplösning på 8 x 8 m för att möjliggöra en relativt kort beräkningstid och den enda källan till inflöde av vatten var regn. Modelleringen sträckte sig över 15 timmar.

3.5.2. Hedeskoga



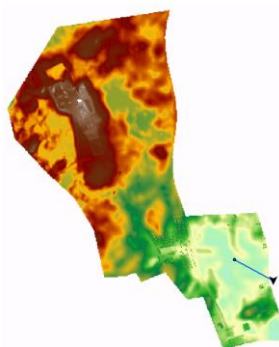
Figur 13. Modellområdet Hedeskoga mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta i Scalgo (Scalgo, u.å. f).



Figur 14. Modellområdet Hedeskoga mot bakgrund av Scalgos indelning av avrinningsområden (Scalgo, u.å. g).



Figur 15. Flygfoto över modellområdet Hedeskoga (Scalgo, u.å. h).



Figur 16. Inlagd kulvert och dräneringsbrunn i modellområdet Hedeskoga, mot bakgrund av höjddata. Röd färg illustrerar höjder ca 70 m.ö.h. och ljusblå färg visar sänkor ca 30 m.ö.h.

Nordväst om Ystad tätort ligger flera separata avrinningsområden, vilka visas i Figur 14. Dessa innefattar bland annat förorten Hedeskoga. Ett separat

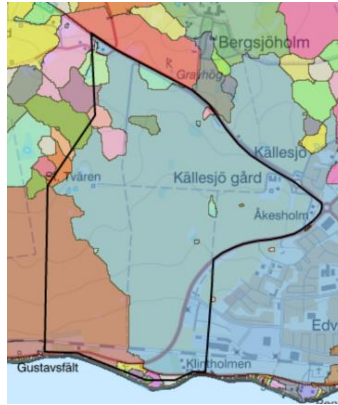
modellområde vid namn Hedeskoga med en area på 4,01 km² konstruerades för att beskriva den översvämning som drabbar denna del av Ystad, samt avrinningen vidare österut. Området består mestadels av åkermark, men också tätort, naturreservat, vägar och vattendrag, vilket framgår av terrängkartan i Figur 13 och flygfotot i Figur 15.

Den kulvert och dräneringsbrunn som lades in i Mike Urban visas i Figur 16. I Mike 21 valdes en upplösning på 8 x 8 m för att möjliggöra en relativt kort beräkningstid och den enda källan till inflöde av vatten i modellen var regn. Modelleringen sträckte sig över 15 timmar.

3.5.3. Västra



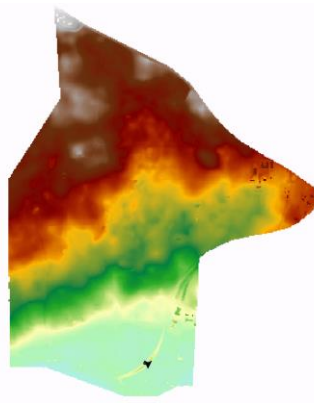
Figur 17. Modellområdet Västra, väster om Ystad tätort, mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta i Scalgo (Scalgo, u.å. i).



Figur 18. Modellområdet Västra, väster om Ystad tätort, mot bakgrund av Scalgos indelning av avrinningsområden (Scalgo, u.å. j).



Figur 19. Flygfoto över modellområdet Västra (Scalgo, u.å. k).



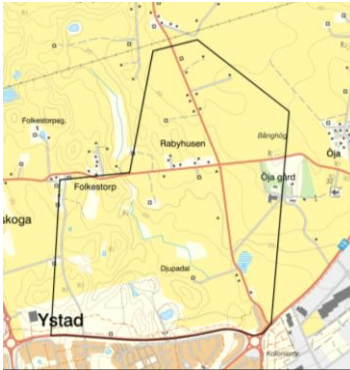
Figur 20. Inlagd kanal vid viadukt i modellområdet Västra, mot bakgrund av höjddata. Röd färg illustrerar höjder ca 50 m.ö.h. och ljusblå färg lägre mark ca 3 m.ö.h.

Väster om Ystad ligger ytterligare ett område som avrinner mot tätorten genom en kort undergång under en väg. Det huvudsakliga avrinningsområdet är detsamma som för delar av tätorten, vilket framgår av Figur 18. Området avgränsades från tätortsmodellen längs med en höjdrygg för att minska storleken och därmed beräkningstiden för denna. Detta avrinningsområde är 3,79 km² stort och fick sitt namn Västra efter placeringen i förhållande till

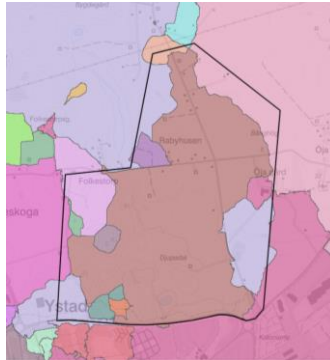
tätorten. Området består mestadels av åkermark, med ett fåtal byggnader och vägar, vilket syns på översiktskartan i Figur 17 och flygfotot i Figur 19.

Unergången under viadukten representerades med en kort kanal i Mike Urban, vars position visas i Figur 20. I Mike 21 valdes en upplösning på 8 x 8 m för att möjliggöra en relativt kort beräkningstid och den enda källan till inflöde av vatten i modellen var regn. Modelleringen sträckte sig över 15 timmar. För detta område gjordes även beräkningar av avrinning med tid-area metoden och högsta högvattenflöde med ekvationer för hydraulisk dimensionering.

3.5.4. Djupadal



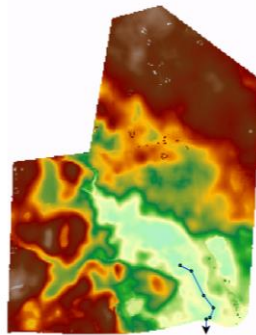
Figur 21. Modellområdet Djupadal mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta i Scalgo (Scalgo, u.å. l).



Figur 22. Modellområdet Djupadal mot bakgrund av Scalgos indelning av avrinningsområden(Scalgo, u.å. m).



Figur 23. Flygfoto över modellområdet Djupadal (Scalgo, u.å. n).



Figur 24. Inlagda kulvertar och dräneringsbrunnar i modellområdet Djupadal, mot bakgrund av höjddata. Röd färg illustrerar höjder ca 40 m.ö.h. och ljusblå färg visar sänkor ca 15 m.ö.h

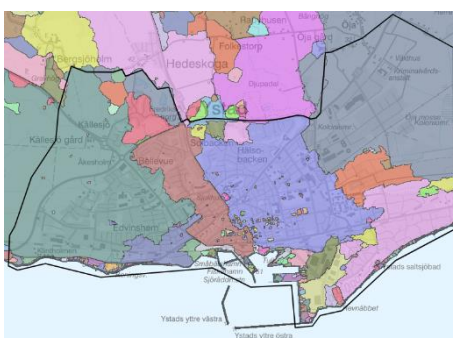
Norr om Ystad ligger ett område som avrinner genom kulvert in i tätorten. Även en cykeltunnel förbinder området med tätorten, men höjdskillnader medför att ingen avrinning bör ske genom denna. Med utgångspunkt från det avrinningsområde som visas i Figur 22 avgränsades ett modellområde på 2,65 km², som fick sitt namn Djupadal från en lokal gård. Det består mestadels av åkermark, med en del grönområden, samt ett fåtal byggnader, vägar och vattendrag. Området visas på översiktskarta i Figur 21 och på flygfoto i Figur 23.

De dräneringsbrunnar och kulvertar som lades in i Mike Urban visas i Figur 24. I Mike 21 valdes en upplösning på 8 x 8 m för att möjliggöra en relativt kort beräkningstid. Flöden från modellområdena Bussjö och Hedeskoga, vilka når Djupadal genom kulvertar i norr och i väster, representerades av punktflöden i Mike 21 modellen. Utöver dessa var regn den enda källan till inflöde. Modelleringen sträckte sig över 15 timmar. För detta område gjordes även beräkningar av avrinning med tid-area metoden och högsta högvattenflöde med ekvationer för hydraulisk dimensionering.

3.5.5. Ystad tätort



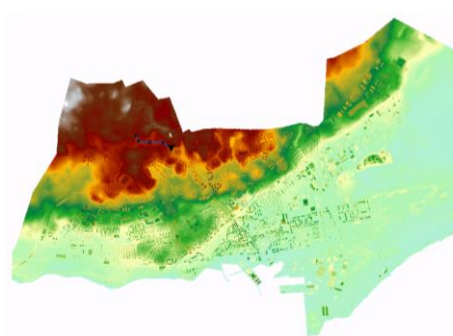
Figur 25. Modellområdet Ystad tätort mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta i Scalgo (Scalgo, u.å. o).



Figur 26. Modellområdet Ystad tätort mot bakgrund av Scalgos indelning av avrinningsområden (Scalgo, u.å. p).



Figur 27. Flygfoto över modellområdet Ystad tätort (Scalgo, u.å. q).



Figur 28. Inlagda kulvertar och dräneringsbrunnar i modellområdet Ystad tätort, mot bakgrund av höjddata. Röd färg illustrerar höjder ca 40 m.ö.h. och ljusblå färg lägre mark ca 2 m.ö.h

Modellområdet som innefattar Ystad tätort har en area på 16,32 km² och innefattar flertalet avrinningsområden, vilket framgår av Figur 26. I söder angränsar det till havet och i norr, väst och nordväst till övriga modellområden. Området består mestadels av typisk stadsbebyggelse i form av bland annat bostadsområden, industriområden, anläggningar och parker. Även hamn, naturreservat och åkermark ryms inom modellområdet. Översiktskarta över modellområdet visas i Figur 25 och flygfoto i Figur 27.

De dräneringsbrunnar och kulvertar som lades in i Mike Urban visas i Figur 28. En upplösning på 4 x 4 m valdes i Mike 21 för att möjliggöra en relativt kort beräkningstid utan att generalisera alltför mycket. Källor till inflöde av vatten i modellen var regn såväl som flöden från Västra och Djupadal, representerade av punktkällor. Ett schablonmässigt avdrag gjordes från regnet över den tätortsyta som utifrån kartor över stadens rörledningssystem bedömdes avvattnas av dagvattennät eller kombinerat avlopp. Modelleringen sträckte sig över nio timmar.

4. Resultat

Eftersom flertalet modeller och beräkningar gjorts är resultaten många. Resultat ifrån körningarna av modellerna med beskrivning av infiltration i åkermark utifrån litteraturen, avrinningsberäkningar med tid-area-metoden, beräkning av högsta högvattenflöde, erfarenheter från Ystad kommun, översvämningsberäkningar i Scalgo och slutligen resultat ifrån körningarna av modellerna med beskrivning av infiltration i all permeabel mark med Tyréns standardvärden, presenteras nedan under separata avsnitt.

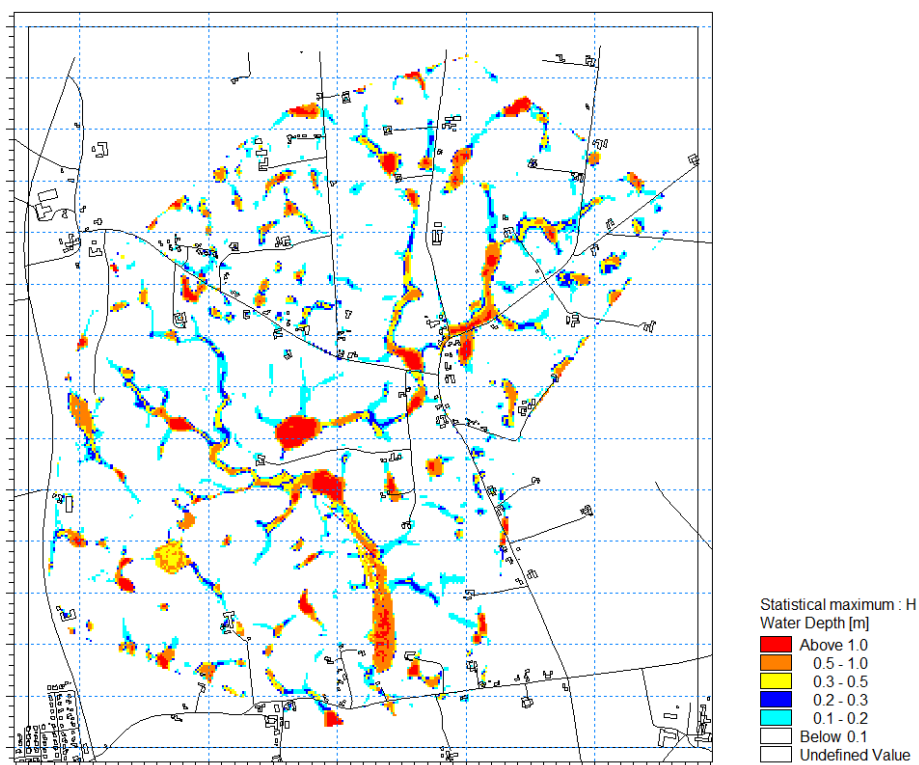
4.1. Modeller utifrån litteraturen

Resultat från de modeller som skapades med litteraturvärden, i form av vattenbalans, maximala vattendjup och volymflöde, redovisas nedan i separata avsnitt.

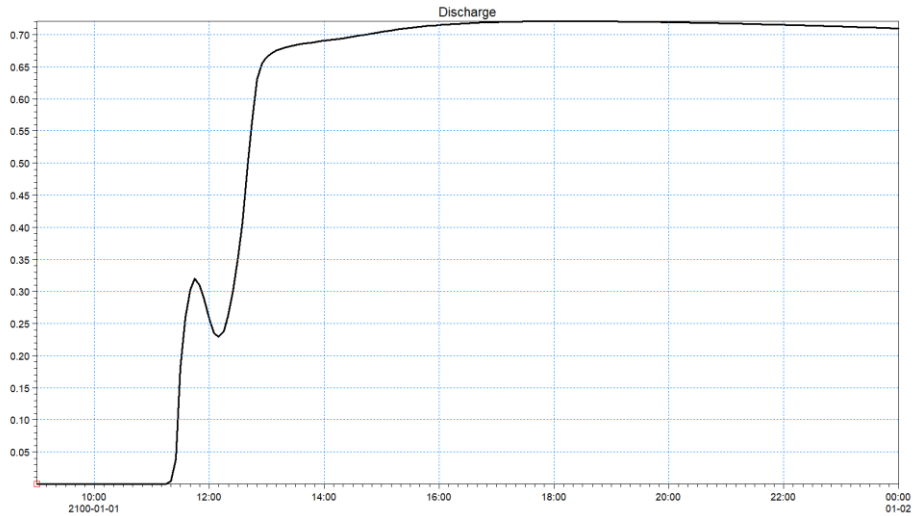
4.1.1. Bussjö

I modellområdet Bussjö genererades under körning en regnvolym på 455 700 m³ och en korrektionsvolym på 34 200 m³. 237 300 m³ infiltrerade i marken och 30 500 m³ rann genom kulvert vidare till Djupadal. Fullständig vattenbalans redovisas i

Bilaga 3. I Figur 29 redovisas statistiskt beräknade maximala översvämningdjup i Bussjö för hela körningen. Avrinning från stora delar av området sker norrut längst med diken och kulvertar. I Figur 30 visas volymflöde i den kulvert som leder ut ur Bussjö och in i Djupadal. Figuren visar att en betydlig ökning av flödet ut ur Bussjö sker mellan ca kl. 11:20 och 13:00. Flödet förblir sedan på en hög nivå, omkring $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$, genom körningen men börjar sakta minska under de sista timmarna.



Figur 29. Maximala vattendjup i Bussjö, erhållna från körning med infiltrationsbeskrivning utifrån litteraturen.

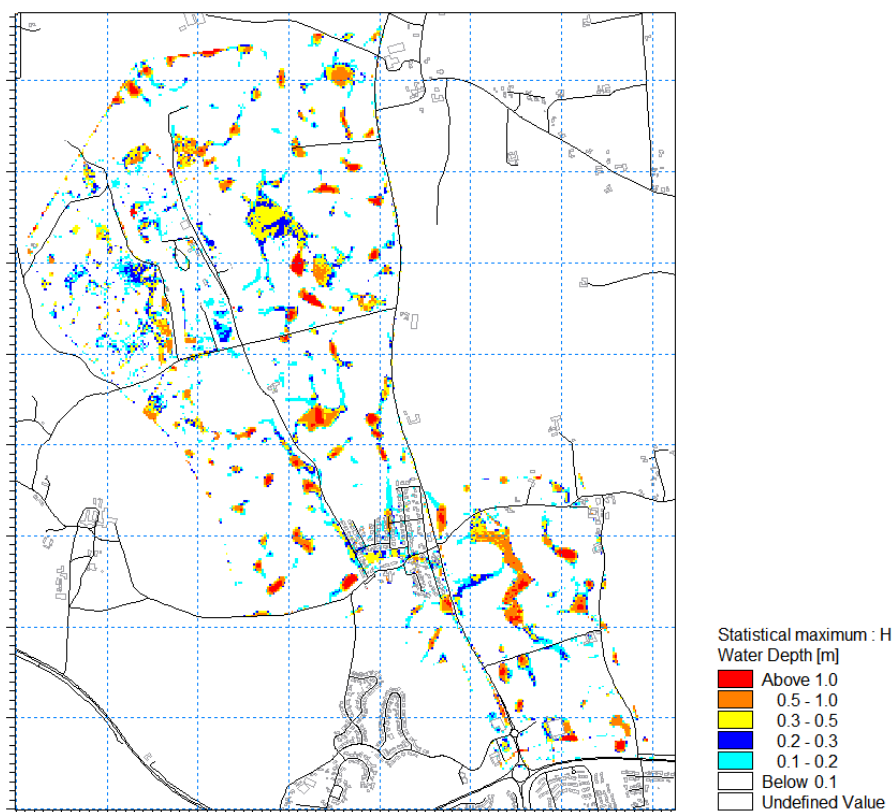


Figur 30. Volymflöde i kulverten från Bussjö till Djupadal över tid i enheten m^3/s , erhållet från körning med infiltrationsbeskrivning utifrån litteraturen.

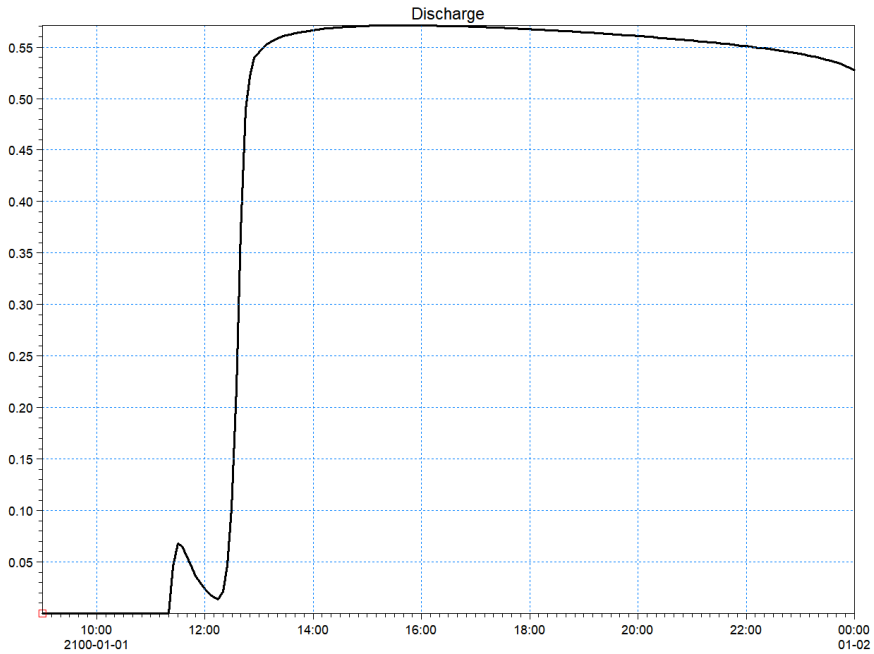
4.1.2. Hedeskoga

Modellen för Hedeskoga alstrade en regnvolym på $440\,800\,m^3$, en korrektionsvolym på $47\,300\,m^3$ och en infiltration på $244\,300\,m^3$. Fullständig vattenbalans återfinns i

Bilaga 3. De maximala vattendjupen i Hedeskoga visas i Figur 30 nedan. De sydligare delarna av modellområdet avrinner genom förorten och vidare sydöst längst med diken och kulvertar. Volymen som transporterades genom den kulvert som sammanbinder Hedeskoga och Djupadal uppgick i 37 200 m³ och i Figur 32 visas flödet över tid. I figuren framgår att det sker en kraftig ökning av utflöde från Hedeskoga efter lite mer än tre timmars simulering, vid 12:10. Det maximala flödet genom kulverten ligger på 0,57 m³/s.



