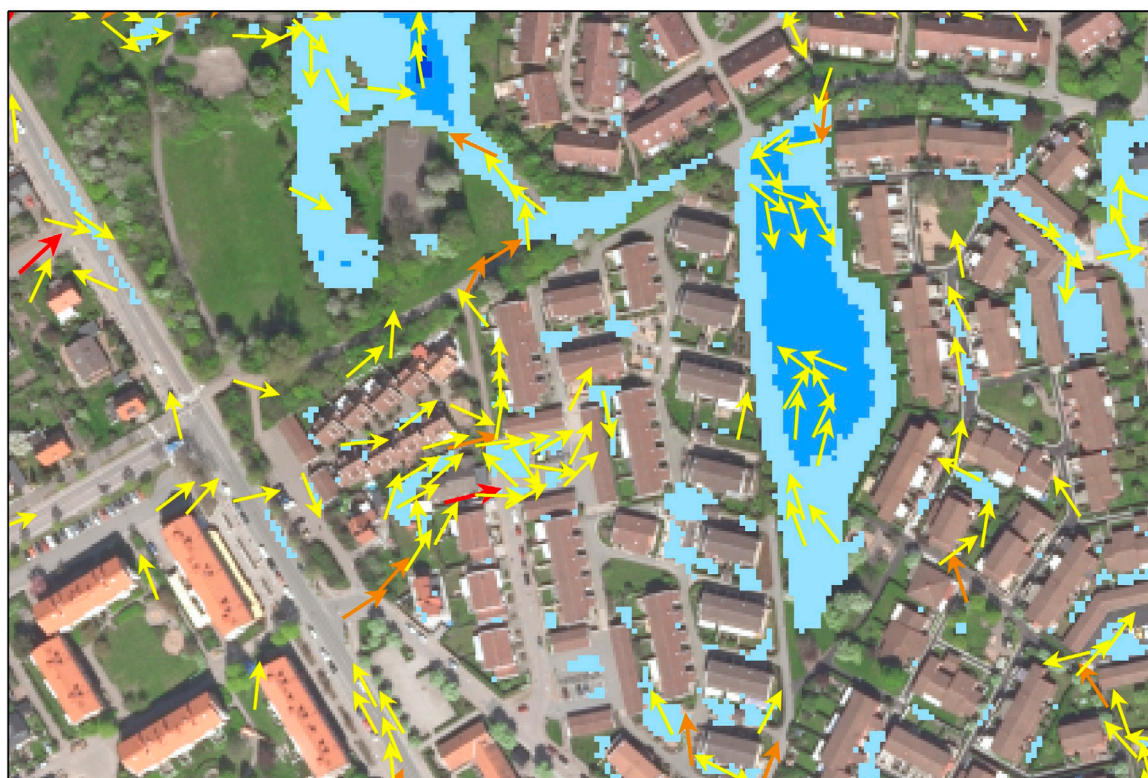


Kompakta öppna dagvattenlösningar i urban miljö

Skyfallshantering i området Husensjö i Helsingborgs stad



LUNDS
UNIVERSITET

Johannes Haeggblom & Jonas Hallerth

Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik
Institutionen för kemiteknik, LTH
Examensarbete 2016

Kompakta öppna dagvattenlösningar i urban miljö

Skyfallshantering i området Husensjö i Helsingborgs stad

av

Johannes Haegglom & Jonas Hallerth

Examensarbetsnummer: 2016-01

Vattenförsörjnings- och avloppsteknik
Kemiteknik
Lunds Universitet

Februari 2016

Handledare: **Professor Jes la Cour Jansen**
Biträdande handledare: **Doktorand Salar Haghigatafshar**
Biträdande handledare: **Joanna Theland - Sweco**
Examinator: **Docent Karin Jönsson**

Bild på framsida: Visualisering av rinnvägar och översvämning från MIKE 21 © *Lantmäteriet [I2014/00579]*.

Postadress

P.O. Box 124
SE-221 00 Lund, Sweden

Hemsida

www.vateknik.lth.se

Besöksadress

Naturvetarvägen 14

Telefon

+46 46-222 82 85

+46 46-222 00 00

Fax

+46 46-222 45 26

Förord

Det här examensarbetet har utförts på uppdrag av Helsingborgs stad i samarbete med VA-teknik vid institutionen för kemiteknik på Lunds Tekniska Högskola och SWECO Environment i Malmö.

Vi vill rikta ett stort tack till våra handledare Jes la Cour Jansen och Salar Haghghatafshar på VA-teknik vid LTH för all värdefull hjälp ni gett oss under arbetets gång.

På SWECO vill vi speciellt tacka Joanna Theland och Björn Almström för allt stöd vi fått men vi vill också tacka alla andra som tagit sig tid att svara på frågor och hjälpa oss.

Ett stort tack till Stina Pettersson och hela översiktsplaneavdelningen på stadsbyggnadsförvaltningen i Helsingborg för all information, hjälp och inspiration ni gett oss.

Vi vill tacka NSVA i Helsingborg för all hjälp vi fått, speciellt vill vi tacka Sofia Augustsson och Lars-Erik Widarsson för att ni tagit er tid att bidra med såväl kunskap som data.

Tack till Tomas Wolf på VA SYD för data över nederbörd från skyfallet i Malmö.

Jag, Jonas vill tacka min familj och Amanda för allt ditt stöd och din kärlek.

Slutligen vill jag, Johannes, tacka familj och vänner för allt stöd under arbetets gång.

Malmö 2016

Johannes Haeggbloom
Jonas Hallerth

Abstract

The residential area Husensjö in the city of Helsingborg, Sweden is one of many regions within the city which will be the subject of densification due to the steadily increasing population. The area is located in a natural low point which receives large quantities of rainfall runoff from the surrounding catchment area with no other way for the water to leave than through the stormwater drainage system. With an expected increase of extreme rainfall events and the growing proportion of impermeable surfaces, an evaluation of the current stormwater management within Husensjö is in order.

The survey in this report is divided into three main parts. The first part consists of a surface runoff model of the study area, created with modelling software MIKE 21. The model is expected to provide answers to how much runoff reaches the area, how runoff flows through the area and where it gathers during a rainfall event of the same magnitude as the one which struck Malmö on the 31st of August 2014. In the second part a few open stormwater solutions are evaluated based mainly upon how large volumes of water they can delay or retain per square meter footprint within Husensjö. The third part examines which surfaces within Husensjö are available for the installation of open stormwater solutions and is expected to provide answers to whether it is realistic to retain all water from extreme rainfall events with just these kinds of solutions.

The results from the surface runoff model show that the residential area Husensjö is at great risk of being flooded during extreme rainfall events. The scale of such a flood, though, is not exactly clear since further evaluation of the stormwater drainage systems capacity, due to limitations in the scope of the report, was not conducted.

After evaluation, the different open stormwater solutions were ranked from highest to lowest amount of retained water volume per square meter footprint as follows: stormwater retention chambers, rain gardens, permeable pavement, grassed swales, intensive green roofs, street storage and extensive green roofs.

Concerning the use of only small scale open stormwater solutions to retain all the storm water, the judgement was made that they would require an unrealistically large total surface area. Instead solutions which manage larger water volumes per square meter footprint should be used in combination with the small scale solutions. A proposal to solve this problem could be to use the two largest park surfaces within the area as multifunctional surfaces, for example by partially excavating them creating larger detention volumes.

In order to enhance the results from the surface runoff model, the capacity of the stormwater drainage system should be investigated further, for example by linking the MIKE 21 model with a MIKE URBAN model, which has the capacity to precisely simulate pipe flow. Further, report results are strongly connected to local conditions and hypotheses made in the report and thus caution must be taken before using the reports results for decision making in investigations within other areas. Costs should, together with a quantification of added values, be further investigated in order to improve the ranking of the different open stormwater solutions. Also the proposed term *footprint*, which as of this report is a rather loosely defined concept, should be further specified since different open stormwater solutions take up different surfaces. They are therefore not always interchangeably comparable with each other.

Sammanfattning

Bostadsområdet Husensjö i Helsingborgs stad är ett av flera områden som troligtvis kommer att genomgå en förtätning till följd av befolkningsökningen i staden. Området har ett utsatt läge då det ligger i en naturlig lågpunkt och därmed tar emot stora mängder avrinning från det kringliggande avrinningsområdet samtidigt som vattnet inte kan ledas ut på annat sätt än via ledningsnätet. I och med att skyfallen förväntas öka i framtiden, samtidigt som antalet hårdgjorda ytor ökar, är det högst aktuellt att se över dagvattenhanteringen i Husensjö.

Undersökningen i den här rapporten är uppdelad i tre delar. Den första delen innefattar en skyfallsmodellering av området med programvaran MIKE 21 vilken förväntas ge svar på vilka mängder vatten som ansamlas, var vattnet ansamlas och hur det rinner genom området vid ett skyfall av samma omfattning som det som drabbade Malmö den 31 augusti 2014. I den andra delen utvärderas ett antal kompakta öppna dagvattenlösningar, främst utifrån hur stora volymer vatten de kan omhänderta per m² ytanspråk, specifikt i området Husensjö. I den tredje delen undersöks vilka ytor som finns tillgängliga i Husensjö för det fallet att Helsingborgs kommun skulle vilja omhänderta allt dagvatten med hjälp av öppna dagvattenlösningar. Den tredje delen förväntas framför allt ge svar på huruvida det är rimligt att omhänderta vattenmassorna vid extrema skyfall med hjälp av enbart kompakta öppna dagvattenlösningar.