Figur 31. Maximala vattendjup i Hedeskoga, erhållna från körning med infiltrationsbeskrivning utifrån litteraturen.

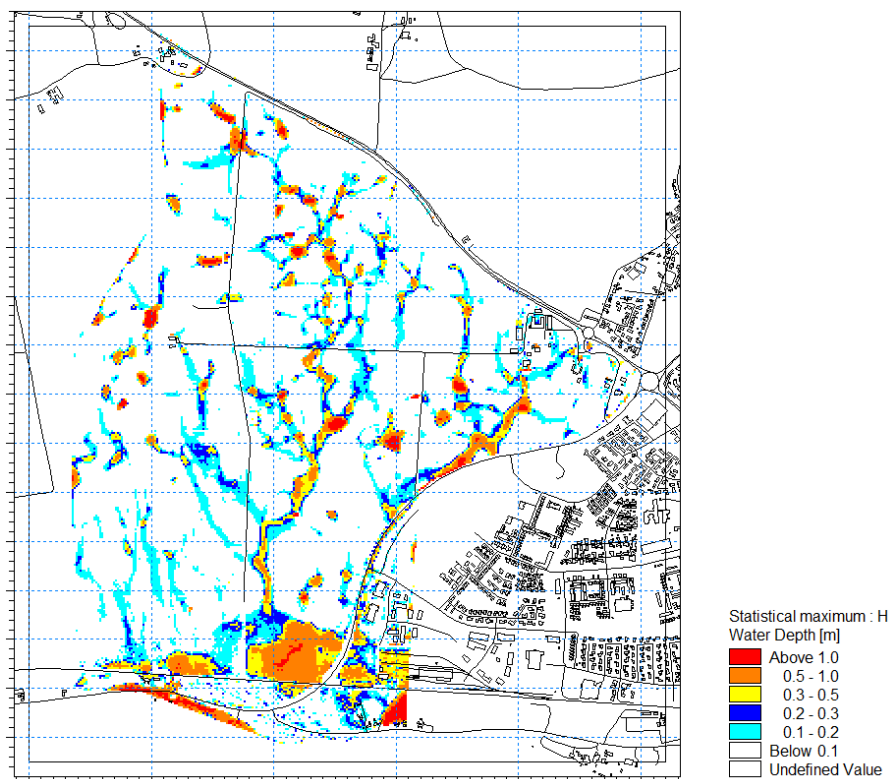


Figur 32. Volymflöde i kulverten från Hedeskoga till Djupadal över tid i enheten m^3/s , erhållet från körning med infiltrationsbeskrivning utifrån litteraturen.

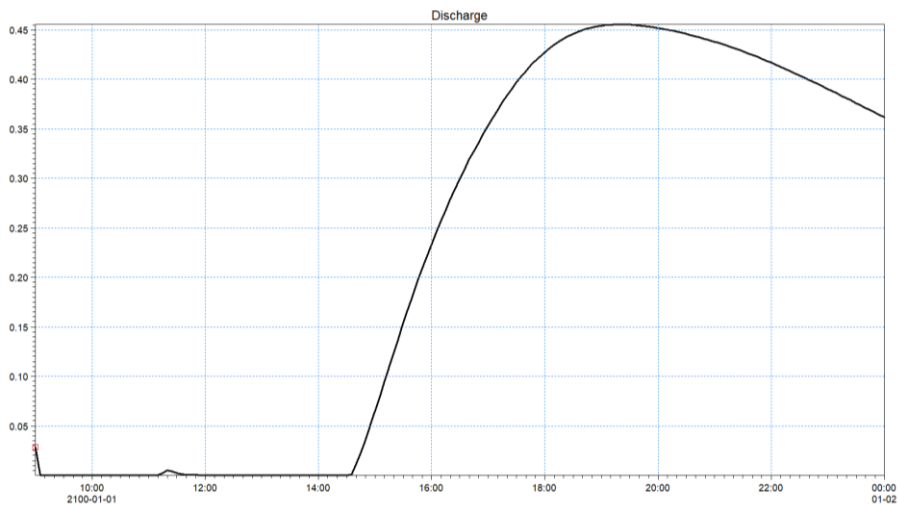
4.1.3. Västra

I modellområdet Västra genererades en regnvolym på $418\,400\,m^3$, en korrektionsvolym på $54\,100\,m^3$ och en infiltrerad volym på $269\,300\,m^3$. En volym på $12\,300\,m^3$ rann under viadukten in till Ystad tätort. Mer detaljerad vattenbalans redovisas i

Bilaga 3. Större delar av modellområdet avrinner söderut, och vattenmassor samlas upp längst med väg och järnväg. I Figur 33 redovisas statistiskt beräknade maximala översvämningdjup i Västra under hela körningen och i Figur 34 visas volymflöde över tid under viadukten. Figuren visar att en ökning av flödet sker vid 14:30 och att flödet når en topp på ca 0,45 m³/s vid 19:20 för att sedan minska.



Figur 33. Maximala vattendjup i Västra, erhållna från körning med infiltrationsbeskrivning utifrån litteraturen.

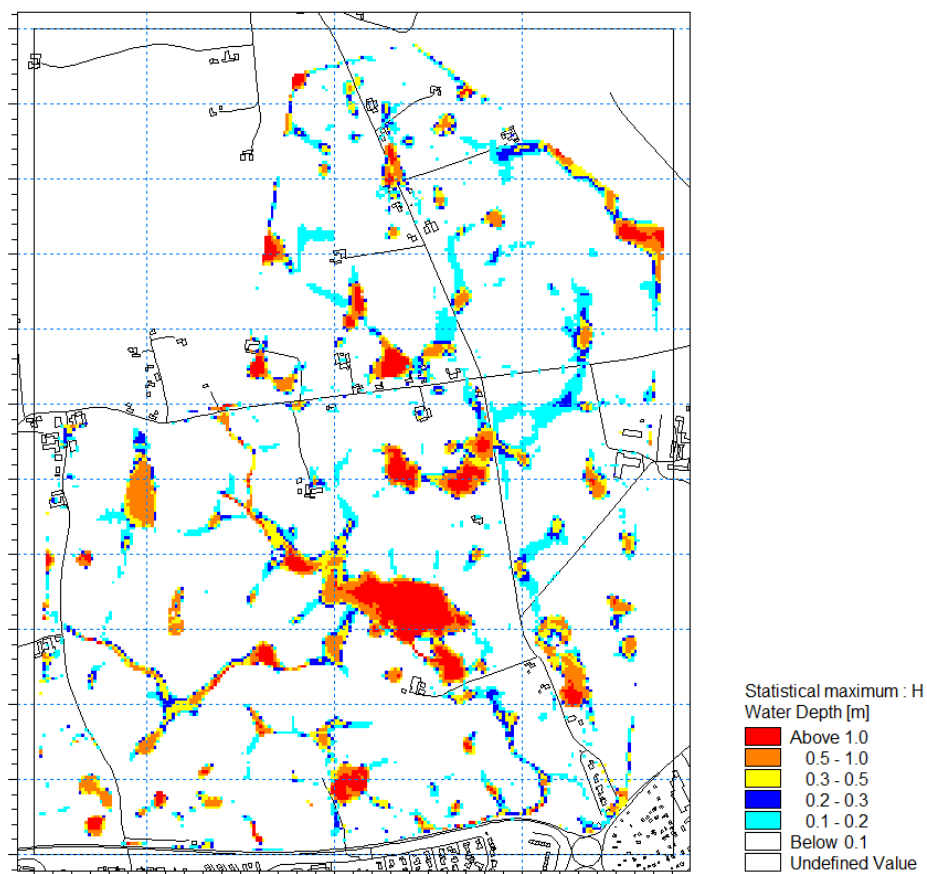


Figur 34. Volymflöde i viaduktundergången från Västra till Ystad tätort över tid i enheten m^3/s , erhållet från körning med infiltrationsbeskrivning utifrån litteraturen.

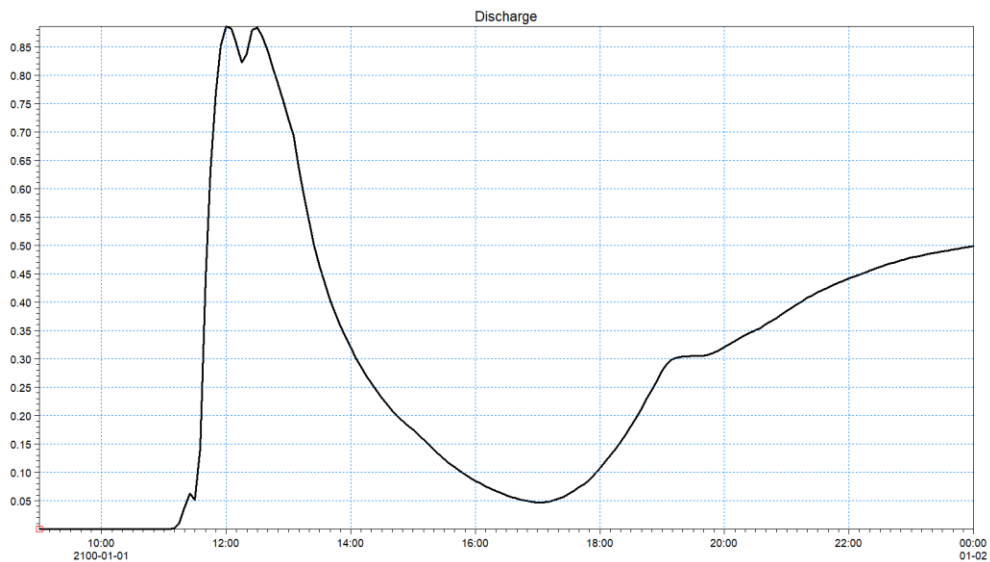
4.1.4. Djupadal

I modellområdet Djupadal genererades en regnvolym på $292\,600\text{ m}^3$ och en korrektionsvolym på $28\,000\text{ m}^3$. $147\,400\text{ m}^3$ infiltrerade i marken och $15\,800\text{ m}^3$ rann genom kulvert vidare till Djupadal. Fullständig vattenbalans redovisas i

Bilaga 3. Avrinning från stora delar av modellområdet, samt även vattnet från Bussjö och Hedeskoga, rinner vidare norrut längst med diken och kulvertar. I Figur 35 redovisas statistiskt beräknade maximala översvämningdjup i Djupadal under hela körningen och i Figur 36 visas volymflöde i den kulvert som leder ut ur Djupadal och in i Ystad tätort. Den senare figuren visar ett en betydlig ökning av flödet ut ur Djupadal sker vid 11:20 och att flödet når två toppar på nära $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ vid 12:00 och 12:30. Efter dessa första toppar minskar flödet ut från Djupadal successivt fram till 19:00, då det börjar öka igen. Denna andra flödesökning är dock inte lika dramatisk som den första.



Figur 35. Maximala vattendjup i Djupadal, erhållna från körning med infiltrationsbeskrivning utifrån litteraturen.

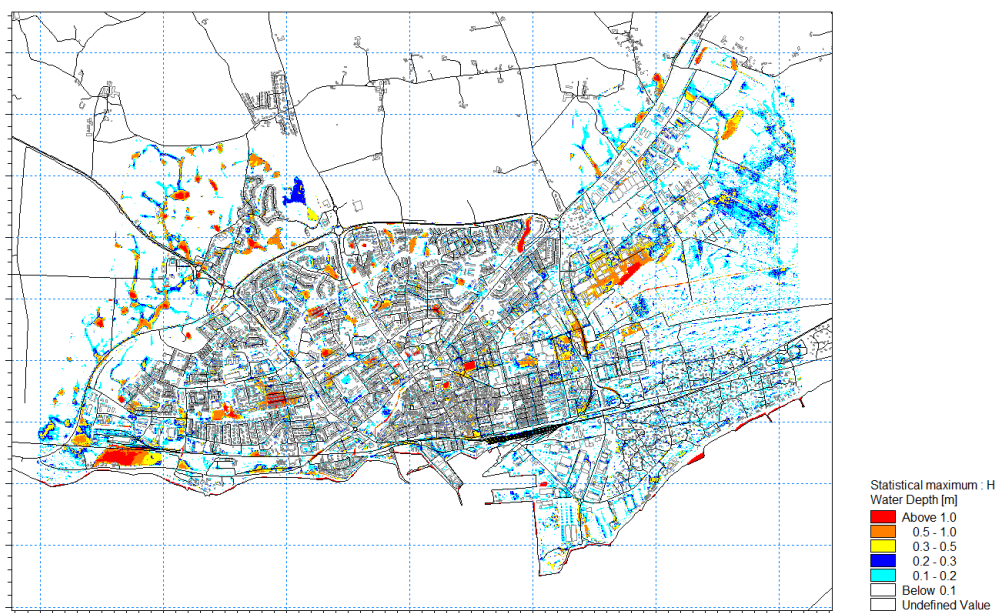


Figur 36. Volymflöde i kulverten från Djupadal till Ystad tätort över tid i enheten m^3/s , erhållet från körning med infiltrationsbeskrivning utifrån litteraturen.

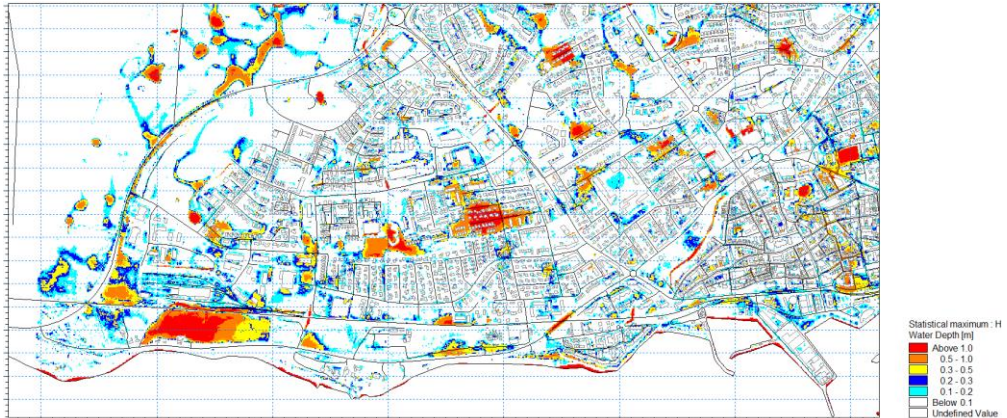
4.1.5. Ystad tätort

I modellområdet Ystad tätort genererades en regnvolym på $2\,266\,800\ m^3$ och en korrektionsvolym på $209\,300\ m^3$. $769\,100\ m^3$ infiltrerade i marken och $10\,700\ m^3$ rann in från Västra och Djupadal. Fullständig vattenbalans redovisas i

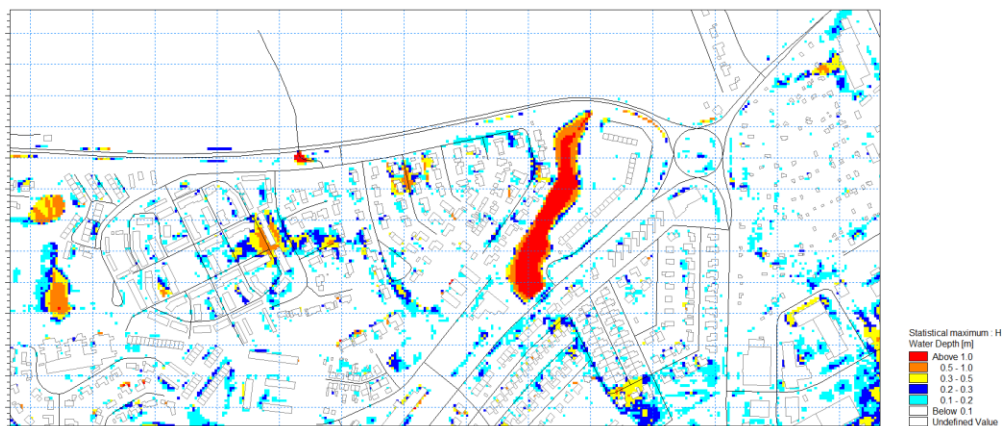
Bilaga 3. I Figur 37 redovisas statistiskt beräknade maximala översvämningsdjup i Ystad tätort under hela körningen, medan Figur 38 och Figur 39 visar detsamma över de västra delarna av tätorten respektive runt inloppet från Djupadal. Den stora majoriteten av översvämningarna inne i tätorten är ett resultat av avrinning från mark inom tätorten. I de västra delarna av tätorten sker dock en avrinning från åkermark över den yttre vägen och längst med denna, för att samlas upp på obebyggda ytor intill järnvägen. Avrinningen under viadukten från Västra avrinner mot den södra sidan av järnvägen och samlas upp på en stor översvämningsyta intill järnvägen. Avrinningen ifrån åkermarken till norr om Ystad, vilken skedde genom en dräneringskulvert, ryms i det stora dike som återfinns vid kulvertens utlopp och orsakar inga ytterligare översvämningar i tätorten.



Figur 37. Maximala vattendjup i Ystad tätort, erhållna från körning med infiltrationsbeskrivning utifrån litteraturen.



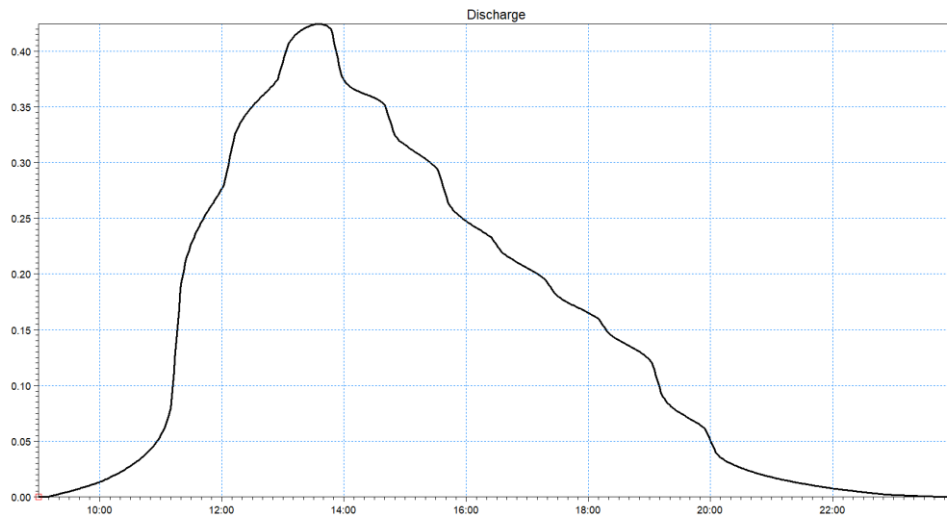
Figur 38. Maximala vattendjup i de västra delarna av Ystad tätort, erhållna från körning med infiltrationsbeskrivning utifrån litteraturen.



Figur 39. Maximala vattendjup i norra delen av Ystad tätort, vid inloppet från Djupadal, erhållna från körning med infiltrationsbeskrivning utifrån litteraturen.

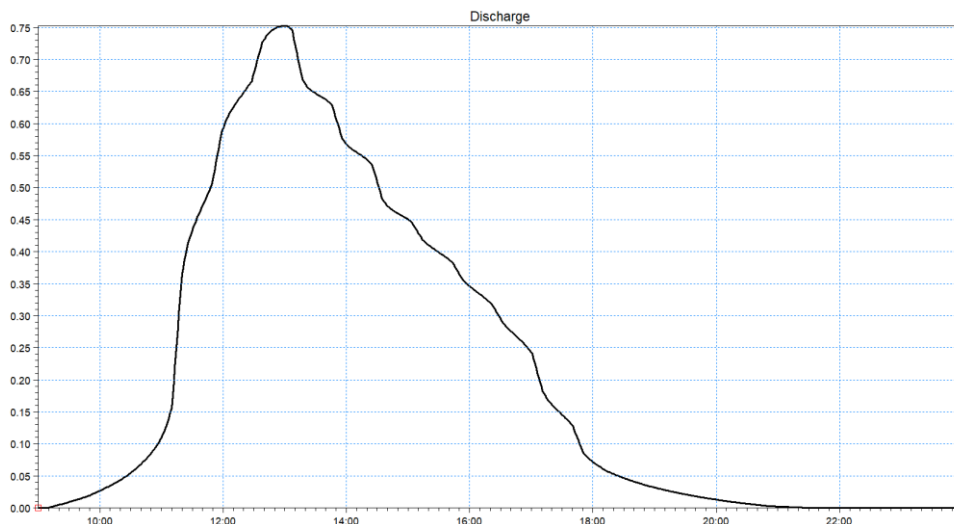
4.2. Avrinning enligt tid-area-metoden

I modellområdet Västra avrinner en volym på $8\,300\text{ m}^3$ under viadukten in till Ystad tätort. I Figur 40 visas volymflöde över tid i denna passage, från vilken det framgår att flödet når en topp på $0,42\text{ m}^3/\text{s}$ vid 13:40.



Figur 40. Volymflöde i viaduktundergången mellan Västra och Ystad tätort enligt tid-areametoden. Volymflödet visas över tid i enheten m^3/s .

I avrinningsområdet Djupadal avrinner en volym på $11\,600\,m^3$ genom kulvert in till Ystad tätort. I Figur 41 visas volymflöde över tid i denna tunnel, från vilken det framgår att flödet når en topp på $0,75\,m^3/s$ vid 13:00.



Figur 41. Volymflöde i kulverten från Djupadal till Ystad tätort enligt tid-areametoden. Volymflödet visas över tid i enheten m^3/s

4.3. Högsta högvattenföring

I Tabell 19 ligger de beräknade resultaten från Västra och Djupadal.

Tabell 19. Beräknad medelvattenföring, justerad högvattenföring, samt högsta högvattenföring vid regn med en återkomsttid på 100 år, i Västra och Djupadal.

Modellområde	Västra	Djupadal
Medelvattenföring, MQ [m ³ /s]	0,04	0,03
Justerad högvattenföring, MHQ [m ³ /s]	0,91	0,64
Högsta högvattenföring vid regn med en återkomsttid på 100 år, HHQ ₁₀₀ [m ³ /s]	3,64	2,54

4.4. Tidigare erfarenheter från Ystad kommun

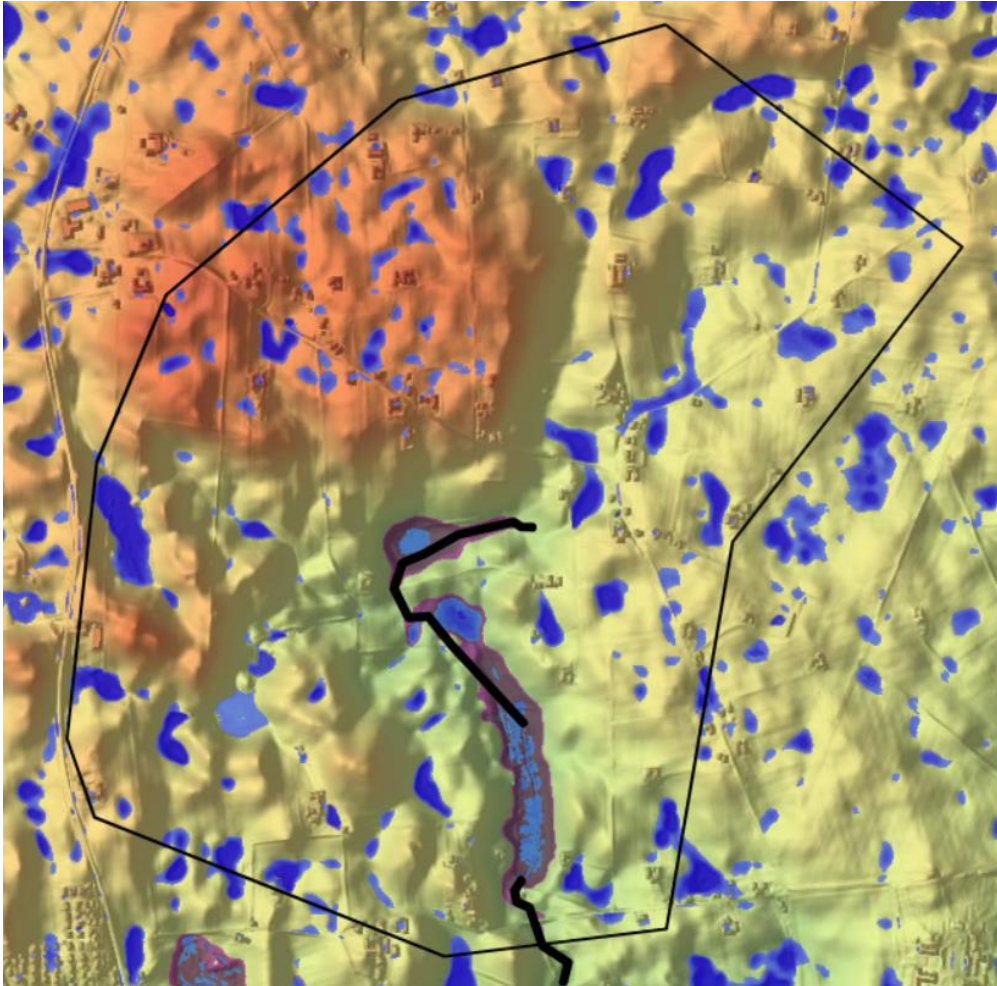
Enligt Alexia Lundberg och Lars Mellberg (personlig kommunikation, 21 april, 2020), båda VA-ingenjörer på Ystad kommun, finns viss erfarenhet av översvämningsproblematik i Ystad. I två bostadsområden i västra Ystad har det varit problem med vattenmättad mark och vattenansamlingar på gräsmattor. Det uppges att det i ett dessa bostadsområden installerats en kupolbrunn för att komma tillrätta med problemen. Dock har kommuninvånare i dessa bostadsområden inte uppmärksammat några problem med källaröversvämningar. Också vid ett nyexploateringsområde i de västra delarna av Ystad har det uppstått problem med översvämningsytor vid regn. I övrigt uppges det inte finnas någon väsentlig erfarenhet av specifika översvämningsytor eller riskområden.

4.5. Analyser i Scalgo

Resultat från de beräkningar som gjorts i Scalgo, i form av vattenbalans och översvämningsutbredning, redovisas nedan i separata avsnitt.

4.5.1. Bussjö

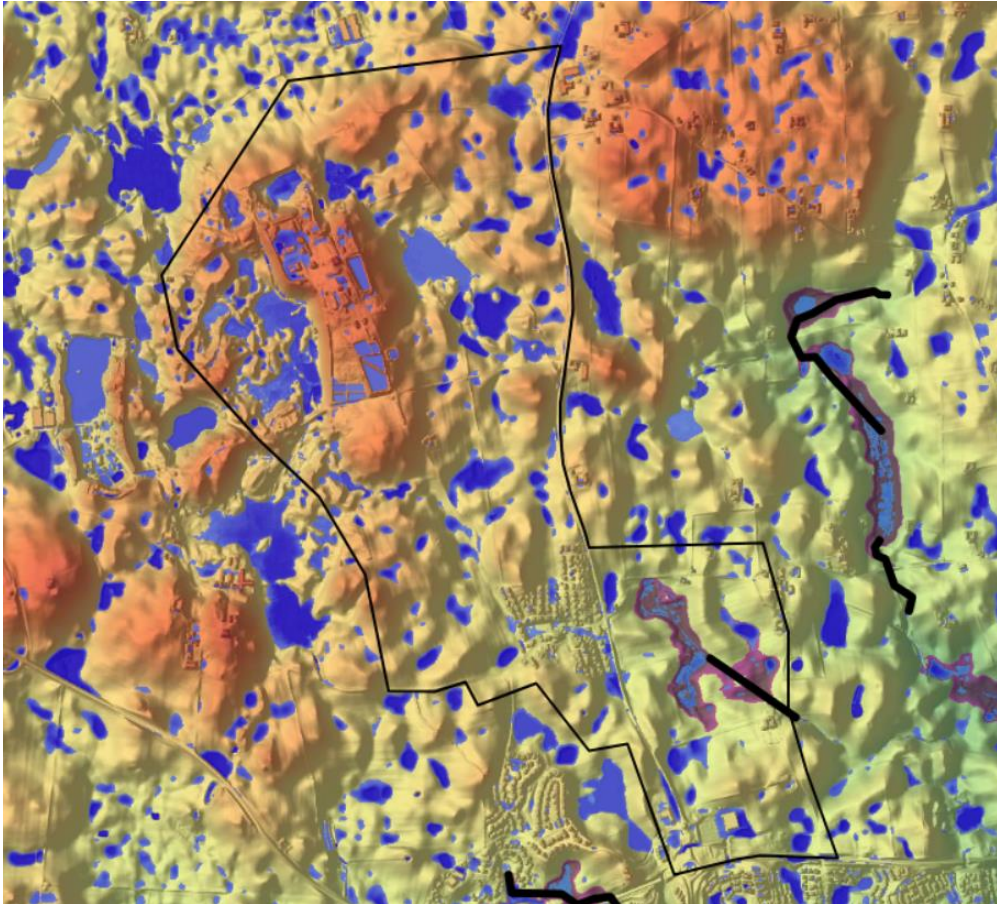
I modellområdet Bussjö genererades en regnvolym på 454 300 m³. Resultande översvämningar visas i Figur 42. Av resultatet framgår att de vattenmassor som ansamlas längst med diken och kulverterad ledning avrinner nedströms till Djupadal. De avrunna volymerna motsvarar ca 200 000 m³.



Figur 42. Översvämningar i Bussjö enligt Scalgos beräkningar. Översvämningsutbredning utan hänsyn till kulvertering visas i lila och med kulvertering i blått. Kulvertar illustreras med fet svart linje (Scalgo, u.å. r).

4.5.2. Hedeskoga

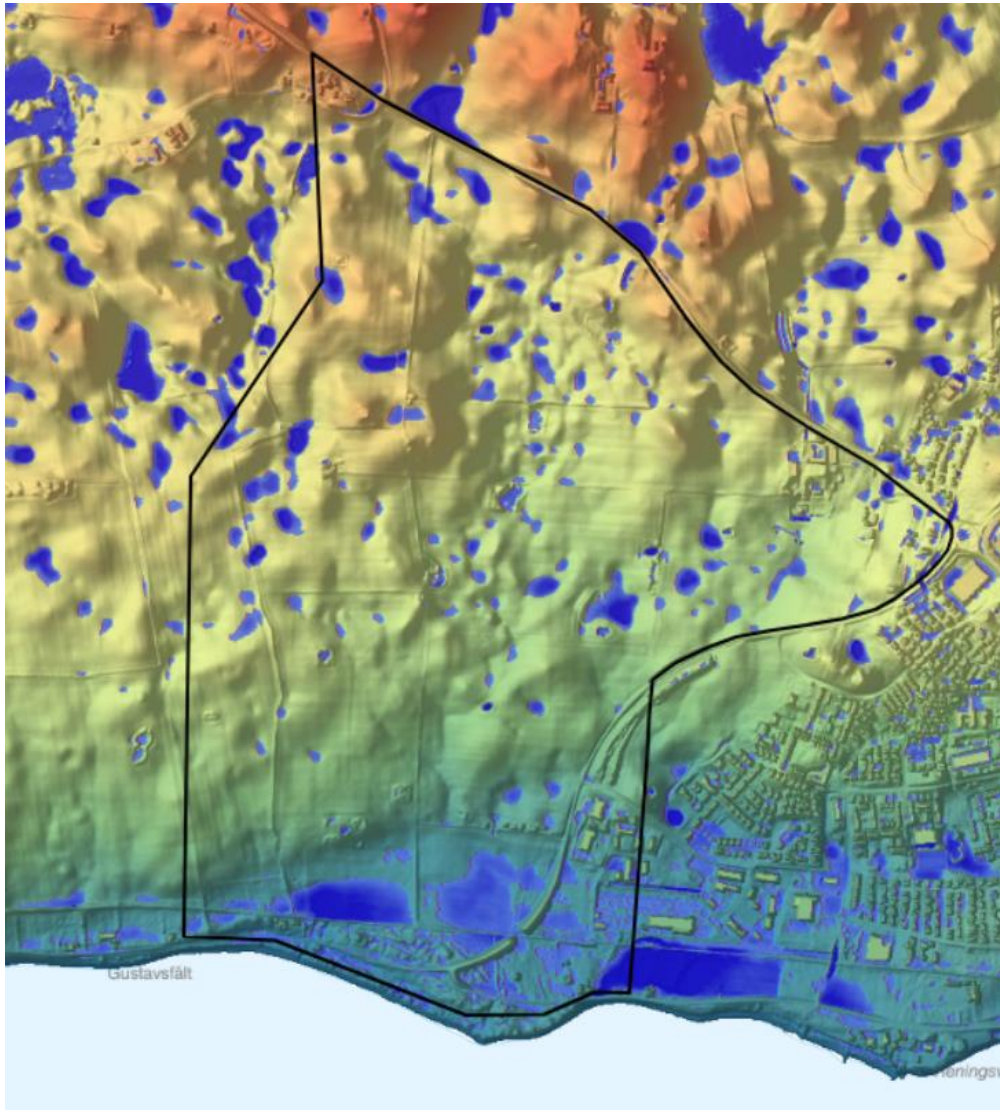
I modellområdet Hedeskoga genererades en regnvolym på 441 100 m³. Resulterande översvämningar visas i Figur 43. Av resultatet framgår att större vattenmassor som ansamlas i sänkor längst med den kulverterade ledningen i de sydöstra delarna av området avrinner nedströms. Avrunnen volym i de sydvästra delarna motsvarar ca 100 000 m³.



Figur 43. Översvämningar i Hedekoga enligt Scalgos beräkningar. Översvämningsutbredning utan hänsyn till kulvertering visas i lila och med kulvertering i blått. Kulvertar illustreras med fet svart linje (Scalgo, u.å. s).

4.5.3. Västra

I modellområdet Västra genererades en regnvolym på 413 600 m³. Resulterande översvämningar visas i Figur 44. Med Scalgos tillgängliga analysverktyg kunde det även fastställas att avrinning sker under viadukten, vilken representeras av en korrigering av höjddatan i form av ett avbrott i vägen. Denna avrinning sker väl inne i tätorten till en stor översvämningsyta söder om järnvägen.

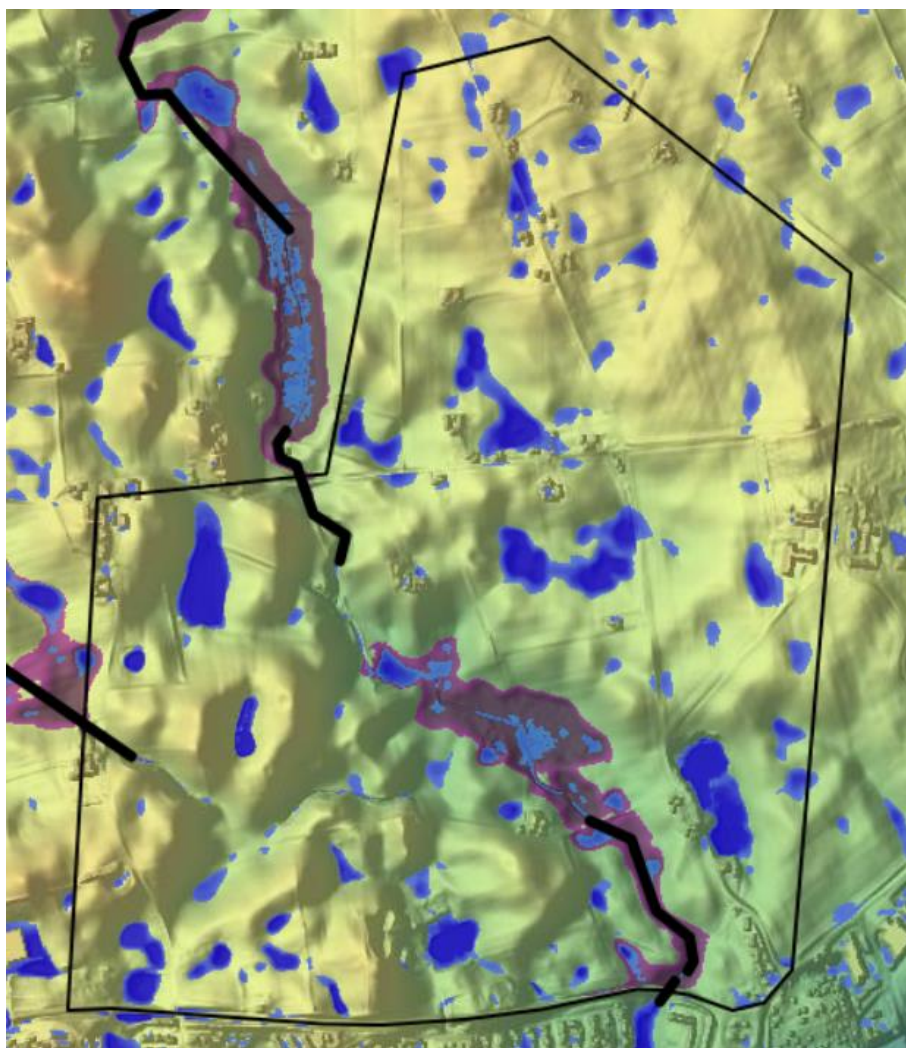


Figur 44. Översvämningar i Västra enligt Scalgos beräkningar(Scalgo, u.å. t).

4.5.4. Djupadal

I modellområdet Djupadal genererades en regnvolym på 291 500 m³. Resultande översvämningar visas i Figur 45. Av resultatet framgår att vattenmassor som ansamlas i sänkor längst med den kulverterade ledningen likaså här avrinner nedströms. Översvämningarna är därför mindre än de hade varit ifall den kulverterade avrinningen inte tagits i beaktning, trots inflöden

från både Bussjö och Hedeskoga. Utöver volymerna ifrån de uppströms områdena motsvarade avrinningen från Djupadal ca 100 000 m³.