Resultaten från modellering visar att Husensjö löper stor risk att drabbas av översvämning vid extrema skyfall. Hur omfattande översvämningarna blir är något oklart då närmre utvärdering av ledningsnätets kapacitet, på grund av begränsningar i rapportens omfattning, inte gjordes.

Efter utvärdering rangordnades de olika öppna dagvattenlösningarna efter omhändertagen volym per m² ytanspråk, från mest till minst, enligt följande: underjordiska magasin, regnbäddar, permeabla markytor, gräsklädda svackdiken, intensiva gröna tak, fördröjning på gata och extensiva gröna tak.

Gällande implementering av enbart kompakta dagvattenlösningar för fördröjandet av större vattenmassor gjordes bedömningen att de kompakta lösningarna kräver orimligt stora ytor. Istället krävs det att de kompakta lösningarna kombineras med lösningar som omhändertar större volymer vatten per m² ytanspråk. Förslagsvis kan de två största gröna parkerna i området utnyttjas som mångfunktionella ytor t.ex. genom att med utgrävning sänka markytan i parkerna. Därmed kan ytorna utnyttjas som parker vid torrt väder och fördröja stora mängder vatten vid skyfall.

För att förbättra resultaten från modellering bör ledningsnätets kapacitet utredas närmare, förslagsvis genom att MIKE 21-modellen kopplas samman med en MIKE URBAN modell som kan simulera ledningsnätet. När det gäller de övriga resultaten så är de generellt starkt knutna dels till förutsättningarna på platsen Husensjö men också till antaganden som gjorts i rapporten. Det gör att särskild uppmärksamhet bör iaktas innan resultaten i rapporten används som beslutsunderlag för utredningar i andra områden. Den ekonomiska aspekten bör utredas närmare och en utvärdering och rangordning av dagvattenlösningar skulle bli bättre om mervärden kunde kvantifieras och inkluderas. Något annat som bör utvecklas mer är begreppet *ytanspråk* som är ett något ”trubbigt” mått när det gäller att utvärdera öppna dagvattenlösningar. I och med att de olika lösningarna tar olika typer av ytor i anspråk kan det t.ex. anses att en öppen dagvattenlösningar har ett visst ytanspråk i förhållande till bostäder, ett annat i förhållande till parkeringsytor och ett tredje i förhållande till gröna ytor.

Begrepp

BaP – Benzo(a)pyren (cancerframkallande ämne som b.la. uppstår vid vedeldning).

N – Kväve.

P – Fosfor.

PAH – Polycykliska aromatiska kolväten (en grupp ämnen som finns i petroleum, kol och bildas vid förbränning av organiskt material).

SS – Suspenderat material.

TN – Totalkväve.

TP – Totalfosfor.

TSS – Totalt suspenderat material.

TKN – Totalt Kjeldahl-kväve (NH_4^+ , NH_3 och organiskt kväve)

Urban Heat Island Effect – Effekten från tätbebyggda stadsdelar där hårdgjorda ytor och mänsklig aktivitet genererar mycket spillvärme

Innehåll

1	Introduktion	1
2	Målsättning	3
3	Bakgrund	5
3.1	Dagvattenhantering i Sverige	5
3.2	Exempel på öppna dagvattenlösningar	7
3.2.1	Gräsklädda svackdiken	7
3.2.2	Underjordiska magasin	9
3.2.3	Permeabla markytor	11
3.2.4	Regnbäddar	13
3.2.5	Gröna tak	17
3.2.6	Fördröjning på gata	18
3.3	Mångfunktionella ytor	20
3.3.1	Rabalderparken Roskilde	20
3.3.2	Tåsinge Plads i Köpenhamn	21
3.4	MIKE 21: modelleringsverktyg för ytavrinning	23
3.5	Tidigare studier inom skyfallsmodellering	23
3.6	Regndata som simulerats i modellen	24
4	Studieområdet Husensjö	25
5	Metodik	29
6	Resultat	31
6.1	Modellering	31
6.1.1	Total ansamlad volym	31
6.1.2	Översvämmade områden och rinnvägar	31
6.2	Ytanspråk för kompakta dagvattenlösningar	40
6.2.1	Markens infiltrationskapacitet i Husensjö	40
6.2.2	Gräsklädda svackdiken	41
6.2.3	Underjordiska magasin	43
6.2.4	Permeabla markytor	44
6.2.5	Regnbäddar	45
6.2.6	Gröna tak	46
6.2.7	Fördröjning på gata	47
6.2.8	Sammanfattning	48
6.3	Implementering av kompakta dagvattenlösningar i Husensjö	48
6.3.1	Tillgängliga ytor	48
6.3.2	Omhändertagande på samtliga ytor	50
6.3.3	Omhändertagande på kommunal mark	51

7	Diskussion	55
7.1	Modellering	55
7.2	Ytanspråk för kompakta dagvattenlösningar	58
7.3	Implementering av kompakta dagvattenlösningar i Husensjö	59
8	Slutsatser	63
9	Framtida arbete	65
10	Referenser	67
	Appendix A – Utökade metodiktexter	75
	A1 – GIS	75
	A2 – MIKE 21	78
	Appendix B – Ledningsnätets kapacitet	81
	Appendix C – Populärvetenskaplig artikel	82

1 Introduktion

De senaste tio åren har flera extrema skyfall drabbat södra Sverige och Danmark där några exempel är Malmö (31:a augusti 2014), Köpenhamn (2:a juli 2011) och Perstorp (27:e juli 2014). Extrema skyfall orsakar ofta stora materiella skador (MSB, 2013) vilket leder till omfattande kostnader för såväl offentlig som privat sektor. De klimatförändringar världen just nu upplever medför dessutom att nederbörden i Sverige förväntas öka med 20-60% fram till år 2100 (SMHI, 2010) vilket sannolikt även kommer leda till en ökad mängd extrema skyfall (Olsson & Foster, 2014).

Traditionellt har dagvattenhanteringen i Sverige fokuserat på att dagvatten leds bort från bebyggda områden via ledningsnätet. Det är dessutom standardförfarande att dimensionera dagvattenledningar för att inom urbana områden som mest kunna omhänderta vattenmängderna från ett 10-årsregn (Vägverket, 2008). Detta medför att ledningsnätet går fullt och översvämmas vid kraftigare skyfall än så. Att uppgradera dagvattensystemet är både komplicerat och kostsamt vilket gör att öppna dagvattenlösningar idag implementeras allt oftare.

Helsingborgs stad ligger i nordvästra Skåne, har idag ca 135 000 invånare och förväntas växa till ca 175 000 invånare fram till 2035. En stor del av befolkningstillväxten planeras att tillgodoses genom en förtätning av staden (Pettersson, 2016). Detta leder dock ofta till att andelen hårdgjorda ytor ökar vilket i sin tur leder till ökad ytavrinning som måste omhändertas.

Ett område som sannolikt kommer att förtätas är Husensjö som ligger strax norr om stadskärnan. Området ligger i en naturlig lågpunkt i landskapet, är instängt och bestod tidigare till stor del av en mosse. Det finns inga naturliga rinnvägar för vattnet ut ur området utan området avvattnas idag helt genom ledningsnätet vilket blir tydligt när topografin i området analyseras. Sammantaget gör det att området löper risk att översvämmas vid extrema skyfall. Ett sätt att minska risken för framtida översvämningar är att implementera öppna dagvattenlösningar i området. Den här rapporten fokuserar på vilka dagvattenlösningar som effektivt kan integreras i en tätbebyggd miljö genom att undersöka situationen i Husensjö och använda den som exempel.

2 Målsättning

Examensarbetet har två huvudmål där det första är att ta fram en modell för avrinningsområdet kring Husensjö. Modellen ska kunna visa vad som händer vid extrem nederbörd – i det här fallet vad som händer vid ett skyfall motsvarande det som föll över Malmö i augusti 2014 där det på sex timmar regnade mellan 51 och 122 mm (beroende på vilken stadsdel som avses) (Hernebring et al., 2015). Examensarbetets andra huvudmål är att undersöka hur öppna dagvattenlösningar kan integreras i urban miljö. Detta görs genom att ett antal kompakta öppna dagvattenlösningar utvärderas och jämförs. För att förtydliga de två huvudmålen har ett antal delmål formulerats:

- Skapa en modell över avrinningsområdet som kan beskriva hur mycket vatten som ansamlas i området, var vattnet ansamlas och hur vattnet rinner genom området vid extrema skyfall.
- Uppskatta omhändertagen volym per m² yta som tas i anspråk för öppna dagvattenlösningar med lågt ytanspråk för att kunna jämföra deras effektivitet.
- Med bakgrund i modellresultaten utvärdera om det är realistiskt att försöka omhänderta Malmöregnet 2014 med hjälp av enbart kompakta dagvattenlösningar.
- Utvärdera mervärden för samtliga lösningar.