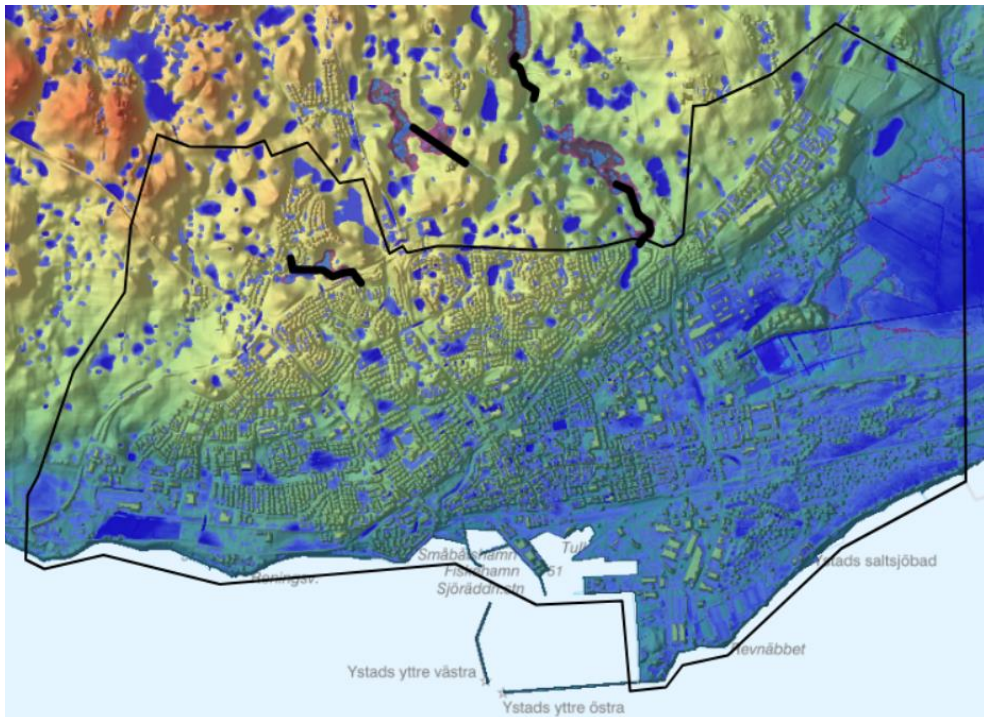


Figur 45. Översvämningar i Djupadal enligt Scalgos beräkningar. Översvämningsutbredning utan hänsyn till kulvertering visas i blått, och med kulvertering i lila. Kulvertar illustreras med fet svart linje (Scalgo, u.å. u).

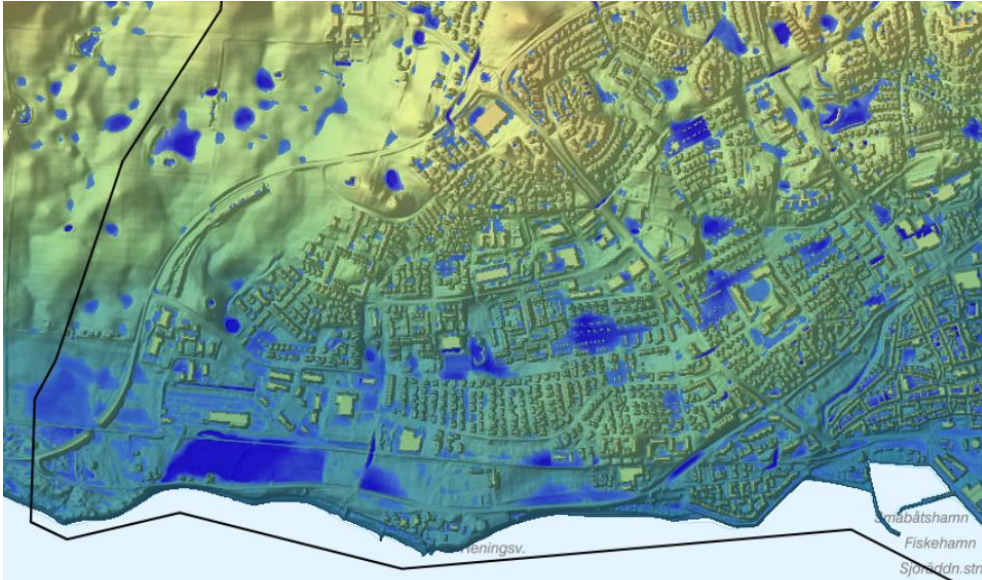
4.5.5. Ystad tätort

I modellområdet Ystad tätort genererades en regnvolym på 1 795 200 m³ och den sammanlagda avrinningen norrifrån uppgick i ca 400 000 m³. Det vatten som avrinner från norr såväl som från förorten Kjällesjö tycks inte i någon stor

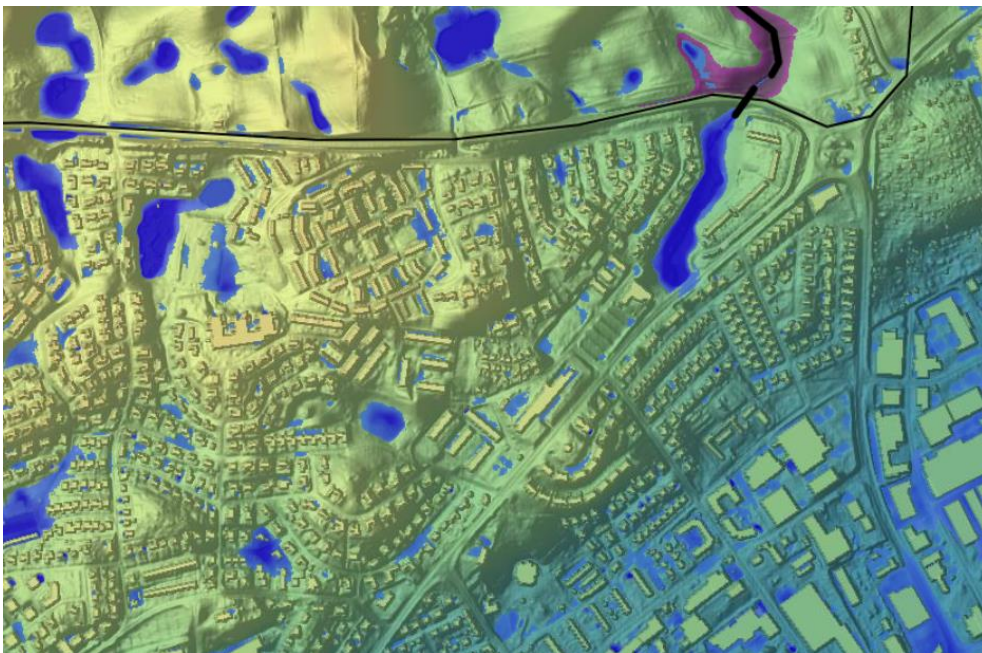
utsträckning bidra till nya översvämningsytor i staden. Resulterande översvämningsytor visas i Figur 46.



Figur 46. Översvämningsytor i Ystad tätort enligt Scalgos beräkningar. Översvämningsutbredning utan hänsyn till kulvertering visas i lila, och med kulvertering i blått. Kulvertar illustreras med fet svart linje (Scalgo, u.å. v).



Figur 47. Översvämningar i de västra delarna av Ystad tätort enligt Scalgos beräkningar (Scalگو, u.å. w).



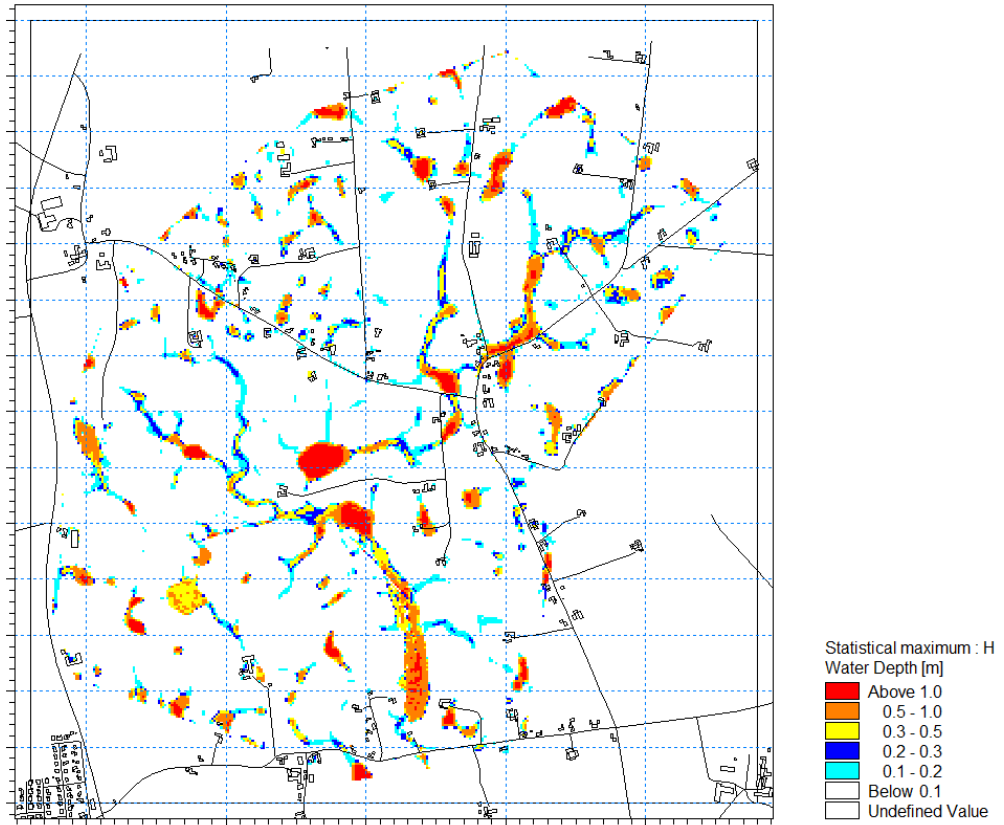
Figur 48. Översvämningar i norra delen av Ystad tätort, vid inloppet från Djupadal, enligt Scalgos beräkningar. Översvämningsutbredning utan hänsyn till kulvertering visas i lila, och med kulvertering i blått. Kulvertar illustreras med fet svart linje (Scalگو, u.å. x).

4.6. Modeller med Tyréns standardvärden

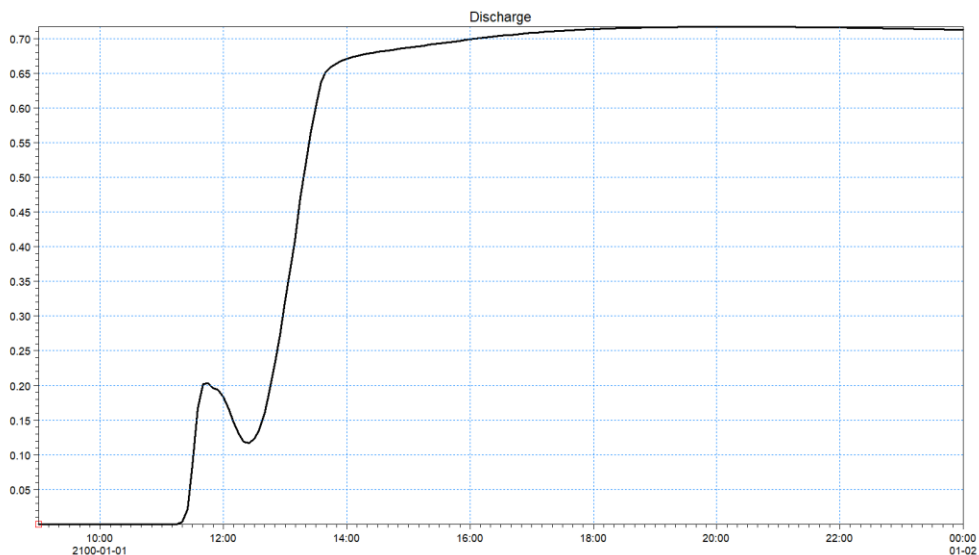
Resultat från de modeller som skapades med Tyréns standardvärden, i form av vattenbalans, maximala vattendjup och volymflöde, redovisas nedan i separata avsnitt.

4.6.1. Bussjö

I modellområdet Bussjö genererades under körning en regnvolym på 455 700 m³ och en korrektionsvolym på 120 700 m³. 293 800 m³ infiltrerade i marken och 28 800 m³ rann genom kulvert vidare till Djupadal. Fullständig vattenbalans redovisas i Bilaga 4. I Figur 49 redovisas statistiskt beräknade maximala översvämningsdjup i Bussjö under hela körningen. I Figur 50 visas volymflöde i den kulvert som leder ut ur Bussjö och in i Djupadal. Figuren visar att en betydlig ökning av flödet ut ur Bussjö sker mellan ca 12:20 och 13:40. Flödet förblir sedan på en hög nivå, omkring 0,7 m³/s, genom körningen men börjar sakta minska de sista timmarna.



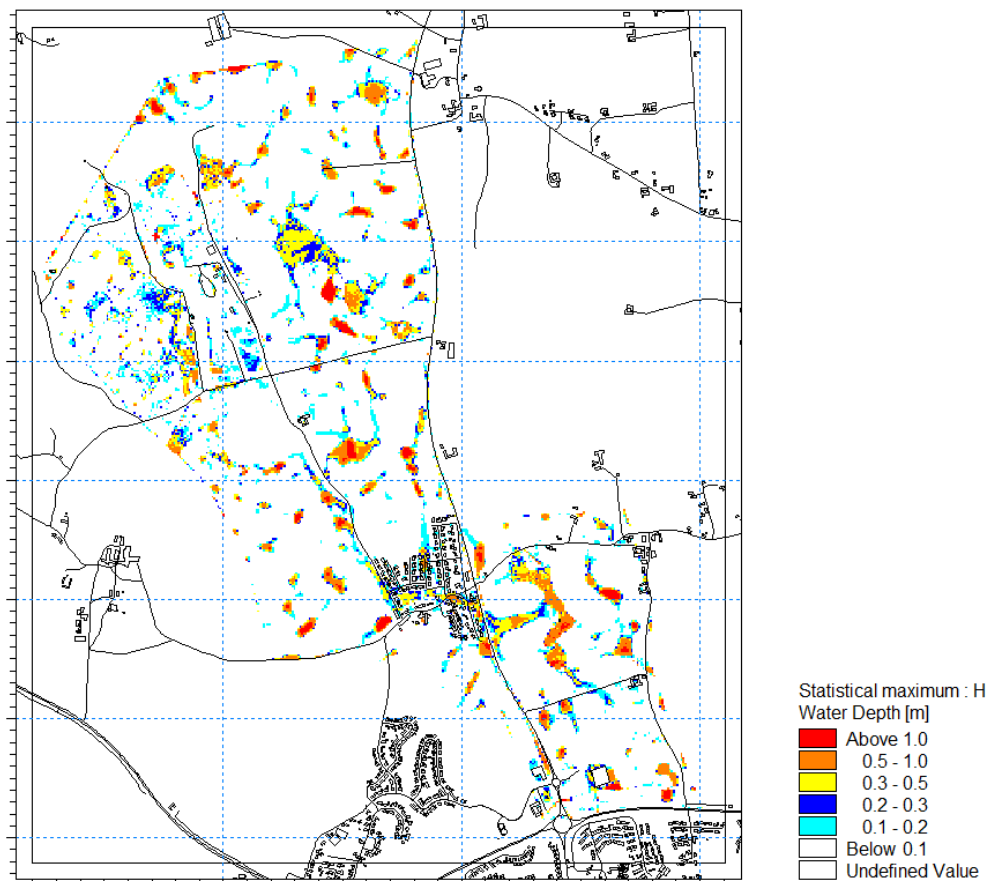
Figur 49. Maximala vattendjup i Bussjö enligt Tyréns standardvärden för infiltrationen.



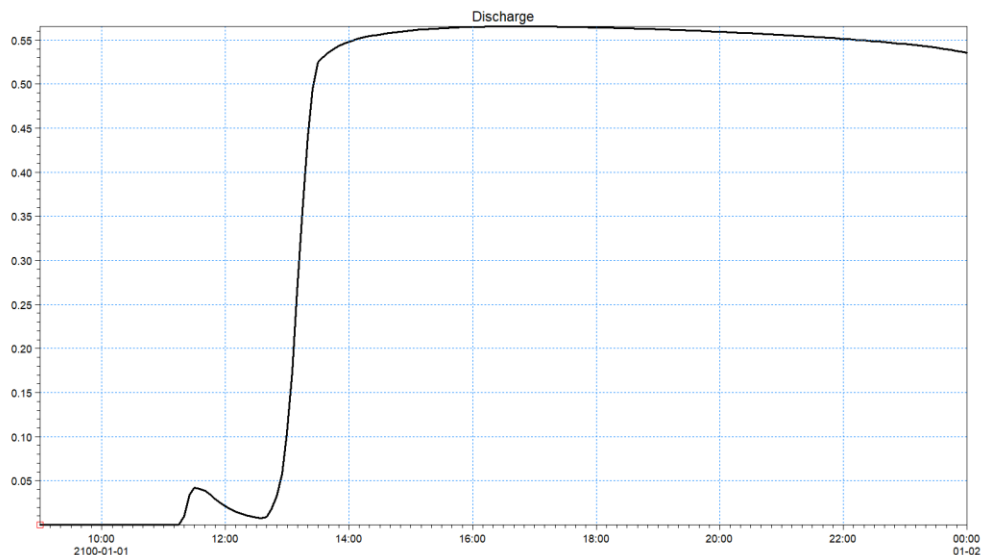
Figur 50. Volymflöde i kulvert från Bussjö och Djupadal enligt Tyréns standardvärden för infiltrationen. Volymflödet visas över tid i enheten m³/s.

4.6.2. Hedeskoga

I modellområdet Hedeskoga genererades en regnvolym på 440 800 m³ och en korrektionsvolym på 106 000 m³. 280 400 m³ infiltrerade i marken och 21 900 m³ rann genom kulvert vidare till Djupadal. Fullständig vattenbalans redovisas i Bilaga 4. I Figur 51 redovisas statistiskt beräknade maximala översvämningsdjup i Hedeskoga under hela körningen. I Figur 52 visas volymflöde i den kulvert som leder ut ur Hedeskoga och in i Djupadal. Figuren visar ett betydligt ökning av flödet ut ur Hedeskoga sker mellan kl. 12:40 och kl. 13:30. Flödet förblir sedan på en hög nivå, med ett maximum på 0,56 m³/s, genom körningen men börjar minska under de sista timmarna.



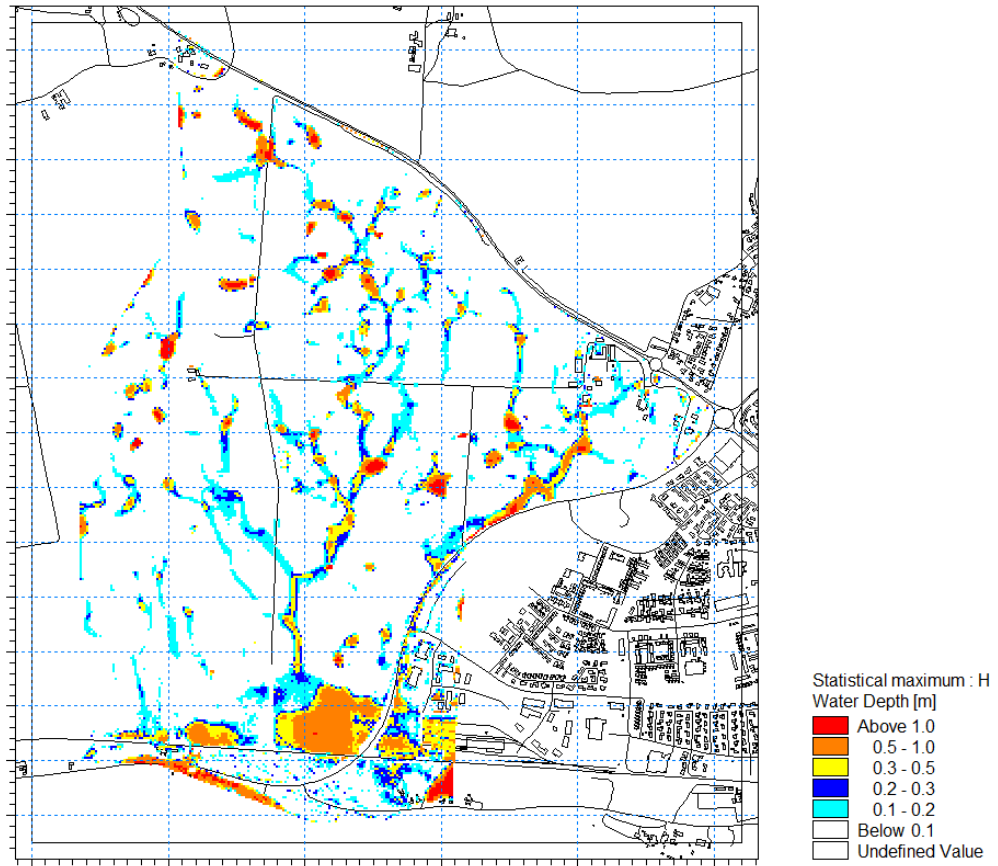
Figur 51. Maximala vattendjup i Hedeskoga enligt Tyréns standardvärden för infiltration.



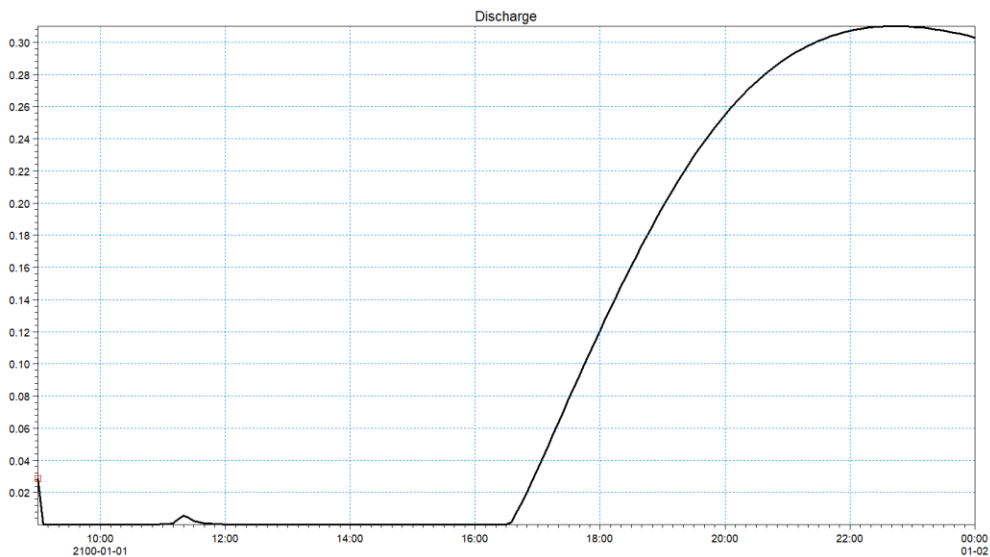
Figur 52. Volymflöde i kulverten från Hedeskoga till Djupadal enligt Tyréns standardvärden för infiltrationen. Volymflödet visas över tid i enheten m³/s.

4.6.3. Västra

I modellområdet Västra genererades en regnvolym på 418 400 m³ och en korrektionsvolym på 119 100 m³. 331 700 m³ vatten infiltrerade i marken. En volym på 6 000 m³ rann under väg 9 in till Ystad tätort. Mer detaljerad vattenbalans redovisas i Bilaga 4. I Figur 53 redovisas statistiskt beräknade maximala översvämningsdjup i Västra för körningen. I Figur 54 visas volymflöde i den järnvägspassage som leder vatten ut ur Västra och in i Ystad tätort. Figuren visar ett en ökning av flödet ut ur Västra sker vid 16:30 och att flödet når en topp på 0,31 m³/s vid 22:40 för att sedan minska.



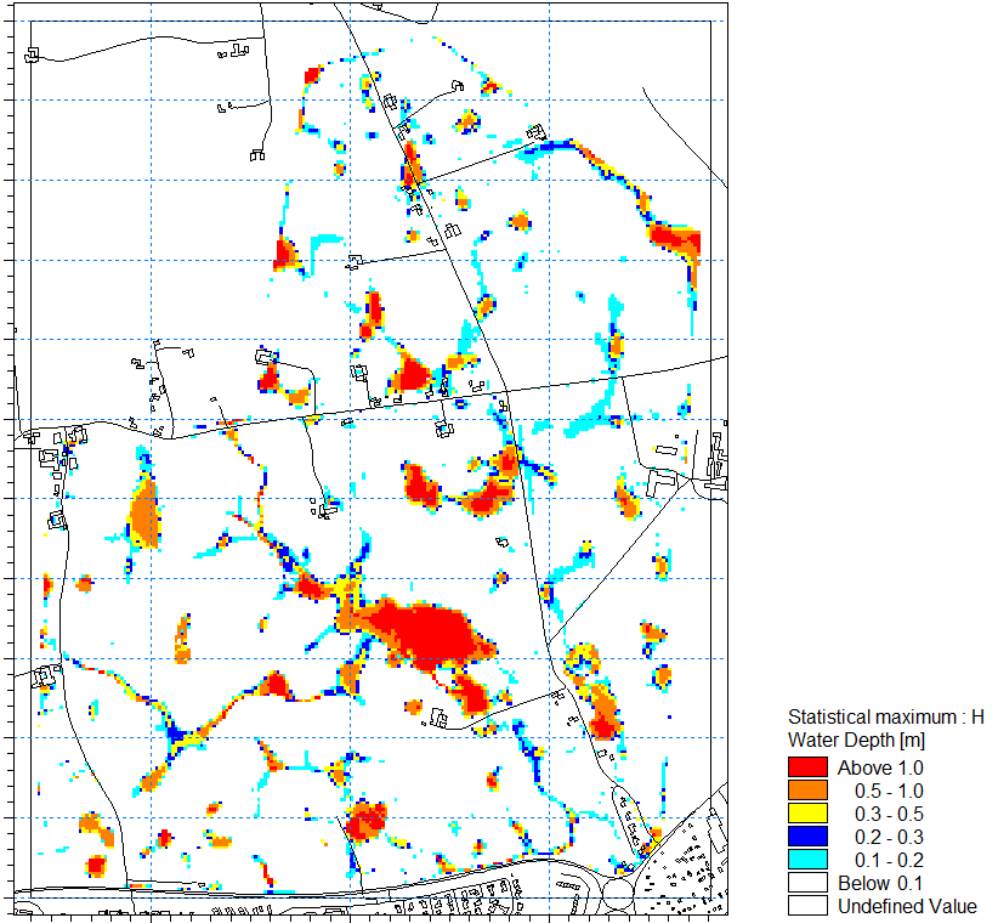
Figur 53. Maximala vattendjup i Västra enligt Tyréns standardvärden för infiltrationen.



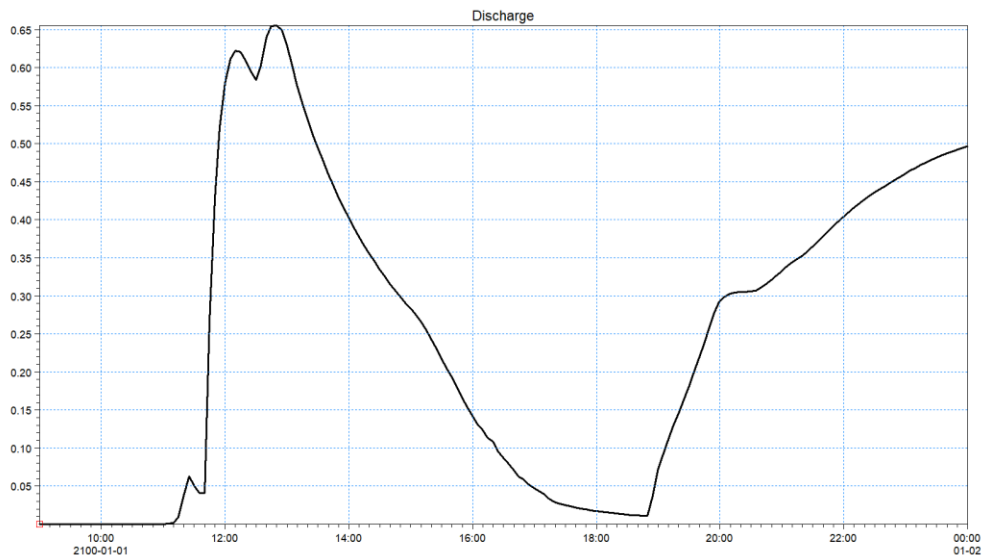
Figur 54. Volymflöde i viaduktundergången från Västra till Ystad tätort enligt Tyréns standardvärden för infiltrationen. Volymflödet visas över tid i enheten m³/s.

4.6.4. Djupadal

I modellområdet Djupadal genererades en regnvolym på 292 600 m³ och en korrektionsvolym på 82 600 m³. 197 600 m³ infiltrerade i marken och 14 100 m³ rann genom kulvert vidare till Djupadal. Fullständig vattenbalans redovisas i Bilaga 4. I Figur 55 redovisas statistiskt beräknade maximala översvämningsdjup i Djupadal för körningen. I Figur 56 visas volymflöde i den kulvert som leder ut ur Djupadal och in i Ystad tätort. Figuren visar ett en betydlig ökning av flödet ut ur Djupadal sker vid 11:30 och att flödet når två toppar på 0,62 och 0,66 m³/s vid 12:20 respektive 12:40. Efter dessa första toppar minskar flödet ut från Djupadal successivt fram till 18:50, då det börjar öka igen. Denna andra flödesökning är dock inte lika dramatisk som den första.



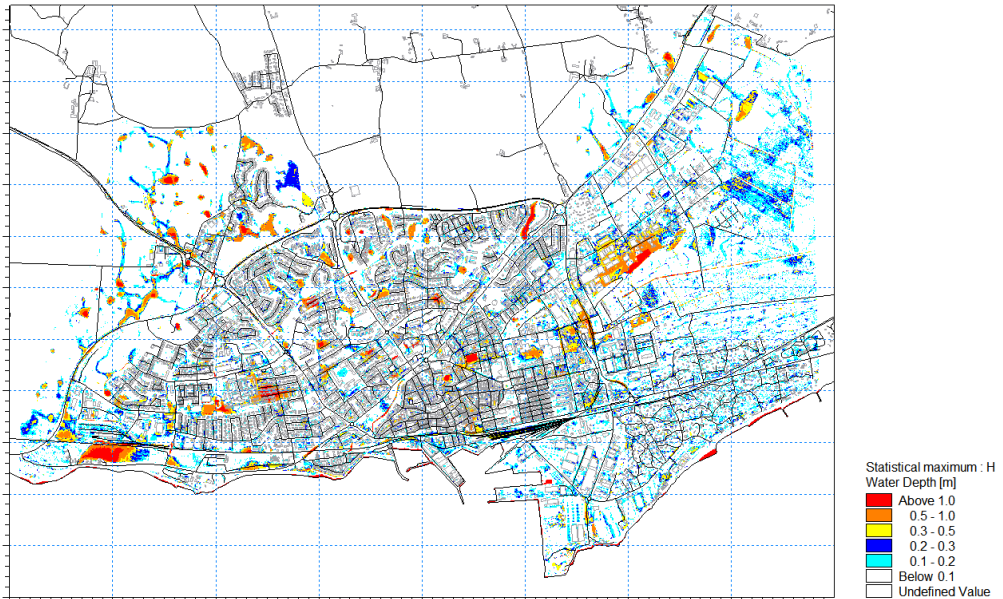
Figur 55. Maximala vattendjup i Djupadal enligt Tyréns standardvärden för infiltrationen.



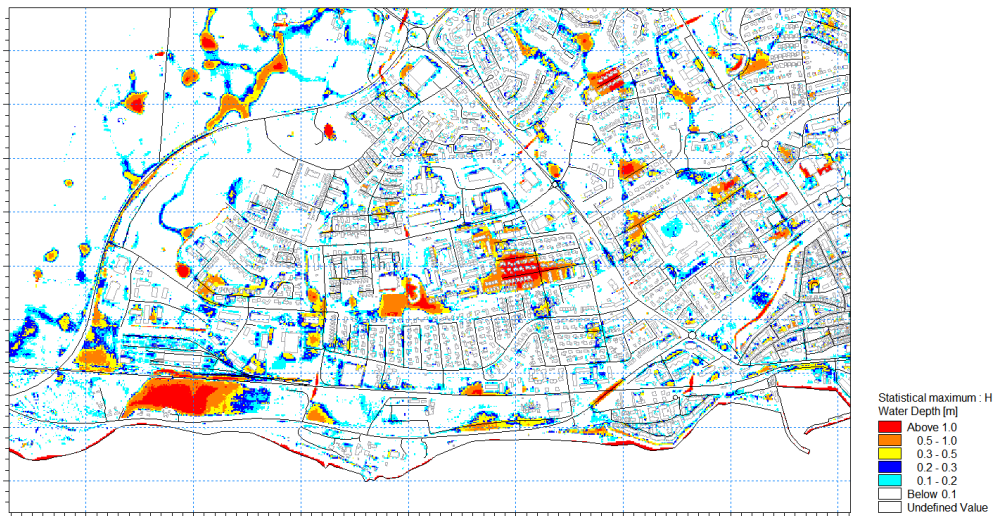
Figur 56. Volymflöde i kulverten från Djupadal till Ystad tätort enligt Tyréns standardvärden för infiltrationen. Volymflödet visas över tid i enheten m^3/s .

4.6.5. Ystad tätort

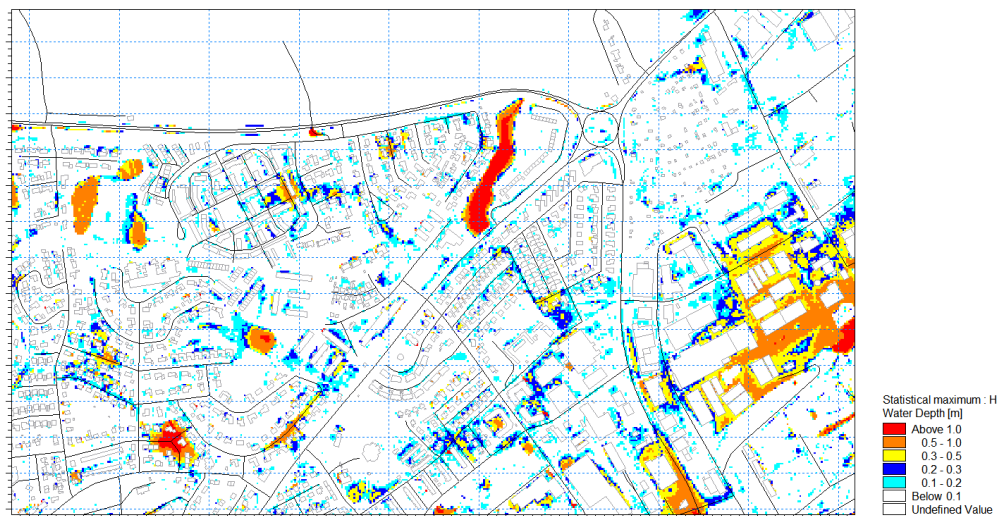
I modellområdet Ystad tätort genererades en regnvolym på $2\,266\,800\text{ m}^3$ och en korrektionsvolym på $284\,600\text{ m}^3$. $856\,700\text{ m}^3$ infiltrerade i marken. Fullständig vattenbalans redovisas i Bilaga 4. I Figur 57 redovisas statistiskt beräknade maximala översvämningsdjup över hela Ystad tätort, och i Figur 58 och Figur 59 visas detsamma för de västra respektive norra delarna av tätorten.



Figur 57. Maximala vattendjup i Ystad tätort enligt Tyréns standardvärden för infiltrationen.



Figur 58. Maximala vattendjup i de västra delarna av Ystad tätort enligt Tyréns standardvärden för infiltration.



Figur 59. Maximala vattendjup i norra delen av Ystad tätort, vid inloppet från Djupadal enligt Tyréns standardvärden för infiltrationen.

5. Diskussion

Då rapporten ämnar svara på flertalet frågeställningar diskuteras dessa separat utifrån relevanta resultat. I ett första underavsnitt tolkas resultatet från de modeller som konstruerats utifrån litteraturen och genom jämförelser med resultat från beräkningar och tidigare erfarenheter av översvämningar i Ystad förs resonemang kring hur väl infiltration i åkermark har beskrivits i dessa modeller. I ett andra avsnitt utvärderas vilken betydelse en medräkning av infiltrationen i åkermark har, samt vilken betydelse den exakta beskrivningen av infiltrationen i åkermark har. Detta genom jämförelser med resultat från kartering i Scalgo Live, i vilken infiltration inte beräknas, och med resultat från de modeller som endast använde Tyréns standardvärden för infiltrationen. I ett sista avsnitt diskuteras osäkerheter utifrån litteraturstudien.

5.1. Beskrivning av åkermark

Värden att använda för de olika infiltrationsparametrarna i Mike 21 valdes och motiverades i litteraturstudiens avslutande avsnitt ”2.3 Diskussion och slutsatser”. För de texturer som finns i modellområdena presenterades samtliga parametervärden i Tabell 18 i avsnitt ”3.4 Värden på infiltrationen i åkermark”.

Körningen av modellområdet Ystad tätort med litteraturvärden resulterade i flera översvämningssytor, vilka kan observeras i Figur 37. Den stora majoriteten av dessa översvämningar är ett resultat av avrinning från mark inom tätorten. I de västra delarna av tätorten sker dock en avrinning från åkermarken till väster om tätorten över den yttre vägen såväl som under en viadukt i denna. Denna avrinning är dock begränsad till de västligaste, obebyggda delarna av Ystad tätort. Ett avrinningsstråk löper längst med den yttre vägen och vattenmassor samlas upp på ytor intill järnvägen. Detta avrinningsstråk och resulterande översvämningssytor visas i Figur 38. Avrinningen ifrån åkermarken till norr om Ystad, vilken skedde genom en dräneringskylvert, kvarhölls i det stora dike som återfinns vid kylvertens utlopp i tätorten, utan att vatten rann vidare och orsakade översvämningar i tätorten. Översvämningen i detta dike visas i Figur 39.

Eftersom ett skyfall med 100 års återkomsttid är en ovanlig företeelse är det svårt att validera och kalibrera en skyfallskartering. Ystad är inget undantag, då det saknas exempelvis uppmätta flöden från regn av sådan magnitud. För att utvärdera resultatet kan istället översiktliga beräkningar, så som beräkning av avrinning med tid-areametoden och beräkning av högsta högvattenflöde,

användas. Även Ystad kommuns erfarenheter från mindre regn kan vara till nytta i utvärderingen av en modells trovärdighet.

Avrinningen i Västra enligt tid-area metoden, vilken illustreras med flödeskurva i Figur 40, nådde en flödestopp vid kl. 13:40. Avrinningen i modellerna med litteraturvärden, för vilken flödeskurva visas i Figur 34, nådde istället sin topp först kl. 19:20. Kurvorna skiljer sig dessutom utseendemässigt kraftigt åt, då tid-area metoden gav en snabbare ökning såväl som minskning av flödet. Viss likhet kan dock urskiljas, då båda kurvorna har en snabbare flödesökning än efterföljande flödesminskning. I Djupadal nåddes med tid-area metoden en flödestopp vid kl. 13:00 och med modellerna med litteraturvärden inträffade två flödestopp vid 12:00 och 12:30. Flödeskurvor visas i Figur 36 respektive Figur 41. Vid jämförelse mellan figurerna framgår det att kurvorna är relativt lika, med tydliga spetsiga utseenden. Dock ger tid-area metoden en långsammare ökning av flödet såväl som en snabbare nedgång efter att flödestoppen nåtts.

Tid-area metoden är en överslagsberäkning baserad på grova och förenklingar och antaganden om modellområdena. Vissa likheter med modellresultaten, i synnerhet för avrinningen från Djupdal, kunde dock identifieras, vilket ökar modellernas trovärdighet. Anledningen till diskrepansen i resultaten från Västra kan mycket väl vara att vattenmassor ansamlas strax utanför tätorten utan att flöda in genom en högre placerad järnvägspassage i modellerna. Detta framgår av Figur 33, som visar översvämningsutbredning i Västra. Det kan också bero på att den standardiserade tid-area kurva som valdes vid beräkning med tid-area metoden inte på ett tillfredställande sätt beskrev modellområdets avrinning.