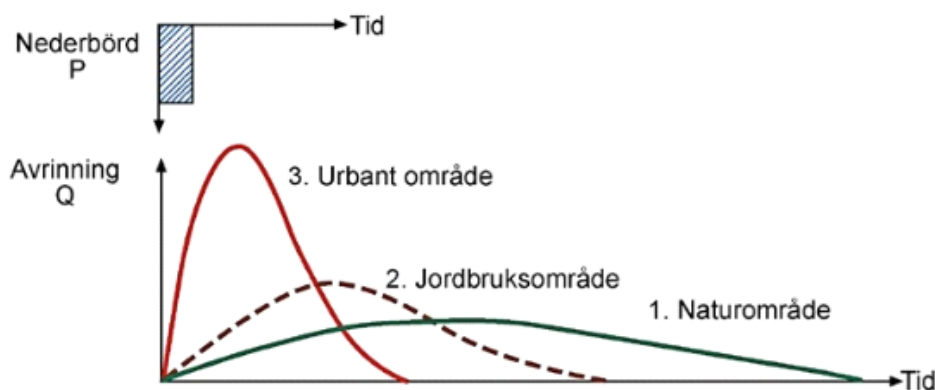
3 Bakgrund

3.1 Dagvattenhantering i Sverige

Traditionellt har dagvattenhanteringen i Sverige fokuserat på att leda bort vatten från bebyggda områden genom ledningsnätet till en recipient. Under de senaste 10-20 åren har däremot fokus börjat skifta mot att utnyttja öppna dagvattenlösningar för att minska belastningen på ledningsnätet (Svenskt Vatten, 2007).

När städer växer och förtätas försvinner vattnets naturliga rinnvägar och hårdgjorda ytor ersätter ytor där vattnet tidigare kunde infiltrera i marken. En ökning av andelen hårdgjorda ytor leder till större volymer dagvatten så väl som en snabbare avrinning och ett mer förorenat dagvatten (Stockholm Vatten, 2015; NSVA, 2015).

Figur 3.1 visar avrinning över tid för tre olika typer av avrinningsområden; ett urbant område, ett jordbruksområde och ett naturområde. Ur figuren framgår att avrinningen både är kraftigare och att flödestoppen kommer snabbare i ett urbant område jämfört med de två andra typerna (Svenskt Vatten, 2011a).



Figur 3.1 – Avrinning från olika typer av områden (Svenskt Vatten, 2011a).

Generellt sett kan dagvattenhantering delas upp i tre typer av system:

Kombinerat system

I ett kombinerat system finns en ledning för det kombinerade flödet av spill- och dagvatten. Det mesta av det kombinerade systemet är byggt innan 50-talet då metoden var standard fram till dess. Sen mitten av 50-talet har standarden skiftat till att bygga duplikatsystem. Idag består ca 8 % av Sveriges ledningsnät av kombinerade system där dessa är främst belägna i äldre, centrala delar av samhällen. Det finns en risk för översvämning av lågt belägna källare i områden med kombinerat system (Svenskt Vatten, 2007). Generellt är källaröversvämningar vanligare i områden med kombinerat system (Munkedal kommun, 2015; EEM, 2015; Västvatten, 2014). Dessutom kan avloppsvatten flöda in i källare eller upp på gator vid en översvämning vilket innebär en hälsorisk (MSB, 2013).

Duplikatsystem

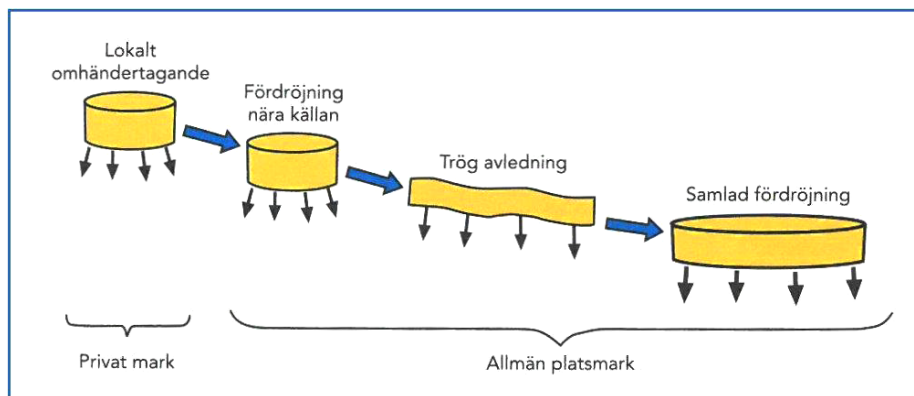
Ett duplikatsystem utnyttjar två ledningar, en för spillvatten och en för dagvatten. Duplikatsystem har varit standard sedan mitten av 50-talet och utgör idag den största delen av det svenska avloppssystemet (Svenskt Vatten, 2007). Systemen är oftast dimensionerade för regn med en återkomsttid på 1-10 år beroende på om området är beläget i ett urbant eller

ruralt område och om vattnet transporteras med självfall eller pumpar (Vägverket, 2008). Eftersom dag- och spillvatten rinner i olika ledningar finns bättre möjligheter att dimensionera system som klarar högre dagvattenflöden jämfört med kombinerat där spill- och dagvatten delar ledning. Dessutom undviker man att avloppsvatten breddas vid höga flöden.

Öppna dagvattensystem

Öppna dagvattensystem används för att ersätta eller fungera som komplement till kombinerade system och duplikatsystem genom att en del av dagvattenflödet fördröjs i det öppna systemet innan det flödar ner i avloppssystemet. Exempel på stora öppna dagvattensystem finns bland annat i staden Portland (Oregon) eller i kvarteret Augustenborg (Malmö). Öppna dagvattenlösningar utformas för att efterlikna naturliga processer genom att minska och sakta ner flödet av dagvatten från ett område. Resultatet blir att avrinningen mer liknar kurvan för ett naturområde än ett urbant område i figur 3.1. Då avrinningen efterliknar ett naturligt system finns goda möjligheter att minska föroreningstransporten genom att dra nytta av naturliga reningsprocesser (se sektion 3.2 för mer detaljerad information om reningsprocesserna för de olika lösningarna) (Svenskt Vatten, 2006; Svenskt Vatten, 2007). Ett öppet dagvattensystem kan utformas för att minska översvämningensrisken i ett område, dessutom ofta till en lägre kostnad än traditionella lösningar som t.ex. att öka storleken på ledningsnätet (Stahre, 2008; NSVA, 2015). En annan fördel med de öppna systemen är att vattnet görs till en synlig och integrerad del av stadsmiljön (NSVA, 2015; Stockholm Vatten, 2015) samtidigt som de kan ge staden många mervärden, b.l.a. estetiska, ekologiska, rekreationella, pedagogiska och PR-värden (Stahre, 2008).

Figur 3.2 beskriver fyra huvudkategorier som ofta används för att dela in öppna dagvattenlösningar (Svenskt Vatten, 2004):



Figur 3.2 – En indelning av öppna dagvattenlösningar i fyra kategorier (Svenskt Vatten, 2011a. Efter: Stahre, 2004).

Lokalt omhändertagande:

Småskaliga anläggningar som placeras på privat mark t.ex. infiltration på egen gräsmatta, gröna tak, små dammar, regnbäddar etc.

Fördröjning nära källan:

Den här kategorin inkluderar små lösningar nära källan i avrinningsområdet och inkluderar b.l.a. infiltrationsytor, regnbäddar och små dammar. Den stora skillnaden mellan kategorin lokalt omhändertagande är att lösningar placeras på kommunal mark och således är stadens ansvar.

Trög avledning:

Lösningar som syftar till att transportera dagvatten på ett sätt som efterliknar naturliga flödesvägar och leder till att vattnet rinner med en långsammare hastighet. Kategorin inkluderar b.la. svackdiken, bäckar och diken.

Samlad fördröjning:

Längre nedströms I avrinningsområdet placeras lösningar i större skala som kan omhänderta och fördröja stora volymer vatten. Exempel på detta är dammar, anlagda sjöar och våtmarker.

Sammanfattningsvis så erbjuder alltså öppna dagvattenlösningar många mervärden jämfört med dagvattenhantering genom avloppssystemet. Att bygga öppna dagvattenlösningar kan dessutom vara ekonomiskt fördelaktigt jämfört med att öka storleken på avloppssystemet vilket gör det till ett attraktivt alternativ för att förebygga översvämningar (NSVA, 2015; Stahre, 2008).