Beräkningarna av högsta högvattenföring vid ett regn med återkomsttid på 100 år gav i Västra ett flöde på $3,64 \text{ m}^3/\text{s}$ och i Djupadal ett flöde på $2,54 \text{ m}^3/\text{s}$. Detta är betydligt större flöden än de som modellerna genererade. I modellerna med litteraturvärden nåddes maximala flöde på enbart $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$ i Västra och $0,89 \text{ m}^3/\text{s}$ i Djupadal, vilket framgick av flödeskurvorna i Figur 54 och Figur 56. Även här kan en anledning till skillnaderna vara att vatten ansamlas i sänkor strax utanför tätorten utan att flöda vidare in förrän en tillräcklig vattennivå nåtts. Sådana ansamlingar framgår tydligt från Figur 33 och Figur 35, som visar översvämningsutbredning i Västra och Djupadal. Dessutom har avgränsningen av avrinningsområdena gjorts med viss marginal i Scalgo,

vilket har resulterat i att en väl tilltagen avrinningsarea används i beräkningar av högsta högvattenflöde. All denna area kommer i själva verket inte avrinna mot Ystad tätort.

I diskussion med tjänstemän på Ystad kommun framkom att en del översvämningsytor i modellresultaten känns igen och andra inte. Riskytor i bostadsområden i västra delarna av Ystad, vilka visas i Figur 38, känns igen. Det är i ett av dessa områden som vatten har ansamlats på gräsmattor och kupolbrunn installerats för att komma till rätta med problemet. I ett annat av dessa områden uppges vatten likaså ansamlas på grönytor. Detta ger modellen viss trovärdighet. Översvämningarna i handelsområdet i östra Ystad och i den gamla stadskärnan, vilka visas översiktligt i Figur 37, kändes dock inte igen. Förklaringen till detta kan förstås vara att det aldrig skett ett regn som varit tillräckligt intensivt för att orsaka sådana översvämningar. De lokala översvämningarna i dessa områden kan även ha överskattats eftersom ledningsnätets kapacitet i modellering beskrivits med ett likformigt avdrag, oavsett hur området dränering är utformat.

Det finns förbättringsutrymme i karteringen. Beskrivningen av avrinningen ifrån Västra hade kunnat förbättras genom att detta avrinningsområde integrerats med tätortsmodellen och viadukten representerats med endast ett avbrott i vägen i höjddatan. Avrinningen genom den relativt breda viadukten hade då eventuellt beskrivits bättre i modellen, då den nuvarande representationen av inflödet från Västra som en punktkälla i tätortsmodellen riskerar att inte fånga dess komplexa natur. En integrering av Västra i tätortsmodellen hade dock förstås inneburit en betydligt längre beräkningstid för denna. Förbättringspotential finns också i beskrivningen av regnet över tätorten. Avdraget som gjordes för ledningsnätets kapacitet var relativt litet och bör ha resulterat i en överskattning av översvämningarna i staden. Ett större avdrag hade därmed kunnat ge ett mer realistiskt resultat. Ett än mer pålitligt resultat hade dessutom varit möjligt ifall modellen kompletterats med en ledningsnätmodell, då lokala översvämningar i lägre grad underskattats eller överskattats.

5.2. Infiltrationens betydelse

Vid jämförelse mellan resultatet från de ursprungliga modellerna i Mike Flood och resultatet från Scalgo Live framgår många likheter, men också några tydliga skillnader. Dessa skillnader består framför allt i att Mike Flood

modellerna ger en något större översvämningsutbredning än sina motsvarigheter i Scalgo Live.

Det kan tyckas förvirrande att översvämningarna är mindre i Scalgo Live eftersom ingen hänsyn tagits i beräkningarna till varken infiltration i permeabel mark eller till stadens ledningsnät. Detta i kontrast till översvämningarna i Mike Flood, där viss del av regnvolymen infiltrerat och ett avdrag gjorts ifrån regnvolymen för kapaciteten hos stadens ledningsnät. Förklaringen ligger i att Scalgo Live inte har någon tidsaspekt, utan ögonblickligen beräknar och visar översvämningsutbredning då allt vatten ansamlats i terrängens lågpunkter. Detta resultat skulle kunna jämföras med översvämningsutbredning i det sista tidssteget i en långtgående modellering i Mike Flood, utan avdrag för infiltration eller ledningsnätets kapacitet. Sammanlagt ca 400 000 m³ vatten avrinner till Ystad tätort norrifrån i Scalgo Live, medan motsvarande siffra från modellering i Mike Flood är 14 100 m³, vilket kan förklara de mindre översvämningarna på åkermarken i resultaten från Scalgo Live. Väl i Ystad tätort har dessutom en stor avrinning skett vidare mot havet, vilket resulterat i att översvämningarna i Ystad tätort, trots stor avrinning från åkermark, inte är ofantligt stora.

I Mike Flood görs istället hydrauliska beräkningar i olika tidssteg och hänsyn tas till markytans råhet. Eftersom de statistiskt beräknade maximala översvämningsdjupen kan ha inträffat när som helst under modelleringen visas fler översvämningsytor på åkermarken såväl som i staden i resultatet från Mike Flood. Eftersom skillnaden mellan resultatet från Scalgo Live och ursprungsmodellerna i Mike Flood är så pass avhängigt tidsaspekten är det svårt att dra några slutsatser kring infiltrationens betydelse genom jämförelse mellan dessa.

Vid jämförelse mellan resultaten från de ursprungliga modellerna och modellerna med Tyréns värden, samtliga i Mike Flood, blir desto fler samband tydliga. Det framgår att beskrivningen av infiltration i åkermark utifrån litteraturvärden i de ursprungliga modellerna gav en lägre total infiltration i samtliga modeller, jämfört med när infiltrationen i åkermark beskrevs på samma sätt som i annan mark i modellerna med Tyréns värden. Avrinningen nedströms ifrån samtliga fyra modeller med åkermark minskade som konsekvens av en lägre infiltration i modellerna Tyréns värden, vilket framgår av flödeskurvorna. I Bussjö och Hedeskoga nås visserligen samma maxflöden,

då kulvertarnas storlek verkar begränsa flödet. Dock sker ökningen av flödet ut ur Hedeskoga ungefär en halvtimme senare och i både Bussjö och Hedeskoga nås de maximala flödena inte lika snabbt.

I Djupadal och Västra nås dessutom även blygsammare flödestoppar, eftersom kulvertens respektive vägtrummans storlek inte begränsar flödet. I Djupadal är det maximala flödet då åkermarkens infiltration beskrivs separat hela $0,89 \text{ m}^3/\text{s}$ medan det då åkermarkens infiltration beskrivs som i annan mark är $0,66 \text{ m}^3/\text{s}$. I det förra fallet nås även flödestoppen ungefär en timme tidigare. I Västra är skillnaden $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$ gentemot $0,31 \text{ m}^3/\text{s}$, med en hela tre timmar tidigare flödestopp i det förra fallet. Skillnaden i maximala översvämningsdjup i åkermarken såväl som i tätorten tycks dock vara mycket liten i alla modeller, vilket indikerar att skillnaden i infiltrerad volym inte är så betydande att den orsakar nya översvämningsytor.

En faktor som tydligt spelar in i avrinningens betydelse, och därmed i betydelsen av infiltrationen i åkermark, är ifall avrinningen sker längst med kulvertar och diken eller inte. Dels eftersom en kulvert kan begränsa flödet, så som är fallet i Hedeskoga och Bussjö. Men också eftersom dikning innebär en välplanerad terräng, så som vid kulvertinloppet till Ystad tätort ifrån Djupadal. I de fall avrinningen sker fritt ovan mark, som den gör ovan och under vägen in till de västra delarna av Ystad, kan avrinningen från åkermark vara desto mer besvärlig och beskrivningen av infiltrationen i åkermark desto viktigare. Detta eftersom en välplanerad terräng och begränsning av flödet antagligen inte är fallet. Andra faktorer som spelar in är förstas avrinningsområdets storlek och åkermarkens texturvariation.

En styrka i den litteraturbaserade specifika beskrivningen av åkermark är att den lägre infiltrationen och resulterande större avrinningen minskar risken för att underskatta marköversvämnningar vid skyfallskartering av städer. I fallet med Ystad resulterar dock inte avrinningen ifrån omkringliggande åkermark i några betydande skillnader i översvämningsutbredning i staden, oavsett beskrivningen av infiltrationen i åkermark. Vägen som omger Ystad tätort utgör en barriär som till stor del förhindrar avrinning och den mängd vatten som kommer in i tätorten är följaktligen inte tillräcklig för att ha någon avsevärd påverkan. Även om inkluderingen av åkermark inte hade någon större effekt i Ystad så kan dock inte samma slutsats dras för andra städer.

5.3. Osäkerheter och korrektionsflöden

I valet av exakta värden att använda för att beskriva en komplex verklighet finns många osäkerheter och felkällor. Nedan diskuteras utifrån litteraturstudien sådana för de olika antaganden som gjorts och parametrar som använts i modellering.

Eftersom plogsulans packningsgrad medför att den generellt har en lägre genomsläpplighet, kan den antas vara en begränsande faktor för infiltrationen. Av denna anledning valdes som bekant infiltrationslagrets genomsläpplighet, porositet, mätnadsgrad och djup till att motsvara matjordens motsvarande egenskaper och perkolationen ifrån detta infiltrationslager till att motsvara plogsulans genomsläpplighet. Plogsulans packningsgrad varierar dock med bland annat bearbetning av jorden, vilket innebär att detta val av infiltrationslager inte är en passande modell av verkligheten för all mark. Exempelvis metoderna strukturkalkning och reducerad jordbearbetning kan öka genomsläppligheten i en lerig plogsula och är inte allt för ovanliga i dagens jordbruk.

Genomsläppligheten i det övre jordlagret, matjorden, valdes generellt till relativt låga värden. Det ger visserligen en försäkring om att avrinning mot tätorten inte underskattas, men kan samtidigt medföra en sämre uppskattning av den faktiska infiltrationen. För de siltiga och relativt leriga texturerna *silty clay*, *silty clay loam*, *silt loam* och *loam* valdes ett gemensamt medianvärde från markundersökningar. Ifall ett eller flera medelvärden valts istället hade genomsläppligheten antagits vara betydligt högre, eftersom ett antal uppmätta värden avvek uppåt. Exempelvis uppmättes mättade genomsläppligheter på 186 mm/h i matjord med texturen *silt loam* och 221 mm/h i matjord med *silty clay*. De sandiga texturerna *loamy sand*, *fine sand* och *coarse sand* tilldelades likaså uppmätta medianvärden. Dock fanns endast ett fåtal uppmätta värden för dessa klasser i undersökningarna som används i arbetet, vilket innebär att det finns en högre känslighet för slumpmässiga variationer.

Vidare bör matjord med den leriga texturen *clay*, vilken motsvarar styv lera enligt SLU:s indelning, ha en högre genomsläpplighet sommartid på grund av upptorkning och efterföljande sprickbildning. Trots detta valdes en relativt låg genomsläpplighet på 10 mm/h, utifrån värden som inte uppmätts specifikt sommartid. Enligt värdena från FN:s jordbruksorganisation som presenterades i Tabell 4, kan dessutom permanent sprickbildning vara relevant för texturerna

clay och *heavy clay loam* och då ge en mycket högre genomsläpplighet. Det är dock diskutabelt hur pass vanligt permanent sprickbildning är i åkermark som regelbundet bearbetas maskinellt. En av markundersökningarna visade ändå på en mättad genomsläpplighet på hela 1 020 mm/h i matjord med texturen *clay*, vilket tyder på att väl utvecklade makroporer i form av exempelvis sprickor kan förekomma och då utgöra stora felkällor.

Genomsläppligheten i det undre lagret, plogsulan, sattes till ett och samma överslagliga medianvärde för samtliga texturer, eftersom det var svårt att identifiera samband mellan genomsläpplighet och textur utifrån uppmätta värden. Skillnader i packningsgrad och utveckling av makroporer tycktes ha större inverkan än textur. Detta trots att särskilt leriga jordarter bör ha en mycket låg genomsläpplighet i en hårt packad plogsula. En för högt satt genomsläpplighet i plogsulan kan resultera i en särskilt dålig beskrivning av modellområdena, eftersom de domineras av moränlera och lerig morän, vilka på grund av sin månggradering bör vara särskilt täta.

Gällande porositet i det översta infiltrationslagret är använda mätvärden relativt samstämmiga. Porositeten sattes till att variera mellan 40 - 50 % för olika texturer, då i det högre intervallet för mer fina respektive grova ensgraderade texturer, vilket också stämmer väl överens med litteraturen. Dock finns vissa osäkerheter kring de texturer som det endast finns ett fåtal uppmätta värden för och som därmed är känsliga för slumpmässiga variationer. En annan osäkerhet är kring den förändring av porositet som bildning av torrskorpa i siltig och lerig jord sommartid skulle innebära. I Tabell 5 redovisas riktvärden för total porositet för olika jordar, däribland torrskorpelera. Av tabellen framgår att porositeten visserligen är generellt lägre, men ligger fortsatt relativt högt, vid torrskorpebildning.

Mättnadsgraden beräknades utifrån typiska värden på fältkapacitet och permanent vissningsgräns för olika texturer, med förutsättningen att bevattning av åkermark under sommaren följer jordbruksverkets riktlinjer. Värden på fältkapacitet och permanent vissningsgräns antogs för texturerna *loamy sand*, *silty clay* och *silty clay loam* utifrån värden för liknande texturer. I litteraturen framgår dock att fältkapaciteten bör vara lägre i uppluckrad matjord än i tätare jord, medan värdena på fältkapacitet som används endast är texturspecifika. Uppmätt fältkapaciteten i ett fåtal marker presenterades i Tabell 10 och här framgår att fältkapacitet är högre i alven än i matjorden. I den mellanleriga

Åkermatjorden varierade fältkapaciteten i tabellen inom intervallet 30 - 36 %. Mellanlera motsvarar i FAO-systemet klasserna *silty clay loam* eller *clay loam*, för vilka en fältkapacitet på hela 37 % har antagits. Den antagna fältkapaciteten och därmed mätnadsgraden för olika texturer kan alltså ha satts aningen för högt, vilket skulle kunna leda till överskattning av översvämningsrisker.

Matjordens mäktighet har antagits till att motsvara ett vanligt plöjningsdjup på 0,3 m. Detta stämmer relativt väl med arkeologiska undersökningar som nyttjats i arbetet. Dock kan plöjningsdjupet vara ytligare än så och samtidigt kan mull blandas ner till även större djup av exempelvis marklevande organismer. Två av Tyréns egna markundersökningar i den skånska jordbruksmarken i Svarte och Skegrie gav exempelvis en genomsnittlig mäktighet på 0,52 respektive 0,55 m. Dessutom varierar enligt de arkeologiska rapporterna matjordens mäktighet med höjder och sänkor, troligtvis på grund av jorderosion.

Genom känslighetsanalys hade det kunnat kartläggas vilka parametrar som har större eller mindre inflytande på resultatet. En av de ursprungliga idéerna för detta arbete var att genomföra en sådan för att förbättra förståelsen för vilken betydelse den exakta beskrivningen av de olika parametrarna har. De varierande korrektionsflödena i modellerna utgör dock ett hinder för att genomföra en givande känslighetsanalys.

Korrektionsvolymerna är rent numeriska vattenvolymer som adderas i modellberäkningarna för att stabilisera modellen. De uppkommer då en hög infiltrationskapacitet hos jorden leder till att cellerna torrläggs frekvent. En hög infiltrationskapacitet kan resultera ifrån exempelvis en hög infiltrationshastighet, låg mätnadsgrad eller stor mäktighet hos infiltrationslagret. I programvaran finns två interna beräkningsparametrar EPSH och EPSF, vilka definierar lägsta vattendjup (h) som tillåts när en cell torrläggs (vattennivån sjunker) respektive översvämmas (vattennivån stiger). Eftersom $EPSH < EPSF$ kan en hög infiltration leda till att cellen torrläggs till ett vattendjup $EPSH < h < EPSF$ inom ett tidssteg. Då läggs numeriska vattenvolymer till för säkerställa att $h = EPSF$ i nästa tidssteg, eftersom cellen i detta nästa tidssteg kan komma att översvämmas. De interna beräkningsparametrarna EPSH och EPSF kan justeras manuellt (DHI, 2017 b). Det finns inget sätt att helt undvika korrektionsflöden, men genom att välja dessa parametrar noggrant kan vattenbalansen förbättras för ett scenario med

hög infiltrationskapacitet. En möjlig åtgärd är alltså att minska både EPSH och EPSF. Valet av värden att ansätta är dock inte givet och förutsätter tid och kunskap som inte funnits till förfogon i detta arbete.

I de fall markavrinningen är huvudfokus och infiltrationen endast är intressant i egenskap av bortfall från avrinningsvolymen, kan den enkla infiltrationsmodell som används i detta arbete vara tillräcklig. Ett alternativ för att bättre beskriva infiltrationen kan vara att istället använda sig av modelleringsverktyget Mike SHE. I detta verktyg finns möjlighet att modellera flera olika delar av den hydrologiska cykeln, så som ytvatten, markvatten, grundvatten och evapotranspiration, samt förstås vattenutbytet mellan dessa delar (DHI, u.å).

6. Slutsatser

Resultaten från modellerna med litteraturvärden visar att det inte bara är avrinningens storlek som har betydelse, utan också dess utformning. Kulvertering kan begränsa flödet och dikning kan vara välplanerad, vilket är fallet i norra Ystad. Avrinning ovan mark är dock desto mer oförutsägbar. Ystad påverkas inte i någon större utsträckning av avrinningen från åkermark, men detta är förstås ingen allmängiltig regel för alla tätorter. Eftersom ett skyfall med 100 års återkomsttid är en ovanlig företeelse saknas flödesmätningar att validera karteringen med. Vid jämförelse med översiktliga beräkningar av avrinningen fås dock resultat som verkar förenliga med resultaten ifrån modellerna med litteraturvärden. Även i jämförelse med Ystad kommuns erfarenheter av tidigare översvämningar kan likheter identifieras.

Resultaten från Scalgo Live, för vilka ingen hänsyn tagits till infiltration, visar på lindrigare översvämningar i både åkermark och tätort. Orsaken till detta resultat är framför allt att Scalgo Live inte tar hänsyn till avrinningens successiva och tröga natur. Jämförelser med Scalgo Live gav därför inga nya insikter om betydelsen av infiltrationen i åkermark. I jämförelsen med modellerna med Tyréns värden, vilka alltså beskriver infiltrationen i åkermark på samma sätt som i övrig permeabel mark, kunde desto fler slutsatser dras. Tyréns värden resulterade i en högre total infiltration och som konsekvens en lägre avrinning mot tätorten. Skillnaden var dock inte tillräckligt betydande för att orsaka nämnvärt färre översvämningssytor. Att beskrivning av åkermarken utifrån litteraturen gav en högre avrinning tyder på att det är fördelaktigt att beskriva infiltrationen i åkermark på ett vis som relaterar till dess särart, så att översvämningar överskattas hellre än underskattas i skyfallskarteringen.

Osäkerheterna är många vid valen av exakta värden att använda för de olika infiltrationsparametrarna, eftersom verkligheten är komplex. Genomsläppligheten i det övre jordlagret, matjorden, valdes exempelvis generellt till relativt låga värden. För det undre lagret, plogsulan, sattes samma värde för samtliga texturer, trots att litteraturen antyder att lerigare texturer borde ha en tätare plogsula. Även för porositet, mättnadsgrad och mäktighet fanns utrymme att ansätta något lägre eller högre värden. Genom känslighetsanalys hade det kunnat kartläggas vilka parametrar som har större eller mindre inflytande på resultatet, men varierande korrektionsflöden i modellerna försvårade en sådan.