3.2 Exempel på öppna dagvattenlösningar

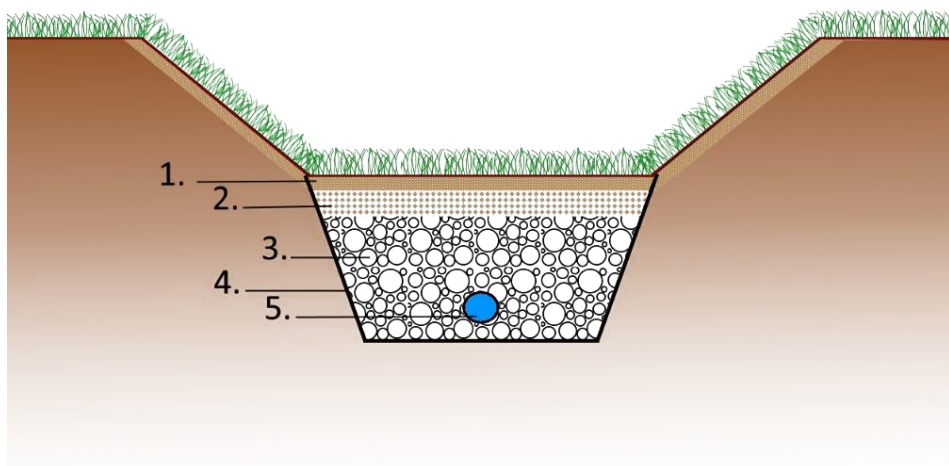
I följande sektion finns bakgrundsinfo om de lösningar som undersökts i studien. De lösningar som tas upp är sådana som bedömts kunna utformas för att utgöra kompakta lösningar. En tydlig definition för när en lösning kan betraktas som kompakt är svår att göra men en riktlinje som har följts är att lösningen måste kunna implementeras på små ytor eller ytor som normalt inte används för dagvattenhantering, till exempel tak eller parkeringsytor. På grund av detta har rapportförfattarna gjort en individuell bedömning för utformningen av var och en av lösningarna för att de ska kunna betraktas som kompakta. Mer detaljer kring utformningen finns i sektion 6.2.

3.2.1 Gräsklädda svackdiken

Ett gräsklätt svackdike är en lösning för avledning av vatten som liknar ett dike men där kanterna har getts en mindre skarp lutning och hela diket är täckt av vegetation. Jämfört med avrinning i kulvert eller ledning sker avrinningen i ett svackdike långsammare, infiltration till underliggande jordlager är möjlig och vegetationen leder till en ökad sedimentation vilket gör att föroreningstransporten minskar (Bäckström, 2002; VISS, 2015; USEPA, 2014e). Lösningen placeras i lösningskategorin trög avledning och tidigare nämnda fördelar gör lösningen till en bra komponent i ett öppet dagvattensystem. Dock är ett svackdike generellt bredare än t.ex. en betongklädd dräneringskanal vilket gör att lösningen blir mer utrymmeskrävande.

Två typer av svackdiken kan konstrueras, våta och torra. I ett vått svackdike är botten av diket i nivå med grundvattnet vilket gör att diket har en permanent ansamling vatten i botten. I ett torrt svackdike är botten över grundvattennivån och det konstrueras ofta så att det torkar ut mellan skyfall vilket kan kräva att dränering installeras under diket. Ett torrt svackdike (illustrerat i figur 3.3) kan vara att föredra i bostadsområden då problem med lukt och myggor kan uppstå i våta svackdiken (Myrdal & Sternsen, 2013; USEPA, 2014e). Ett svackdike bör utformas med ett trapetsformat eller paraboliskt tvärsnitt snarare än v-form eftersom det ger en bättre renande effekt och minskar risken för erosion (Larm, 2000). Svackdiken fungerar oftast bäst om lutningen i rinnvägens riktning är mellan 1-4% eftersom lägre lutning kan leda till att vatten ansamlas i botten av diket och högre lutning kan leda till erosion (MBWCP, 2006). Lägre lutning kan dock användas så länge diket är väl-dränerat i botten och högre lutning kan användas genom att dammar anläggs längs diket vilket sänker vattnets hastighet (USEPA, 1999a). Det är viktigt att flödes hastigheten är låg ($< 0,5$ m/s under mindre skyfall och $< 2,0$ m/s under stora skyfall) för att undvika att sediment dras med från diket och förs ut

till recipienten (MBWCP, 2006). Dikets sidor bör dessutom inte ha en lutning som större än 1:4 och bottenbredden bör vara 0,5-3,0 m (Larm, 2000). En annan viktig sak att ta hänsyn till är att svackdike konstrueras på ett sådant sätt att fordon inte tillåts köra på dikets kanter eller botten, varken under konstruktionen eller under dikets livslängd. Fordonstrafik leder till att de översta jordlagren kompakteras på ett sådant sätt att svackdikets kapacitet för infiltration försämras (MBWCP, 2006).



Figur 3.3 - Principskiss över ett gräsklätt torrt svackdike: Diket kan utformas på flera sätt beroende på underliggande jordlager och huruvida det ska vara torrt eller vått. I figuren illustreras ett svackdike: 1. Sandinblandad matjord 2. Dräneringslager 3. Underliggande makadamlager 4. Geotextil 5. Dräneringsrör (Illustration: Jonas Hallerth, Efter: Svenskt Vatten, 2011a).

Mervärden

Det främsta mervärdet med svackdiken är förmodligen dess reningseffekt. Tät växtlighet i diket resulterar i lägre vattenhastighet, skyddar dikets sidor från erosion och kan agera som ett filter för det inkommande dagvattnet (USEPA, 2014e). Hur effektivt svackdike reducerar föroreningstransport beror bland annat på design, inkommande vattenkvalitet och flöde genom diket. MBWCP (2006) uppger reduktioner enligt tabell 3.1 beträffande TSS, TP och TN för ett genomsnittligt svackdike vars area utgör ungefär 0,5 % av avrinningsområdet.

Tabell 3.1 – Reduktion av näringsämnen och TSS i ett svackdike (MBWCP, 2006).

Förorening	TSS	TP	TN
Reduktion	88 %	60 %	10 %

Naturvårdsverket i USA (USEPA, 2014e) har sammanställt ett antal studier över reningseffekten i svackdiken. Det sammantagna resultatet av studierna pekar på en hög reduktion av TSS, medelhög reduktion av fosfor och tungmetaller och låg reduktion av kväve.

Bortsett reningseffekten är ytterligare ett mervärde främst det estetiska. Välanlagda svackdiken kan bidra till en visuellt mer tilltalande stadsmiljö om de görs tillgängliga för boende i närområdet. Även ur ett biologiskt mångfaldsperspektiv kan svackdiken bidra genom att det skapas så kallade ekologiska korridorer som binder samman gröna ytor där djur- och växtliv i större utsträckning tillåts frodas (Myrdal & Sternsen, 2013).

Underhåll

Ett svackdike kräver inspektioner och underhåll under sin livslängd för att kunna fungera optimalt. Först och främst måste växligheten i diket regelbundet klippas. Dessutom bör svackdikediket inspekteras för att se till problem med igensättning av markytan eller blockerade inflöden inte uppstår. Om stora mängder sediment deponeras i svackdikediket kan sediment behöva forslas bort och markbearbetning krävas för att förhindra att den sandinblandade matjorden sätts igen (MBWCP, 2006).

3.2.2 Underjordiska magasin

I tätbebyggda områden kan det ibland finnas för lite utrymme för att installera en öppen magasinlösning. Då kan ett underjordiskt fördröjningsmagasin vara ett alternativ. Vanligtvis utgörs dessa magasin av större dagvattenkammare, platsgjutna eller prefabricerade betongkonstruktioner eller modulsystem bestående av plastkassetter (Dahl, 2013).

Regnvattnet når magasinet genom ett rör som är anslutet till en eller flera dagvattenbrunnar eller genom direkt infiltration via en permeabel markyta. Ut från magasinet löper ytterligare rör som är dimensionerade för att släppa ut ett på förhand bestämt dagvattenflöde till ledningsnätet. Detta medför att avrinningsområdet i mindre utsträckning bidrar till en plötslig ökning i belastning av ledningsnätet utan istället fördröjer och sprider ut avvattningen över en längre tid. I vissa fall kan magasinet designas för att låta en del av dagvattnet infiltrera ner i den omkringliggande jordmånen. Detta är dock beroende av hur genomsläpplig jorden är och hur grundvattennivåerna ligger i området (USEPA, 2001). Underjordiska magasin är applicerbara inom lösningskategorierna LOD, fördröjning nära källan och samlad fördröjning. Nedan presenteras några av de vanligaste varianterna av underjordiska fördröjningsmagasin.

Kassettmagasin

Kassettmagasin är ett modulärt dagvattenmagasin som utgörs av polypropen-kassetter. Dessa monteras ihop till ett sammanhängande magasin dimensionerat efter användningsområdets behov. För att undvika att partiklar tränger in från den omgivande jordmånen kläs hela magasinet i geotextil. På så sätt tillåts en del av vattnet infiltrera i jorden medan resten avleds till recipienten under kontrollerade former genom ett strypt utlopp. Vanligtvis installeras kassettmagasin ovanför grundvattennivån men vid behov kan de även placeras under om man klär magasinet i ett tätt geomembran. Dock bör aktsamhet iaktas då lyftkrafter från grundvattnet kan skada magasinet om inte ett lager tyngre fyllnadsmaterial anläggs över magasinet (Vinnova, 2014). Figur 3.4 visar ett exempel på anläggning av kassettmagasin.