Referenser

- Andréasson, P. G. (2006). *Geobiosfären: en introduktion*. Lund: Studentlitteratur.
- Arshada, M., Franzluebersb, A., & Azooza, R. (1999, november). Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada. *Soil and Tillage Research*, 53(1), 41-47.
- Arvidsson, J. (2014). *Hur djupt ska vi bearbeta i plöjningsfri odling?* Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Berglund, K., & Blomquist, J. (2015). *Strukturkalkning – bra för både mark och miljö*. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Berglund, K., Miller, U., & Persson, J. (1989). *Gyttjejordar, deras sammansättning och egenskaper*. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Bruschi Gonçalves, R. A., Gloagen, T. V., Folegatti, M. V., Libardi, P. L., & Montes, C. R. (2010). *Pore size distribution in soils irrigated with sodic water and wastewater*.
- Carlstén, P. (1989). *Vägbyggnad på torv*. Linköping: Vägverket.
- DHI. (2017 a). *Mike 21 Flow Model*. Hørsholm: DHI. Retrieved from https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Coast_and_Sea/M21HD.pdf
- DHI. (2017 b). *Mike 21 Flow Model & Mike 21 Flood Screening Tool*. Hørsholm: DHI. Retrieved from https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Coast_and_Sea/M21HDFST_Scientific_Doc.pdf
- DHI. (u.å). *Mike Programvara*. Retrieved mars 21, 2020, from <https://worldwide.dhigroup.com/se/mike%20programvara>
- Eriksson, J., Andersson, A., & Andersson, R. (1999). *Åkermarkens matjordstyper*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Eriksson, J., Nilsson, I., & Simonsson, M. (2005). *Wiklanders Marklära*. Lund: Studentlitteratur.
- Esri. (2019). *desktop.arcgis.com*. Retrieved Maj 11, 2020, from <https://desktop.arcgis.com/en/>
- Etana, A. (2019). *Undersökning av markpackning*. Institutionen för mark och miljö. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Fetter, C. E. (2018). *Applied Hydrogeology* (Vol. 4). Long Grove, Illinois: Waveland Press.
- Friman, B. (2015). *Vallkärratorn 1:47*. Arkeologiska uppdragsverksamheten. Stockholm: Statens Historiska Museer.

- Frisk, S. (2019, februari 10). *Plöjningsfritt jordbruk - en koldioxidsug?*
Retrieved from SVT Nyheter:
<https://www.svt.se/nyheter/vetenskap/plojningsfritt-jordbruk-en-koldioxidsug>
- Geranmayeh, P. (2017). *Strukturkalkning i stor skala - Vad krävs och vad kostar det?* Stockholm: BalticSea2020.
- Gozubuyuk, Z., Sahin, U., Ozturk, I., Celik, A., & Adiguzel, M. C. (2014). Tillage effect on certain physical and hydraulic properties of loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. *Catena*, 118, 195-205.
- Hansen, L. (1976). *Jordtyper ved Statens Forsøgsstationer*. Højer: Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur .
- Holmberg, G., & Johansson, L. (1986). *Sedimentologisk undersökning av de övre glaciälviala avlagringarna i Vombsänkan, södra Skåne*. Geologiska Institutionen. Lund: Lunds Universitet.
- Hulting Lindgren, C. (2018). *Kulla Gunnarstorp 1:21, fornlämning nr 132*. Löddeköpinge: CMB Uppdragsarkeologi.
- Håkansson, I. (2000). *Packning av åkermark vid maskindrift*. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Jones, R., Spoor, G., & Thomasson, A. (2003, Oktober). Vulnerability of subsolis in Europe to compaction: a preliminary analysis. *Soil and Tillage Research*, 73(1-2), 131 - 143.
- Knutsson, G., & Morfeldt, C. (1973). *Vatten i Jord och Berg*. Stockholm: Ingenjörsläroverket AB.
- Kvarmo, P., Andersson, E. E., Börlling, K., Hjelm, E., Jonsson, P., Listh, U., & Malgeryd, J. (2019). *Rekommendationer för gödsling och kalkning 2020*. Jönköping: Jordbruksverket.
- Lantmäteriet. (u.å.). *[Ystad tätort och omkringliggande mark, skala 1:500]*. Retrieved februari 12, 2020, from <https://kso.etjanster.lantmateriet.se/>
- Larsson, R. (2000). *Lermorän - en litteraturstudie*. Linköping: Statens Geologiska Institut.
- Larsson, R. (2008). *Jords egenskaper*. Linköping: Statens Geotekniska Institut.
- Lindström, G. (1987). *Analys av avrinningsserier för uppskattning av effektivt regn*. SMHI Hydrologi. Norrköping: SMHI.
- Malm, P., & Berglund, P. (2007). *Bevattning och växtnäringsutnyttjande*. Jönköping: Jordbruksverket.

- Minasny, B., & Mcbratney, A. B. (2018, January). Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European Journal of Soil Science*, 69, 39-47.
- Moberg, J. (2001). *Långsiktiga förändringar av jordbruksmarkens fysikaliska egenskaper – en studie av 10 svenska åkermarksprofiler*. Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för jordbearbetning. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- MSB. (2014). *Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet*. Malmö: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- MSB. (2017). *Vägledning för skyfallskartering: tips för genomförande och exempel på användning*. Karlstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- Region Skåne. (2009). *Markanvändning i Skåne*. Avdelningen för regional utveckling. Region Skåne.
- Rydberg, T. (1987). *Studier i plöjningsfri odling i Sverige 1975 - 1986*. Jordbearbetningsavdelningen. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Safe Software. (2020). *What is FME?* Retrieved mars 21, 2020, from <https://www.safe.com/fme/>
- Sarnäs, P. (2008). *Fullåkerslandskapet*. Malmö: Malmö Kulturmiljö.
- Scalgo. (2020). *Scalgo Live Flood Risk*. Retrieved mars 21, 2020, from <https://scalgo.com/en-US/live-flood-risk>
- Scalgo. (u.å. b). *[Ystad tätort och omkringliggande områden mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta i Scalgo]*. Retrieved mars 25, 2020, from Scalgo.com:
http://scalgo.com/live/sweden?res=8&ll=13.808231%2C55.439948&lrs=lantmateriet_topowebb_nedtonad%2Cw62829%3Aboundary%2Cw58447%3Aboundary%2Cw62839%3Aboundary%2Cw66011%3Aboundary&tool=zoom
- Scalgo. (u.å. c). *[Område norr om Ystad tätort mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta i Scalgo]*. Retrieved Maj 05, 2020, from Scalgo.com:
https://scalgo.com/live/sweden?res=8&ll=13.815349%2C55.463624&lrs=lantmateriet_topowebb%2Cw66820%3Aboundary&tool=zoom
- Scalgo. (u.å. d). *[Område norr om Ystad tätort mot bakgrund av indelning av avrinningsområden i Scalgo]*. Retrieved Maj 05, 2020, from Scalgo.com:
https://scalgo.com/live/sweden?res=8&ll=13.815349%2C55.463624&lrs=lantmateriet_topowebb%2Csweden%2Fsweden%3A3006%3Arain%3Aflash-flood-

- watersheds%3Ase2017%2Cw66820%3Aboundary&tool=zoom&Rain=0.11
- Scalgo. (u.å. e). [*Flygfoto över modellområdet Bussjö*]. Retrieved Maj 05, 2020, from Scalgo.com: https://scalgo.com/live/sweden?res=8&ll=13.820034%2C55.464503&lrs=mapbox_aerial%2Cw66820%3Aboundary&tool=zoom
- Scalgo. (u.å. f). [*Område nordväst om Ystad tätort mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta i Scalgo, skala 1:1000*]. Retrieved mars 25, 2020, from Scalgo.com: http://scalgo.com/live/sweden?res=8&ll=13.794350%2C55.457326&lrs=lantmateriet_topowebb%2Cw62829%3Aboundary&tool=zoom
- Scalgo. (u.å. g). [*Område nordväst om Ystad tätort mot bakgrund av indelning av avrinningsområden i Scalgo, skala 1:1000*]. Retrieved mars 25, 2020, from Scalgo.com: http://scalgo.com/live/sweden?res=8&ll=13.794350%2C55.457326&lrs=lantmateriet_topowebb%2Csweden%2Fsweden%3A3006%3Arain%3Aflash-flood-watersheds%3Ase2017%2Cw62829%3Aboundary&tool=zoom&Rain=0.1098
- Scalgo. (u.å. h). [*Flygfoto över modellområde Hedeskoga*]. Retrieved Maj 05, 2020, from Scalgo.com: https://scalgo.com/live/sweden?res=8&ll=13.811441%2C55.456275&lrs=mapbox_aerial%2Cw62829%3Aboundary&tool=zoom
- Scalgo. (u.å. i). [*Område väster om Ystad tätort mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta i Scalgo, skala 1:1000*]. Retrieved mars 27, 2020, from Scalgo.com: http://scalgo.com/live/sweden?res=8&ll=13.767129%2C55.438031&lrs=lantmateriet_topowebb%2Cw66011%3Aboundary&tool=zoom
- Scalgo. (u.å. j). [*Område väster om Ystad tätort mot bakgrund av indelning av avrinningsområden i Scalgo, skala 1:1000*]. Retrieved mars 27, 2020, from Scalgo.com: http://scalgo.com/live/sweden?res=8&ll=13.767129%2C55.438031&lrs=lantmateriet_topowebb%2Csweden%2Fsweden%3A3006%3Arain%3Aflash-flood-watersheds%3Ase2017%2Cw66011%3Aboundary&tool=zoom&Rain=0.1098
- Scalgo. (u.å. k). [*Flygfoto över modellområdet Västra*]. Retrieved Maj 05, 2020, from Scalgo.com:

- https://scalgo.com/live/sweden?res=8&ll=13.773734%2C55.437450&lrs=mapbox_aerial%2Cw69344%3Aboundary&tool=zoom
- Scalgo. (u.å. l). [*Område norr om Ystad tätort mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta i Scalgo, skala 1:1000*]. Retrieved mars 27, 2020, from Scalgo.com:
http://scalgo.com/live/sweden?res=4&ll=13.824588%2C55.452762&lrs=lantmateriet_topowebb%2Cw58447%3Aboundary&tool=zoom
- Scalgo. (u.å. m). [*Område norr om Ystad tätort mot bakgrund av indelning av avrinningsområden i Scalgo, skala 1:1000*]. Retrieved mars 27, 2020, from Scalgo.com:
http://scalgo.com/live/sweden?res=4&ll=13.824588%2C55.452762&lrs=lantmateriet_topowebb%2Csweden%2Fsweden%3A3006%3Arain%3Aflash-flood-watersheds%3Ase2017%2Cw58447%3Aboundary&tool=zoom&Rain=0.1098
- Scalgo. (u.å. n). [*Flygfoto över modellområdet Djupadal*]. Retrieved Maj 05, 2020, from Scalgo.com:
https://scalgo.com/live/sweden?res=8&ll=13.828477%2C55.454893&lrs=mapbox_aerial%2Cw58447%3Aboundary&tool=zoom
- Scalgo. (u.å. o). [*Ystad tätort mot bakgrund av Lantmäteriets översiktskarta i Scalgo, skala 1:1000*]. Retrieved mars 27, 2020, from Scalgo.com:
http://scalgo.com/live/sweden?res=8&ll=13.817139%2C55.436954&lrs=lantmateriet_topowebb%2Cw62839%3Aboundary&tool=zoom
- Scalgo. (u.å. p). [*Ystad tätort mot bakgrund av indelning av avrinningsområden i Scalgo, skala 1:1000*]. Retrieved mars 27, 2020, from Scalgo.com:
http://scalgo.com/live/sweden?res=8&ll=13.817139%2C55.436954&lrs=lantmateriet_topowebb%2Csweden%2Fsweden%3A3006%3Arain%3Aflash-flood-watersheds%3Ase2017%2Cw62839%3Aboundary&tool=zoom&Rain=0.1098
- Scalgo. (u.å. q). [*Flygfoto över modellområde Ystad tätort*]. Retrieved Maj 05, 2020, from Scalgo.com:
https://scalgo.com/live/sweden?res=16&ll=13.829903%2C55.434873&lrs=mapbox_aerial%2Cw62839%3Aboundary&tool=zoom
- Scalgo. (u.å. r). [*Modellområde Bussjö mot Lantmäteriets höjddata, skala 1:500*]. Retrieved Maj 08, 2020, from Scalgo.com:
<https://scalgo.com/live/sweden?res=8&ll=13.797945%2C55.463851>

- &lrs=lantmateriet_topowebb_nedtonad%2Csweden%2Fsweden%3AIdar-
skog%3A3006%3Adem%2Csweden%2Fsweden%3A3006%3Arain%
3Aflash-flood-
depression%3Ase2017%3Boption%3Dtype%3Drain%3Abands%3D0
.01%200.05%2Cw
- Scalگو. (u.å. s). [*Modellområde Hedeskoga mot Lantmäteriets höjddata, skala 1:500*]. Retrieved Maj 08, 2020, from Scalگو.com: https://scalگو.com/live/sweden?res=8&ll=13.777957%2C55.455505&lrs=lantmateriet_topowebb_nedtonad%2Csweden%2Fsweden%3AIdar-skog%3A3006%3Adem%2Csweden%2Fsweden%3A3006%3Arain%3Aflash-flood-depression%3Ase2017%3Boption%3Dtype%3Drain%3Abands%3D0.01%200.05%2Cw
- Scalگو. (u.å. t). [*Modellområde Västra mot Lantmäteriets höjddata, skala 1:500*]. Retrieved Maj 08, 2020, from Scalگو.com: https://scalگو.com/live/sweden?res=8&ll=13.748827%2C55.435225&lrs=lantmateriet_topowebb_nedtonad%2Csweden%2Fsweden%3AIdar-skog%3A3006%3Adem%2Csweden%2Fsweden%3A3006%3Arain%3Aflash-flood-depression%3Ase2017%3Boption%3Dtype%3Drain%3Abands%3D0.01%200.05%2Cw
- Scalگو. (u.å. u). [*Modellområde Djupadal mot Lantmäteriets höjddata, skala 1:500*]. Retrieved Maj 08, 2020, from Scalگو.com: https://scalگو.com/live/sweden?res=8&ll=13.814819%2C55.449900&lrs=lantmateriet_topowebb_nedtonad%2Csweden%2Fsweden%3AIdar-skog%3A3006%3Adem%2Csweden%2Fsweden%3A3006%3Arain%3Aflash-flood-depression%3Ase2017%3Boption%3Dtype%3Drain%3Abands%3D0.01%200.05%2Cw
- Scalگو. (u.å. v). [*Modellområde Ystad tätort mot Lantmäteriets höjddata, skala 1:1000*]. Retrieved Maj 08, 2020, from Scalگو.com: https://scalگو.com/live/sweden?res=8&ll=13.817152%2C55.436743&lrs=lantmateriet_topowebb_nedtonad%2Csweden%2Fsweden%3AIdar-

- skog%3A3006%3Adem%2Csweden%2Fsweden%3A3006%3Arain%3Aflash-flood-depression%3Ase2017%3Boption%3Dtype%3Drain%3Abands%3D0.01%200.05%2Cw
- Scalgo. (u.å. w). [*Västra delen av Ystad tätort mot Lantmäteriets höjddata, skala 1:500*]. Retrieved maj 11, 2020, from Scalgo.com: https://scalgo.com/live/sweden?res=4&ll=13.780303%2C55.431181&lrs=lantmateriet_topowebb_nedtonad%2Cworkspaces%2F_%3Aworkspaces%3Awid-67914%3AclippedDEM%3Adataset%2Csweden%2Fsweden%3A3006%3Arain%3Aflash-flood-depression%3Ase2017%3Bstyle%3Dpurple%3Boption%3
- Scalgo. (u.å. x). [*Nordlig del av Ystad tätort mot Lantmäteriets höjddata, skala 1:200*]. Retrieved maj 11, 2020, from Scalgo.com: https://scalgo.com/live/sweden?res=2&ll=13.824509%2C55.442243&lrs=lantmateriet_topowebb_nedtonad%2Cworkspaces%2F_%3Aworkspaces%3Awid-67914%3AclippedDEM%3Adataset%2Csweden%2Fsweden%3A3006%3Arain%3Aflash-flood-depression%3Ase2017%3Bstyle%3Dpurple%3Boption%3
- SCB. (2019, mars 24). *Statistiska Tätorter 2018 – befolkning, landareal, befolkningstäthet*. Retrieved mars 27, 2020, from <https://www.scb.se/Mi0810>
- Sjökvist, E., Abdoush, D., & Axén, J. (2019). *Sommaren 2018 – en glimt av framtiden?* SMHI Klimatologi. Norrköping: SMHI.
- SMHI. (2009, Juli 10). *Årsavdunstning medelvärde 1961-1990*. Retrieved from SMHI.se: <https://www.smhi.se/data/hydrologi/vattenstand-2-2-338/arsavdunstning-medelvarde-1961-1990-1.4096>
- SMHI. (2013, September 17). *Avdunstning*. Retrieved from SMHI.se: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/avdunstning-1.30720>
- SMHI. (2018, oktober 26). *Skyfallskartering minskar översvämningsrisk*. Retrieved juni 1, 2020, from SMHI.se: <https://www.smhi.se/nyhetsarkiv/skyfallskartering-minskar-oversvamningsrisk-exempel-pa-klimatanpassning-1.139906>
- SMHI. (2019 a, november 12). *Översvämnning*. Retrieved mars 13, 2020, from <https://www.klimatanpassning.se/hur-klimatet-forandras/klimat effekter/oversvamning-1.21324>

- SMHI. (2019 b, november 12). *Skyfall*. Retrieved mars 30, 2020, from <https://www.klimatanpassning.se/klimatanpassa/vagledning-for-klimatanpassning/hantera-risker/skyfall-1.89213>
- Sohlenius, G., & Eriksson, J. (2009). *Kan SGUs kornstorleksdata användas för modellering av utlakning och andra miljörelaterade frågeställningar?* Uppsala: Sveriges Geologiska Undersökning.
- Stensen, K., Kruegård, A., Rasmusson, K., Matti, B., & Hjerdt, N. (2019). *Sveriges vattentillgång utifrån perspektivet vattenbrist och torka – Delrapport 1 i regeringsuppdrag om åtgärder för att motverka vattenbrist i ytvattentäkter*. SMHI Hydrolog. Norrköping: SMHI.
- Stockholm Stad. (2019, oktober 8). *Stockholms skyfallsmodell*. Retrieved mars 23, 2020, from <http://miljobarometern.stockholm.se/klimat/klimatforandringar-och-klimatanpassning/skyfall/stockholms-skyfallsmodellering/>
- Sundberg, J. (1991). *Termiska egenskaper i jord och berg*. Linköping: Statens Geotekniska Institut.
- Svensk Försäkring. (2015). *Vem tar ansvar för klimatanpassningen? – klimatanpassning ur ett försäkringsperspektiv*. Stockholm: Svensk Försäkring.
- Svenskt Vatten. (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten*. Stockholm: Svenskt Vatten.
- Svensson, C. (2012). *Kompendium i Teknisk Geologi AK*. Lund: Tekniska Högskolan i Lund.
- Sveriges Geologiska Undersökning. (2018). *Produkt: Jordarter 1:25 000 - 1:100 000*. Uppsala: Sveriges Geologiska Undersökning.
- Sveriges Geologiska Undersökning. (u.å. b). [*Skåne på kartan Jordarter 1:1 miljon*]. Retrieved februari 12, 2020, from http://apps.sgu.se/kartgenerator/maporder_sv.html
- Söderström, M., & Piikki, K. (2016). *Digitala åkermarkskartan – detaljerad kartering av textur i åkermarkens matjord*. Skara: Precisionsodling Sverige.
- Thurin, S. (2018). *Skyfallsmodellering Stockholm Stad*. WSP Bro & Vattenbyggnad. Stockholm: WSP.
- Tisdall, J., & Oades, J. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *European Journal of Soil Science*, 33, 141-163.
- TT. (2018, april 27). *Översvämningar kostar miljontals kronor*. (TT) Retrieved from Sydsvenskan: <https://www.sydsvenskan.se/2018-04-27/oversvamningar-kostar-miljontals-kronor>

- Wagner, W., Lemoine, G., & Rott, H. (1999). *A Method for Estimating Soil Moisture from ERS Scatterometer and Soil Data*. New York. New York.
- Wallander, H., Svalin Gunnarsson, E., Sundin, A., Permell, C., Nobel, A., & Nobel, M. (2016). *Trädgårdsboken om Jord*. Stockholm: Bokförlaget Langenskiöld.
- Wallentin, J., Sundin, S., Hagerberg, A., Andersson, M., Dahlberg, C., Enghag, O., . . . Widell, L. M. (2016). *Översvämning!* Jönköping: Jordbruksverket.
- Van der Molen, W., Martínez Beltrán, J., & Ochs, W. (2007). *Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems*. Rome: Food And Agriculture Organization of the United Nations.
- Wesström, I., Geranmayeh, P., Joel, A., & Ulén, B. (2016). *Översvämningar på jordbruksmark – utredning av konsekvenser på mark och produktion*. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Wiklander, L. (1976). *Marklära*. Uppsala: Lantbrukshögskolan.
- Vägverket. (2008). *VVMB 3010 Hydraulisk Dimensionering*. Borlänge: Vägverket.

Bilaga 1

Tabell 20. Värden på mättad genomsläpplighet, porositet och mullhalt på olika djup i åkermark med olika textur, från Etana (2019).

Djup [cm]	Mättad genomsläpplighet [cm/h]	Porositet [%]	Mullhalt [%]	Textur (FAO)
Fält 1: Styv lera (2015)				
10-15	22,1	55	4,5	Silty clay
30-35	0,08	48	3,0	Silty clay
50-55	1,95	50	0	Silty clay
70-75	2,44	46	0	Silty clay
Fält 2: Styv lera (2015)				
10-15	6,94	46	1,5	Silty clay
30-35	1,78	46	0	Clay
50-55	1,67	47	0	Silty clay
70-75	0,06	51	0	Clay
Fält 3: Styv lera (2015)				
10-15	0,34	54	7,8	Clay
30-35	0,07	50	0,2	Clay
50-55	0,18	50	0	Clay
70-75	0,06	51	0	Clay
Fält 4: Styv lera (2015)				
10-15	0,25	53	3,9	Clay
30-35	0,02	48	2,2	Clay
50-55	0,03	51	0,1	Clay
70-75	0,01	53	0	Clay
Fält 5: Mellanlera (2015)				
10-15	1,34	48	2,4	Clay loam
30-35	2,97	41	0,3	Clay loam
50-55	1,78	49	0	Clay
70-75	0,26	51	0	Clay
Fält 6: Styv lera (2017)				
10-15	1,22	53	3,5	Clay
30-35	1,40	49	0,8	Clay
50-55	1,40	49	0,7	Clay

70-75	1,32	53	0	Clay
Fält 7: Styv lera (2016)				
10-15	102	49	3,2	Clay
30-35	0,7	46	0,6	Clay
50-55	3,8	48	0,1	Clay
70-75	0,2	49	0,1	Clay
Fält 8: Styv lera (2016)				
10-15	0	50	2,9	Clay
30-35	0	46	0,2	Clay
50-55	0,1	44	0	Clay
70-75	0	49	0	Clay
Fält 9: Lättlera (2016)				
10-15	1,2	51	4,2	Loam
30-35	0,7	38	0,4	Loam
50-55	0,7	40	1,1	Loam
70-75	0,7	41	1,1	Loam – clay loam
Fält 10: Moig lättlera (2016)				
10-15	1,5	52	5,5	Loam
30-35	0,2	39	0,9	Sandy loam
50-55	0,7	43	0,1	Silty clay loam
70-75	0,7	44	0	Silty clay loam
Fält 11: Mycket styv lera (2017)				
10-15	3,74	49,6	3,9	Clay
30-35	0,01	50,9	0,6	Clay
50-55	0,01	53,6	0	Clay
70-75	0,21	55,4	0	Clay
Fält 12: Mellanlera (2017)				
10-15	15,4	47,0	2,6	Silty clay loam
30-35	6,90	42,5	0,4	Silty clay loam
50-55	0	44,7	0	Silty clay
70-75	0	44,1	0	Silty clay
Fält 13: Mellanlera (2017)				
10-15	1,13	40,6	1,6	Clay loam
30-35	1,82	37,4	0,3	Silty clay
50-55	1,48	42,0	0	Silty clay
70-75	0,11	42,2	0	Silty clay
Fält 14: Styv lera (2017)				

10-15	0,6	44,6	3,5	Silty clay
30-35	0,01	42,8	0,9	Silty clay
50-55	0,01	43,3	0	Clay
70-75	0,01	43,3	0	Clay
Fält 15: Lättlera (2017)				
10-15	0,43		2,6	Loam
30-35	0,84	0,01	0,9	Loam
50-55	0,64	0,58	0	Clay loam
70-75	0,08	0,53	0	Silty clay loam
Fält 16: Styv lera (2018)				
10-15	0,81	52,8	5,1	Clay
30-35	0,12	51,0	1,4	Clay
50-55	0,05	54,4	0,6	Clay
70-75	0	60,2	0,1	Clay
Fält 17: Styv lera (2018)				
10-15	2,69	58,6	2,3	Clay
30-35	0,02	46,7	0,7	Clay
50-55	0	48,8	0,3	Clay
70-75	0	50,7	0	Clay
Fält 18: Lättlera med hög andel mo (2018)				
10-15	0,65	46	4,1	Silt loam
30-35	0,08	39	0,2	Silt loam
50-55	0,16	46	0	Silty clay loam
70-75	0,01	42	0	Silty clay
Fält 19: Lerig grovmo (2018)				
10-15	0,81	46	2,2	Loam
30-35	0,12	47	0,8	Sandy loam
50-55	0,05	41	0	Clay
70-75	0,003	50	0	Clay
Fält 20: Lättlera (2018)				
10-15	18,6	54	4,1	Silt loam
30-35	0,01	34	1,1	Silt loam
50-55	0	39	0	Silt loam
70-75	0,01	40	0	Silty clay loam
Fält 21: Mellanlera (2013)				
10-15	0,93	52	6,3	Clay loam
30-35	0,39	42	2,3	Silty clay loam

50-55	0,02	44	0	Silty clay loam-silty clay
70-75	0,01	42	0	Silty clay
Fält 22: Lättlera (2013)				
10-15	1,33	49	3,7	Silt loam
30-35	0,37	44	0,4	Silty clay loam
50-55	0,31	41	0	Silty clay loam
70-75	0,1	38	0	Silt loam
Fält 23: Styv lera (2013)				
10-15	0,05	52	3,9	Silty clay
30-35	0,01	46	0,5	Clay
50-55	0,01	45	0,1	Clay
70-75	0	44	0,1	Silty clay
Fält 24: Mellanlera (2013)				
10-15	0,01	46	3,7	Loam
30-35	0,01	40	2,7	Clay loam
50-55	0,09	42	0,1	Loam
70-75	0,06	42	0,3	Silt loam
Fält 25: Lera med hög andel mo (2013)				
10-15	0,28	39	2,0	Sandy loam
30-35	0,33	38	0,9	Sandy loam
50-55	0,68	39	0,6	Sandy loam
70-75	0,23	36	0,5	Sandy loam
Fält 26: Lera med hög andel mo och sand (2014)				
10-15	0,56	44	2,5	Sandy loam
30-35	0,10	38	1,5	Sandy loam
50-55	0,16	38	0,8	Sandy loam
70-75	0,03	37	0,7	Sandy loam
Fält 27: Moränmellanlera (2014)				
10-15	0,05	42	1,8	Loam
30-35	0,12	42	0,4	Silty clay loam
50-55	0,45	44	0,1	Silty clay loam
70-75	0,01	42	0	Loam
Fält 28: Moränlättlera (2014)				
10-15	0,46	40	1,8	Loam
30-35	0,02	37	0,9	Clay loam

50-55	2,09	42	0,3	Loam
70-75	0,14	40	0,5	Loam
Fält 29: Moränlätter (2014)				
10-15	0,51	49	3,5	Loam
30-35	0,10	38	2,2	Loam
50-55	0,05	35	0,8	Loam
70-75	0,10	36	0,7	Loam
Fält 30: Moränlätter (2014)				
10-15	0,46	46	4,1	Loam
30-35	0,13	40	1,7	Loam
50-55	0,13	39	0,9	Loam-clay loam
70-75	0,05	42	0,8	Loam

Kommentar. Bearbetad från "Undersökning av markpackning" av A. Etana, 2019.

Bilaga 2

Tabell 21. Värden på mättad genomsläpplighet, porositet och mullhalt i matjord med olika textur, från Hansen (1976). Endast provtagningar tagna på typiskt plogdjup (20 till 30 cm) har inkluderats.

Plats	Djup [cm]	Mättad genomsläpplighet [cm/h]	Porositet [%]	Mullhalt [%]	Textur (FAO)
Höjer	0-25	6,48	54,9	2,0	Silt loam
Askov	0-23	3,24	39,9	3,0	Sandy loam
Roskilde	0-27	4,32	42,9	2,6	Sandy loam
Blangstedgård	0-30	1,8	37,9	1,6	Sandy loam
Rönhave	0-23	0,36	37,4	1,9	Sandy loam
Flakkebjerg	0-28	0,72	39,1	2,8	Sandy loam
Studsgård	0-22	4,68	46,3	3,3	Loamy sand
Lammefjord	0-24	0,36	50,4	2,9	Loamy sand
Tylstrup	0-28	6,84	44,1	2,3	Fine sand
Jyndeved	0-20	16,2	42,5	3,0	Coarse sand
Lundgård	0-25	12,24	43,4	2,2	Coarse sand

Kommentar. Bearbetad från ”Jordtyper ved Statens Forsøgsstationer” av L. Hansen, 1976.

Bilaga 3

Vattenbalanser från modellkörningar med värden från litteraturen

```
===== Water Balance =====  
Total volume - initial (m**3)      : 829.427179  
Total volume - final (m**3)       : 222930.085  
Volume in wet area - final (m**3)  : 219865.522  
Volume in dry area - final (m**3)  : 3064.56342  
Volume from transport (m**3)      : 0  
Volume from source (m**3)         : 0  
Volume from sink (m**3)           : 0  
Volume from boundaries inflow (m**3) : 0  
Volume from boundaries outflow (m**3) : 0  
Volume from OpenMI outflow (m**3)  : 0  
Volume from OpenMI inflow (m**3)   : 0  
Volume from M11 source (m**3)      : 0  
Volume from M11 sink (m**3)        : 0  
Volume from Mouse source (m**3)    : 20704.6958  
Volume from Mouse sink (m**3)      : -51189.561  
Volume from net precipitation (m**3) : 455668.450  
Volume from infiltration (m**3)    : -237297.85  
Volume defect (m**3)               : 34214.9308  
Volume error (m**3)                : -0.001762  
=====
```

Figur 60. Vattenbalans för Bussjö, genererad från körning i Mike Flood med värden från litteraturen.

```

===== Water Balance =====
Total volume - initial (m**3)      : 805.46558
Total volume - final (m**3)       : 310686.416
Volume in wet area - final (m**3)  : 302117.812
Volume in dry area - final (m**3)  : 8568.60449
Volume from transport (m**3)       : 0
Volume from source (m**3)          : 0
Volume from sink (m**3)            : 0
Volume from boundaries inflow (m**3) : 0
Volume from boundaries outflow (m**3) : 0
Volume from OpenMI outflow (m**3)  : 0
Volume from OpenMI inflow (m**3)   : 0
Volume from M11 source (m**3)      : 0
Volume from M11 sink (m**3)        : 0
Volume from Mouse source (m**3)    : 25614.7261
Volume from Mouse sink (m**3)      : -50340.083
Volume from net precipitation (m**3) : 440796.152
Volume from infiltration (m**3)    : -145855.63
Volume defect (m**3)               : 39665.7936
Volume error (m**3)                : -0.000655

```

Figur 61. Vattenbalans för Hedeskoga, genererad från körning i Mike Flood med värden från litteraturen.

```

===== Water Balance =====
Total volume - initial (m**3)      : 761.651181
Total volume - final (m**3)       : 191655.677
Volume in wet area - final (m**3)  : 188887.035
Volume in dry area - final (m**3)  : 2768.64229
Volume from transport (m**3)       : 0
Volume from source (m**3)          : 0
Volume from sink (m**3)            : 0
Volume from boundaries inflow (m**3) : 0
Volume from boundaries outflow (m**3) : 0
Volume from OpenMI outflow (m**3)  : 0
Volume from OpenMI inflow (m**3)   : 0
Volume from M11 source (m**3)      : 0
Volume from M11 sink (m**3)        : 0
Volume from Mouse source (m**3)    : 4.4989
Volume from Mouse sink (m**3)      : -12293.276
Volume from net precipitation (m**3) : 418433.857
Volume from infiltration (m**3)    : -269322.44
Volume defect (m**3)               : 54071.3893
Volume error (m**3)                : -0.000189

```

Figur 62. Vattenbalans för Västra, genererad från körning i Mike Flood med värden från litteraturen.

```

===== Water Balance =====
Total volume - initial (m**3)      : 532.543987
Total volume - final (m**3)        : 211166.008
Volume in wet area - final (m**3)   : 208501.925
Volume in dry area - final (m**3)   : 2664.08286
Volume from transport (m**3)        : 0
Volume from source (m**3)           : 53267.4932
Volume from sink (m**3)             : 0
Volume from boundaries inflow (m**3): 0
Volume from boundaries outflow (m**3): 0
Volume from OpenMI outflow (m**3)   : 0
Volume from OpenMI inflow (m**3)    : 0
Volume from M11 source (m**3)       : 0
Volume from M11 sink (m**3)         : 0
Volume from Mouse source (m**3)     : 12662.2006
Volume from Mouse sink (m**3)       : -28477.962
Volume from net precipitation (m**3) : 292567.568
Volume from infiltration (m**3)     : -147364.25
Volume defect (m**3)                : 27978.4238
Volume error (m**3)                 : -0.001653
=====

```

Figur 63. Vattenbalans för Djupadal, genererad från körning i Mike Flood med värden från litteraturen.

```

===== Water Balance =====
Total volume - initial (m**3)      : 6061262.37
Total volume - final (m**3)       : 7776057.51
Volume in wet area - final (m**3)  : 7752878.88
Volume in dry area - final (m**3)  : 23178.6242
Volume from transport (m**3)       : 0
Volume from source (m**3)          : 10655.2005
Volume from sink (m**3)            : 0
Volume from boundaries inflow (m**3): 0
Volume from boundaries outflow (m**3): 0
Volume from OpenMI outflow (m**3)  : 0
Volume from OpenMI inflow (m**3)   : 0
Volume from M11 source (m**3)      : 0
Volume from M11 sink (m**3)        : 0
Volume from Mouse source (m**3)    : 55.467887
Volume from Mouse sink (m**3)      : -2949.3350
Volume from net precipitation (m**3): 2266796.57
Volume from infiltration (m**3)    : -769090.33
Volume defect (m**3)               : 209327.561
Volume error (m**3)                : -0.001915
=====

```

Figur 64. Vattenbalans för Ystad tätort, genererad från körning i Mike Flood med värden från litteraturen.

Bilaga 4

Vattenbalanser från modellkörningar med Tyréns standardvärden.

```
===== Water Balance =====  
Total volume - initial (m**3)      : 829.427179  
Total volume - final (m**3)       : 254638.191  
Volume in wet area - final (m**3)  : 245645.195  
Volume in dry area - final (m**3)  : 8992.99678  
Volume from transport (m**3)       : 0  
Volume from source (m**3)          : 0  
Volume from sink (m**3)            : 0  
Volume from boundaries inflow (m**3) : 0  
Volume from boundaries outflow (m**3) : 0  
Volume from OpenMI outflow (m**3)  : 0  
Volume from OpenMI inflow (m**3)   : 0  
Volume from M11 source (m**3)      : 0  
Volume from M11 sink (m**3)        : 0  
Volume from Mouse source (m**3)    : 22087.8779  
Volume from Mouse sink (m**3)      : -50857.324  
Volume from net precipitation (m**3) : 455668.450  
Volume from infiltration (m**3)    : -293820.77  
Volume defect (m**3)               : 120730.538  
Volume error (m**3)                : -0.005422  
=====
```

Figur 65. Vattenbalans för Bussjö, genererad från körning i Mike Flood med Tyréns standardvärden.

```

===== Water Balance =====
Total volume - initial (m**3)      : 805.46558
Total volume - final (m**3)       : 245339.606
Volume in wet area - final (m**3)  : 236433.429
Volume in dry area - final (m**3)  : 8906.17714
Volume from transport (m**3)       : 0
Volume from source (m**3)          : 0
Volume from sink (m**3)            : 0
Volume from boundaries inflow (m**3) : 0
Volume from boundaries outflow (m**3) : 0
Volume from OpenMI outflow (m**3)  : 0
Volume from OpenMI inflow (m**3)   : 0
Volume from M11 source (m**3)      : 0
Volume from M11 sink (m**3)        : 0
Volume from Mouse source (m**3)    : 0
Volume from Mouse sink (m**3)      : -21870.575
Volume from net precipitation (m**3) : 440796.152
Volume from infiltration (m**3)    : -280386.57
Volume defect (m**3)               : 105995.140
Volume error (m**3)                : -0.001398
=====

```

Figur 66. Vattenbalans för Hedeskoga, genererad från körning i Mike Flood med Tyréns standardvärden.

```

===== Water Balance =====
Total volume - initial (m**3)      : 761.651181
Total volume - final (m**3)       : 200612.159
Volume in wet area - final (m**3)  : 194669.810
Volume in dry area - final (m**3)  : 5942.34933
Volume from transport (m**3)       : 0
Volume from source (m**3)          : 0
Volume from sink (m**3)            : 0
Volume from boundaries inflow (m**3) : 0
Volume from boundaries outflow (m**3) : 0
Volume from OpenMI outflow (m**3)  : 0
Volume from OpenMI inflow (m**3)   : 0
Volume from M11 source (m**3)      : 0
Volume from M11 sink (m**3)        : 0
Volume from Mouse source (m**3)    : 9.584285
Volume from Mouse sink (m**3)      : -6015.4082
Volume from net precipitation (m**3) : 418433.857
Volume from infiltration (m**3)    : -331655.42
Volume defect (m**3)               : 119077.897
Volume error (m**3)                : -0.000686
=====

```

Figur 67. Vattenbalans för Västra, genererad från körning i Mike Flood med Tyréns standardvärden.

```

===== Water Balance =====
Total volume - initial (m**3)      : 532.543987
Total volume - final (m**3)        : 214267.497
Volume in wet area - final (m**3)  : 208682.754
Volume in dry area - final (m**3)  : 5584.74265
Volume from transport (m**3)       : 0
Volume from source (m**3)          : 50266.9102
Volume from sink (m**3)            : 0
Volume from boundaries inflow (m**3): 0
Volume from boundaries outflow (m**3): 0
Volume from OpenMI outflow (m**3)  : 0
Volume from OpenMI inflow (m**3)   : 0
Volume from M11 source (m**3)      : 0
Volume from M11 sink (m**3)        : 0
Volume from Mouse source (m**3)    : 11804.5078
Volume from Mouse sink (m**3)      : -25903.535
Volume from net precipitation (m**3): 292567.568
Volume from infiltration (m**3)    : -197615.40
Volume defect (m**3)               : 82614.9105
Volume error (m**3)                : -0.002515
=====

```

Figur 68. Vattenbalans för Djupadal, genererad från körning i Mike Flood med Tyréns standardvärden.

```

===== Water Balance =====
Total volume - initial (m**3)      : 6061262.37
Total volume - final (m**3)        : 7760364.84
Volume in wet area - final (m**3)  : 7734486.75
Volume in dry area - final (m**3)  : 25878.0911
Volume from transport (m**3)       : 0
Volume from source (m**3)          : 7302.50254
Volume from sink (m**3)            : 0
Volume from boundaries inflow (m**3): 0
Volume from boundaries outflow (m**3): 0
Volume from OpenMI outflow (m**3)  : 0
Volume from OpenMI inflow (m**3)   : 0
Volume from M11 source (m**3)      : 0
Volume from M11 sink (m**3)        : 0
Volume from Mouse source (m**3)    : 55.408017
Volume from Mouse sink (m**3)      : -2948.8924
Volume from net precipitation (m**3): 2266796.57
Volume from infiltration (m**3)    : -856686.56
Volume defect (m**3)               : 284583.442
Volume error (m**3)                : -0.002093
=====

```

Figur 69. Vattenbalans för Ystad tätort, genererad från körning i Mike Flood med Tyréns standardvärden.