Figur 3.4 – Anläggning av ett kassettmagasin (Foto: Wiktorp Konsult & Trading AB, 2015).

Betongkammare

Betongkammare kan implementeras antingen i form av en lösning som gjuts på plats eller sätts samman av prefabricerade betongmoduler. Fördelen med en platsgjuten lösning är att kammarens dimensioner går att anpassa i detalj efter önskemål och förutsättningar. Betongkammare fungerar i grund och botten precis som de andra lösningarna med skillnaden att de ofta är helt täta och därför inte i samma utsträckning måste ta hänsyn till grundvattennivån. Som nämnt i förra stycket bör dock lyftkrafter från grundvattnet inte underskattas. Ett extra lager makadam över kammaren eller tjockare betongskikt kan vara en förebyggande lösning (Svenskt Vatten, 2011a).

Dagvattenkammare

På ett liknande sätt som kassetmagasinen är dagvattenkammare uppbyggda av polypropenkomponenter, dock med skillnaden att de är utformade som valv som installeras ovanpå ett lager av makadam åtskilt av ett filtrerande lager geotextil (se figur 3.5). Valven i sin tur täcks av ytterligare ett lager makadam som sörjer för stabilitet och skapar fördröjningsvolym i hålrummen. Anläggningen i sin helhet är insvept i ett lager geotextil för att förhindra att partiklar från jorden tränger in och sätter igen hålrummen. Slam som sakta bildas i botten av kamrarna bidrar även till viss rening av vattnet när det infiltrerar (Vinnova, 2014).



Figur 3.5 – Anläggning av dagvattenkammare i Mellanöstern (Foto: Poltronieri, n.d).

Mervärden

Underjordiska fördröjningsmagasin har i sig generellt en rätt låg reningseffekt. Dock kan alltid en eller flera reningsprocesser implementeras mellan inloppet och magasinet i form av bland annat sedimentations- och flotationstankar. Dessa reningssteg är nödvändiga att implementera för att undvika igensättning ifall magasinet är konstruerat för att tillåta infiltration i den omkringliggande jordmånen (Lake Superior, 2005).

Underhåll

Fördröjningsmagasin kräver förhållandevis lite underhåll. Lösningen saknar oftast helt rörliga delar och klarar sig flera år utan särskilda åtgärder. Dock måste magasinet rengöras då och då för att avlägsna sedimenterade partiklar och skräp som kan påverka magasinets prestanda (USEPA, 2001). För att förebygga sedimentering kan ett sandfång installeras uppströms om magasinet. I fallet då ett kassetmagasin eller annan svårtillgänglig lösning används där det

inte är möjligt att rengöra bör ett filter installeras vid dagvattenbrunnen där insläppet sker. Kassettmagasin bör vara insvepta i geotextil för att förhindra inträngande av partiklar från den omkringliggande jorden (Svenskt Vatten, 2011a).

3.2.3 Permeabla markytor

Permeabla markytor är en samling olika lösningar applicerbara i lösningskategorierna LOD och fördröjning nära källan. Lösningarna är tänkta att ersätta hårdgjorda ytor för att minska och fördröja den omedelbara avrinningen som uppstår vid ett skyfall (Aarhus Kommune, 2011). Vanligtvis består dessa lösningar av ett permeabelt eller semipermeabelt ytskikt som täcker antingen den underliggande naturliga jordmånen, ett designerat underjordiskt magasin eller ett lager av makadam som med sin höga porositet bidrar till att fördröja vattnet (University of Florida, 2008). Från fördröjningsskiktet tillåts vattnet sedan infiltrera i den omkringliggande jordmånen eller avleds via ledningsnätet (Aarhus Kommune, 2011). När man strävar efter att minska dagvattenavrinningen i stadsmiljö kan permeabla markytor användas för att anlägga till exempel parkeringsytor utan att bidra till en markant ökad dagvattenavrinning samtidigt som det inte kompromissas med ytans tålighet (se figur 3.6). Permeabla markytor kan dessutom användas till allt ifrån garageuppfarter och trottoarer till lågtrafikerade vägar såsom gårdsgator (University of Florida, 2008).

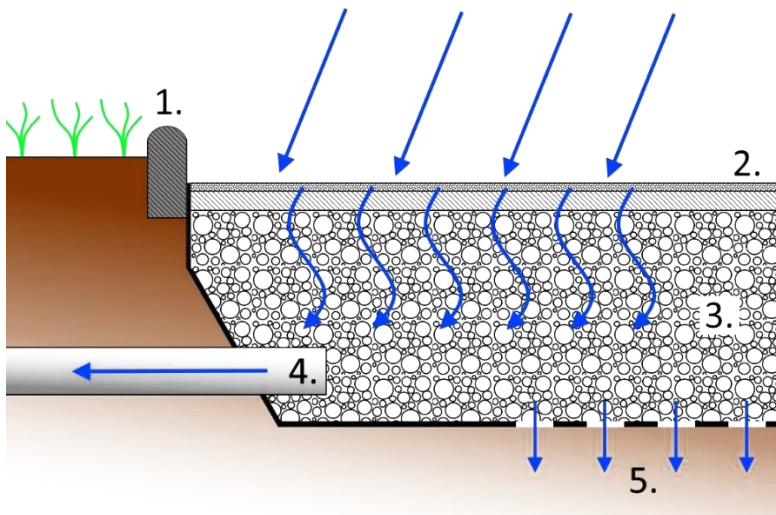


Figur 3.6 – väg av betong med parkeringsyta av permeabel betong (t.v.) och asfaltväg med parkeringsyta av permeabel asfalt (t.h.). (Foto: City of Portland, 2005a).

Nedan följer en kortfattad presentation av några av de vanligare typerna genomsläppliga markytor:

Permeabel betong

Permeabel betong består av en materialkomposition som i hårdnat tillstånd bildar små hålrum som tillåter vatten att infiltrera. Den här lösningen innefattar vanligen ett underliggande lager av makadam eller sand som tjänar som fördröjningsmagasin (University of Maryland, 2011). Trots att lösningen inte är lika slitstark som vanlig betong kan den fortfarande användas som ersättning för trottoarer, cykelvägar och lågtrafikerade vägar (USEPA, 2014d). Figur 3.7 nedan demonstrerar ett tvärsnitt av en komplett lösning med permeabel betong eller asfalt som ytskikt.



Figur 3.7 - Permeabel asfalt/betong: 1. Kantsten, 2. Ytskikt av permeabel asfalt/betong, 3. Poröst grus- eller sandlager, 4. Utlopp till recipient, 5. Möjlighet för infiltration i omkringliggande jordmån (Illustration: Johannes Haeggblom).

Permeabel asfalt

Permeabel asfalt (se figur 3.8) inkorporerar vanligtvis, liksom permeabel betong, någon typ av poröst fördröjningsmagasin under ytan. Den skiljer sig inte märkbart från vanlig asfalt mer än att det finkornigare materialet i blandningen utelämnas vilket skapar hålrum som tillåter vattnet att infiltrera (University of Maryland, 2011). Materialets tålighet är hög och lämpar sig därmed väl för vägar med intensiv trafik. En positiv bieffekt av att vattnet infiltrerar snabbt från ytan är den minskade risken för vattenplaning som det medför (Caltrans, 2006).



Figur 3.8 – Närbild på permeabel asfalt (t.v.) och permeabel asfalt intill vanlig asfalt (t.h.) (Foto: City of Portland, 2005a).

Rasterytor

Rasterytor består av ett rutnät i plast eller betong som placerats över ett fördröjningsmagasin. Hålrummen i rutnätet fylls sedan med antingen jord eller mull och besås oftast med gräs för att öka stabiliteten. Alternativt kan grus användas istället för jord. Beroende på materialvalet kan lösningen lämpa sig mer eller mindre bra för trafikerade vägar (University of Maryland, 2011).

Grusytor

Den här lösningen innefattar inget sammanhållande material utan är i grund och botten bara ett tjockare gruslager. Porositeten är ganska hög men lösningens användningsområde är begränsat till ytor med lågintensiv trafik med låga hastigheter som garageuppfarter och mindre gångbanor (Green Building Alliance, 2013).

Permeabla betongbeläggningar

Permeabla betongbeläggningar (figur 3.9) består av betongblock formade på ett sådant sätt att de, när de är satta på plats, lämnar små öppningar mellan blocken som fylls ut med grus eller sand. Öppningarna utgör normalt 5-15% av ytan och tillåter därmed dränering av dagvatten. Som många tidigare nämnda lösningar kombineras även denna oftast med ett underliggande makadamlager som tjänar som fördröjningsvolym. Denna lösning är generellt sett mycket tålig och hanterar tung och intensiv fordonstrafik väl (USEPA, 2014c).



Figur 3.9 – Installation av betongbeläggning över infiltrationsmagasin (t.v.) och det färdiga resultatet (t.h.) (Foto: City of Portland, 2005b).

Mervärden

En positiv effekt av det genomsläppliga materialet och det oftast underliggande grusmaterialet är att det på mekanisk väg filtrerar vattnet vilket kan minska mängden föroreningar i recipienten (University of Maryland, 2011). När det kommer till TSS visar undersökningar på en god reningsförmåga – mellan 67-99 % (USEPA, 2014d), 72 % (International Stormwater BMP Database, 2014). Även rening från tungmetaller och motorolja har visat sig vara effektiv för många av lösningarna. När det gäller rening av fosfor och kväve råder viss osäkerhet där vissa studier påvisar reduktioner men flera påvisar liten eller ingen reduktion (NCCE, 2008). Några källor som däremot påvisar reduktion av näringsämnen är; TP: 65 % & TN 80-85 % (USEPA, 1999b), TP: 43 % & TKN: 53 % (International Stormwater BMP Database, 2014).

Underhåll

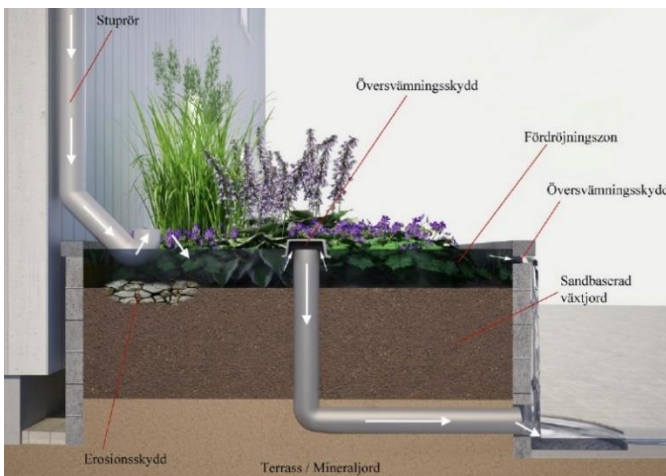
Igensättning av det permeabla materialet efter nyinstallation är generellt sett oundvikligt men trots det har det visat sig att efter en viss tids användning planar minskningen i permeabilitet ut (USEPA, 2014d). Lämpligt underhåll bör dock utföras regelbundet för att undvika igensättning av materialet med organiska partiklar från till exempel löv (NCCE, 2011). Permeabla markytor bör dock inte användas i områden där ett behov för att sanda för vinterväglag kan förväntas. Måttlig saltning går dock bra (USEPA, 2014d).

3.2.4 Regnbäddar

En regnbädd är en lösning som lämpar sig mycket bra för omhändertagande av dagvatten från små områden, speciellt i tät bebyggelse där de väl kan integreras i stadsbilden för att skapa

fler gröna ytor (USEPA, 2014a). En regnbädd kan definieras som en sänka täckt av växtlighet med möjlighet att fungera som en översvämningssyta. Beroende på hur regnbädden är konstruerad kan den även tillåta infiltration ner i marken (MBWCP, 2006; Fridell & Jergmo, 2015). Lösningen är applicerbar inom kategorierna LOD och fördröjning nära källan. Generellt kan regnbäddar delas upp i fem typer beroende på hur de är konstruerade (Fridell & Jergmo, 2015)

Regnbäddar av typ 1 (figur 3.10) är konstruerad med en fördröjningszon ovan jord samt ett översvämningsskydd som leder bort vatten i önskad riktning vid en bestämd översvämningssnivå. Dränering av bädden saknas och allt vatten infiltrerar ned i marken, flödar ut genom översvämningsskyddet eller rinner över kanten på regnbädden om den blir full.



Figur 3.10 – Regnbädd typ 1 (Fridell & Jergmo, 2015).

Typ 2 (figur 3.11) byggs med en fördröjningszon och översvämningsskydd ovan jord men i stället för att förlita sig på enbart infiltration finns dränering installerad i botten av bädden för att kunna säkerställa avvattning av bädden om så krävs. I övrigt är bädden identisk med typ 1.



Figur 3.11 - Regnbädd typ 2 (Fridell & Jergmo, 2015).

Typ 3 (figur 3.12) konstrueras med en fördröjningszon ovan jord, översvämningsskydd samt dränering i botten. Under dräneringen anläggs ett lager med makadam vilket syftar till att skapa en fördröjningszon också under jord. Makadamen fungerar också som ett kapillärbrytande lager vilket gör att grundvatten inte kan tränga upp i bädden. I övrigt är bädden identisk med typ 2.



Figur 3.12 – Regnbädd typ 3 (Fridell & Jergmo, 2015).

Typ 4 (figur 3.13) har, för att förhindra infiltration, en tät markduk längs sidor och under bädden. I övrigt är den konstruerad på samma sätt som typ 2 med fördröjningszon ovanför jorden samt dränering och översvämningsskydd.



Figur 3.13 - Regnbädd typ 4 (Fridell & Jergmo, 2015).

Regnbädd typ 5 (figur 3.14) konstrueras som typ 4 med en tät markduk men har även ett vattenlås på översvämningsskyddet. Detta gör att vatten kan lagras i vattenlåset vilket är positivt om bädden kräver extra bevattning under torra perioder. Det ger också en bättre rening då en större del av vattnet hålls kvar och sedan kan perkolera genom bädden innan det flödar vidare.



Figur 3.14 - Regnbädd typ 5. (Fridell & Jergmo, 2015).

Regnbädd typ 1-3 är lämpliga i områden där jordmånen har en tillräckligt hög permeabilitet så regnvattnet kan perkolera ner till grundvattnet. Regnvattnet bör också vara fritt från ämnen som kan förena grundvattnet. Om biofiltret ligger nära byggnader som kan vara känsliga för förändringar av grundvattennivån bör typ 4 och typ 5 vara lämpligare då typ 1-3 kan innebära en höjning grundvattennivå (Fridell & Jergmo, 2015).

De olika typerna beskrivna ovan illustreras som upphöjda regnbäddar men många gånger anläggs regnbäddar på marknivå. Samma principer kan användas för att anlägga regnbäddar i marknivå.

Mervärden

Regnbäddar bidrar till att rena regnvattnet genom processer både i vegetationen, i bäddmaterialet samt under bädden om vattnet tillåts filtrera ner i marken under bädden. De två främsta processerna är sedimentation (vid ytan) och filtrering (i bädden). En sammanställning av fem studier rörande reningseffekten hos regnbäddar gjordes av Fridell & Jergmo (2015) och presenteras i tabell 3.2.

Tabell 3.2 – Reningseffekten i en regnbädd (Fridell & Jergmo, 2015).

Ämne	P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Hg	TSS	Olja	PAH	BaP
Reningseffekt, medianvärde (%)	60	25	80	60	90	80	25	75	50	85	60	85	85

Kvävereningen för regnbäddar är relativt låg jämfört med andra ämnen vilket beror på att en effektiv kvävereducering kräver anaeroba förhållanden. Den första tiden efter anläggning är det troligt att reningseffekten är negativ (alltså att biofiltret läcker föroreningar) beträffande fosfor, kväve och suspenderat material men efter det första året, när vegetation är etablerad och bäddens material satt sig kommer reningen att ske mer effektivt (Fridell & Jergmo, 2015).

Erfarenheten i Sverige kring hur väl regnbäddar fungerar beträffande rening och infiltrationen under vintern är begränsad (Fridell & Jergmo, 2015). En 3-årig studie utförd i Minnesota, angående regnbäddars effektivitet under vinterhalvåret kom fram till att de studerade regnbäddarna hade en aktiv infiltration under ungefär 84 % av vintern (WERF, 2008). Infiltrationskapaciteten under vintern gynnas om grövre material används i bädden (Fridell & Jergmo, 2015; WERF, 2008). Reningen av TSS och metaller är fortfarande god under vinterhalvåret men rening av kväve och fosfor bli sämre (Fridell & Jergmo, 2015).

Övriga mervärden kretsar kring att regnbäddarna väl kan integreras i stadsmiljö och utgöra ytterligare en grön yta (USEPA, 2014a) vilket kan ge bland annat biologiska och estetiska mervärden.

Underhåll

Generellt krävs det relativt mycket underhåll för att bibehålla en välfungerande regnbädd. Rutinmässiga kontroller bör utföras för att kontrollera så att inte ackumulerat sediment eller skräp har börjat sätta igen filtret (MBWCP, 2006). Även växtligheten i sig bör undersökas, död och eventuell oönskad växtlighet avlägsnas och ny planteras (Virginia, 2010).

3.2.5 Gröna tak

Gröna tak är, som namnet avslöjar, generellt taktytor med jord och odlad växtlighet som används för att absorbera och fördröja en del av dagvattenavrinningen från byggnader. En del av det absorberade vattnet evapotranspireras dessutom vilket totalt sett minskar avrinningen från taket (USEPA, 2014b). Lösningen är applicerbar inom kategorierna LOD och fördröjning nära källan. Taken kan installeras både som del av ny bebyggelse men också på äldre byggnader. Vanligtvis används växter av s.k. sedumart men även blandningar med olika mossor förekommer vilket gör taket motståndskraftigt mot längre perioder av torra (Stahre, 2006). Lösningen består i grund och botten av ett lager växtlighet med varierande tjocklek, ett lager jord och ett underliggande lager av dränerande material. Det dränerande materialet är tillverkat av t.ex. styrenplast och är utformat på ett sådant sätt att vatten avleds när taket är mättat. Samtidigt är materialet även gjort för kunna lufta rötterna och hålla en viss mängd vatten som kan förse växterna under torra perioder (BG Byggros, 2015).

Vanligtvis delar man upp gröna tak i underkategorierna extensiva, semi-intensiva och intensiva tak. Tabell 3.3 nedan visar de olika underkategorierna tillsammans med några mått och attribut.

Tabell 3.3 – Vanliga typer av gröna tak samt attribut (Ranade, 2012).

	Extensiva	Semi-intensiva	Intensiva
Djup (mm)	< 100	100-150	> 150
Vikt (kg/m²)	60-100	100-200	200-500
Typ av växtlighet	Mossa, örter, gräs	Örter, gräs, buskar	Gräsmatta, perenner, buskar, träd

Extensiva gröna tak är främst avsedda för taktytor som aldrig eller sällan beträds av människor och är designade för att kräva väldigt lite underhåll. De är ofta förhållandevis lätta, mellan 60-100 kg per kvadratmeter vilket går att jämföra med ett motsvarande tak av betongpaneler som väger runt 50 kg per kvadratmeter (Stahre, 2006). Intensiva och semi-intensiva gröna tak å andra sidan är, som delar av takanläggningen på Emporia köpcentrum i Malmö (figur 3.15), gjorda för att kunna utnyttjas som rekreationsytor. Dock kräver dessa lösningar ofta mer och frekventare underhåll (USEPA, 2014b).

När det gäller att fördröja regn brukar man säga att enskilda regntillfällen på upp till 5 mm nederbördsvolym omhändertas utan avsevärd avrinning. Vid kraftigare skyfall absorberas dock bara de första 5 mm innan resterande regn rinner av vilket gör att denna lösning främst lämpar sig i kombination med andra snarare än som fristående lösning (Svenskt Vatten, 2011a).



Figur 3.15 – Grönt sedumtak på Emporia köpcenter, Malmö (Foto: Larsson, 2012).

Mervärden

Gröna tak har visat potential att kunna minska mängden föroreningar och näringsämnen som kväve och fosfor då vattnet som fördröjs går igenom ett slags naturlig filtrering. Detta sker genom att en del av näringsämnena tas upp och tillgodogörs av växtligheten medan mikroorganismer i plantjorden hjälper till att bryta ner ytterligare näringsämnen. Tidiga studier visar dock på en viss tvetydighet vad gäller gröna taks effektivitet när det kommer till att omhänderta föroreningar (USEPA, 2014b). Bland annat visar en studie från tekniska Universitetet i Berlin att gröna tak kan binda föroreningar från både luften och regnvattnet men att också en del av föroreningarna kan sköljas med ut igen (Johnson, 2008). Övriga mervärden inkluderar värme- och ljudisolering, ökad livslängd i förhållande till konventionella tak, minskning av den s.k. *Urban Heat Island Effekt* och inte minst estetiska mervärden (USEPA, 2014b).

Underhåll

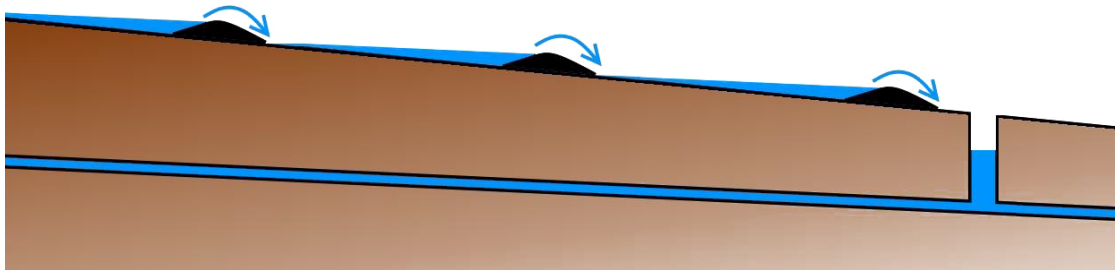
Graden av underhåll varierar mellan lösningar men som regel kräver extensiva gröna tak väldigt lite underhåll bortsett från första tiden efter installation. Intensiva gröna tak kräver mer underhåll, förhållandevis lika mycket som vilket annat anlagt parkområde som helst. En fördel med gröna tak ur underhållsynpunkt är att de i mindre utsträckning riskerar att börja läcka in och att reparationen av ett läckage sällan är svårare utfört än på ett konventionellt tak (USEPA, 2014b).

3.2.6 Fördröjning på gata

I och med att utrymmesbrist är en av de största utmaningarna när det gäller att omhänderta dagvatten i urbana områden är det intressant om det går att använda gator som temporära fördröjningsmagasin. Lösningen är inte beprövad i Sverige men definitionsmässigt skulle den främst falla inom kategorin fördröjning nära källan.

De två samhällena Skokie och Wilmette (Illinois, USA) har sedan 1983 ett system där gator utnyttjas som fördröjningsmagasin i kombination med magasin under och vid sidan av gatorna. För att maximera magasineringspotentialen placeras en serie av upphöjningar längs gatorna. På så sätt skapas något som kan liknas vid en vattentrappa längs med gatan, en förenklad bild av konceptet presenteras i figur 3.16. Av den totala magasineringskapaciteten

motsvarar förvaring på gator ungefär hälften av den totala kapaciteten medan resten utgörs av mer traditionella magasin. Däremot utgör kostnaden för att installera upphöjningarna endast 9 % medan de resterande 91 % utgörs av kostnader för att bygga underjordiska magasin och för att anpassa ledningsnätet. Systemet har utvärderats genom intervjuer med myndighetspersoner i de två samhällena vilka är nöjda med systemet och upplever att antalet översvämningar minskat. Upphöjningarna som konstruerats fyller en liknande funktion som farthinder på många ställen vilket upplevts som positivt. Inga negativa följder angående trafiksäkerhet, trafikflöde eller isbildning på gator har upplevts (Walesh, 1999).



Figur 3.16 – Principskiss över fördröjningen på gata implementerad i de två samhällena Skokie och Wilmette. Observera att den horisontella lutningen är överdriven i bilden (Illustration: Jonas Hallerth).

Ett annat sätt att utnyttja gatorna för magasinering är att strypa flödet till dagvattenbrunnar vilket gör att vatten ansamlas på gatan kring brunnen. Åtgärden har utförts i Malmö av VA SYD och enligt en utredning utförd av Berggreen-Clausen (2011) i ett villaområde, där områdets avrinning och ledningsnät modellerades, gav åtgärden upphov till positiva effekter. Trycklinjen i ledningsnätet sjönk markant vid ett 20-årsregn vilket gör att risken för källaröversvämningar minskar. Uppskattningar gjordes också beträffande hur stora volymer som svämmade över på gatorna. Åtgärden är billig och beräknades utgöra ca 0,1 % av kostnaden av att utvidga ledningsnätet för att uppnå motsvarande sänkning av trycklinjen vid ett 20-årsregn.

Mervärden

Inga egentliga rekreationella, estetiska, eller biologiska mervärden bör förväntas av fördröjning på gata. Reningen bör heller inte förväntas bli bättre. En fördel med lösningen är att den, i ett område där farthinder är planerade att anläggas, enkelt kan kombineras med dessa.

Underhåll

Lösningen i sig kan anses vara mer eller mindre underhållsfri om man bortser från generellt underhåll av gator. Dock visade sig i fallet med samhällena i Illinois att behovet av underhåll av ledningsnätet ökade efter implementeringen av fördröjning på gata vilket antas vara en följd av minskningen extrema flöden som tidigare hjälpte till att spola rent systemet. Efter denna insikt började även dagvattenbrunnarna rengöras i förebyggande syfte, något som gjordes mindre ofta före implementeringen av systemet (Walesh, 1999).

3.3 Mångfunktionella ytor

Begreppet mångfunktionella ytor kan kännas en aning främmande för många och det är inte alltid helt tydligt vad som menas med uttrycket. Olika källor ger ofta olika definitioner av begreppet. I kontext av den här rapporten har definitionen formulerats som följer:

Mångfunktionella ytor är markarealer som vid torrt väder fyller en funktion – till exempel att fungera som rekreationsområde eller lekplatsyta för barn – men som vid kraftigare skyfall kan översvämmas och istället agera fördröjningsyta.

Många av de mångfunktionella ytorna som designas och konstrueras idag inkorporerar dessutom ett flertal mervärden såsom vattenrening, reducerad *Urban Heat Island Effect* etc. vilket blir tydligt i några av de nedan presenterade exemplen (Boverket, 2010).

Ett enkelt och bra exempel på en potentiell mångfunktionell yta existerar redan i Husensjö och finns på bild i figur 3.17. I de norra delarna av området ligger mellan några av höghusen ett något nedsänkt grönområde som huserar en lekplats och några parkbänkar.



Figur 3.17 – Grönområde i Husensjö mellan två höghus som agerar/skulle kunna agera mångfunktionell yta (Foto: Johannes Haegblom).

Vid kraftigare skyfall kommer med största sannolikhet ytan översvämmas och fungera som en dagvattendamm. För att bättre utnyttja ytans potential som öppet dagvattenmagasin hade det dock fått sänkas ytterligare en bit för att kunna fördröja en större volym vatten. Lösningen visar på att en mångfunktionell yta inte nödvändigtvis måste vara särskilt invecklad för att uppfylla sitt syfte. Dock kan det med mer omfattande planering skapas större, mer komplexa arealer för dagvattenfördröjning som samtidigt fyller helt andra funktioner under regnfria perioder. Nedan följer två intressanta exempel på detta från Danmark.

3.3.1 Rabalderparken Roskilde

I Roskilde i Danmark är den nya stadsdelen Musicon under rask utveckling och för att hantera de stora mängderna regnvatten som årligen drabbar det ca 500 000 m² stora området har Roskilde kommun byggt en skatepark som också fungerar som öppet dagvattensystem. Anläggningen är utformad för att omhänderta samtlig ytavrinning i öppna lösningar så i

dagsläget existerar inget ledningsnät för dagvatten i stadsdelen Musicon (Roskilde Forsyning, 2014a).

Skateparken och det omkringliggande rekreationsområdet, som invigdes i augusti 2012, består i grund och botten av ett stort grönområde på närmare 40 000 m². Skateparken består av ett flertal betong- och asfaltskanaler, totalt runt 445 m långa som leder ner till en ca 1000 m² stor s.k. bowl – en nedsänkt yta med hinder och gupp i betong (Musicon, 2012).

Ur dagvattenhanteringsperspektivet är Rabalderparken en noggrant planerad helhetslösning som tillåts översvämmas i tre steg. I figur 3.18 presenteras en översikt över systemet (bilderna har försetts med svensk text och visar de olika stadierna av översvämning från vänster till höger). Vid skyfall leds regnvattnet från Musiconområdet via betong- och asfaltskanalerna ner till de södra delarna av området. Där fördröjs vattnet i turordning först i sjön, som är en permanent vattenmassa för att vid större vattenmängder spilla över i ängsmarken som agerar torr damm under resten av tiden. Om skyfallet är mycket intensivt och långvarigt går slutligen även ängsmarken full och vattnet rinner över i bowlen – ”betongskålen” – i den lägsta delen av skateparken. Anläggningen är dimensionerad för att det sista steget inte ska gå fullt förrän vid ett 10-årsregn (Roskilde Forsyning, 2014c).



Figur 3.18 – Visualisering av hur Rabalderparken översvämmas vid skyfall i tre steg (Fors A/S, 2016).

I tillägg har området ett antal mervärden, främst estetiska och rekreativa. Gröna områden med backar, buskar och träd, grillplatser, en scen för musik och uppträdanden, anläggningar för sport och träning med mera gör området till ett attraktivt besöksmål för många olika grupper av människor – allt från barnfamiljer och ungdomar som vill avnjuta en lugn eftermiddag i solen till folk som vill ha fart och motion som skejtare, cyklister och löpare (Roskilde Forsyning, 2014b).

3.3.2 Tåsinge Plads i Köpenhamn

I december 2014 invigdes det klimatanpassade torget Tåsinge Plads i Köpenhamn som en del i ett led att utveckla stadsdelen Østerbro till stadens första klimatstadsdel (Klimakvarter, 2015). Resultatet är en avlång, triangulär öppen mötesplats på totalt 3000 m², varav majoriteten av ytan utgörs av gröna arealer och större delar av grönytan dessutom gradvis fylls upp och agerar fördröjningsmagasin vid kraftigare skyfall (Københavns Kommune, 2014).

I den bredare delen av det triangulära området är marken en aning upphöjt och erbjuder gröna ytor för lek och avslappning. Denna del är den så kallade torra delen av området som i sig inte är mångfunktionellt utan främst tjänar rekreativa syften. Mot den smalare ändan sluttar området sakta mot ett gradvis mer nedsänkt och tätare beväxt grönområde som vid skyfall agerar öppet fördröjningsmagasin (WSUD Denmark, 2015). Det lägst belägna området (se figur 3.19), i den smalaste delen av området, agerar också fördröjningsmagasin men har oftast en permanent vattenspegel och viss växtlighet anpassad efter den fuktiga miljön (Københavns Kommune, 2014).



Figur 3.19 – De lägst belägna delarna av Tåsinge plads som fungerar som fördröjningsmagasin (Foto: Klimakvarter Østerbro. Klimakvarter, 2015).

Totalt fördröjer de öppna delarna av Tåsinge Plads vattnet från 2700 m² omkringliggande gator. Vattnet som når grönytorerna, vilka utgör runt 2100 m² av torget inklusive fördröjningsytan, tillåts så småningom infiltrera (Københavns Kommune, 2014). I tabell 3.4 beskrivs förhållandet mellan procentuell fyllnadsgrad och återkomsttid på ett skyfall som leder till den motsvarande mängden vatten i fördröjningsytan (Københavns Kommune, 2014).

Tabell 3.4 – Procentuell andel av det öppna fördröjningsmagasinet i Tåsinge Plads som fylls vid skyfall med olika givna återkomsttider (Københavns Kommune, 2014).

Återkomsttid skyfall (år)	Andel fyllt magasin (%)
1	10
25	30
100	40
500	100

Från tabell 3.4 går att avläsa att Tåsinge Plads kan omhänderta volymerna från extrema skyfall som faller inom avrinningsområdet.

Förutom att vara en mångfunktionell yta tillhandahåller Tåsinge plads ett flertal mervärden. Främst är det rekreativa mervärden men även rening då regnvattnet som faller på de närmast omgivande 1600 m² takytor leds ned till ett underjordiskt magasin och renas med hjälp av mekaniska filter. Därifrån kan även vattnet med hjälp av plattformar pumpas upp ur marken och tillåtas rinna av längsmed översvänningsytorna vilket ger torget ett lärorikt element för både barn och vuxna (Københavns Kommune, 2014).

3.4 MIKE 21: modelleringsverktyg för ytavrinning

MIKE 21 är en programvara utvecklad av DHI som främst är utvecklad för applikationer kring kust och hav men som också används för att modellera ytavrinning (DHI, 2015a; Gunnarsson, 2015). Programvaran är en del av MIKE FLOOD där MIKE 21 kan länkas samman med MIKE URBAN för att även simulera översvämningar i urbana miljöer (DHI, 2015b). Grunden för flödesberäkningar i MIKE 21 är programmets hydrodynamiska modul som simulerar flöden och vattennivåer för fria vattenytor.

Grundstenen i en modell är modellens rutnät eller *mesh* där två olika typer av rutnät kan byggas upp, klassiskt och flexibelt. I ett klassiskt rutnät anges cellstorleken i x- och y-led och ett rutnät genereras över ett definierat område där samtliga celler har samma storlek (DHI, 2014a). I ett flexibelt rutnät anges en maximal cellstorlek och ett rutnät av triangulära och tetragonära celler av olika storlek genereras sedan automatiskt över ett definierat område.

Den hydrodynamiska modulen utför sedan beräkningar av flöde och vattennivå för samtliga celler med ett, av användaren definierat, tidssteg. I modellen anges även ett värde för ett s.k. *drying depth* där en cell tas ur beräkningarna om vattendjupet i cellen understiger värdet. Cellen tas in i beräkningarna då vattendjupet i cellen överstiger *flooding depth* vilket kan hända om tillräckligt mycket nederbörd faller över cellen eller om cellen blir översvämmad av kringliggande celler. Översvämning sker då summan av höjden och vattendjupet i en cell är lägre än summan av vattendjupet och höjden i kringliggande celler (DHI, 2014b). Modellens beräkningar bygger på den numeriska lösningen av de så kallade tvådimensionella *Reynolds-averaged Navier-Stokes* ekvationerna där programmet använder Boussinesq ansats och förutsätter konstant densitet samt hydrostatisk jämvikt (DHI, 2014c).

Resultat från modellen lagras i en fil där en tidsserie för cellvärden på t.ex. vattendjup, hastighet eller flödesriktning sparas. Värden kan lagras för hela modellen och i varje tidssteg men på grund av de stora datamängder det ofta ger upphov till tillåts användaren ange för vilka tidssteg och celler data sparas (DHI, 2014d).

Om läsaren vill ha mer ingående information om matematiken bakom modellen och dess parametrar finns informationen tillgänglig i DHI's vetenskapliga dokumentation kring MIKE 21 (DHI, 2014c).

3.5 Tidigare studier inom skyfallsmodellering

Under arbetet med rapporten har inte några tidigare studier påträffats där man använt sig av hydrologiska modeller över Helsingborg. Ett behov av att utforma avrinningsmodeller påtalas av NSVA (2015) i Helsingborgs stads dagvattenpolicy och en utredning över sårbarheten vid skyfall är beställd av Helsingborgs stad och förväntas färdigställas under 2016. Däremot har modellering av översvämning vid skyfall i urbana områden utförts för andra städer.

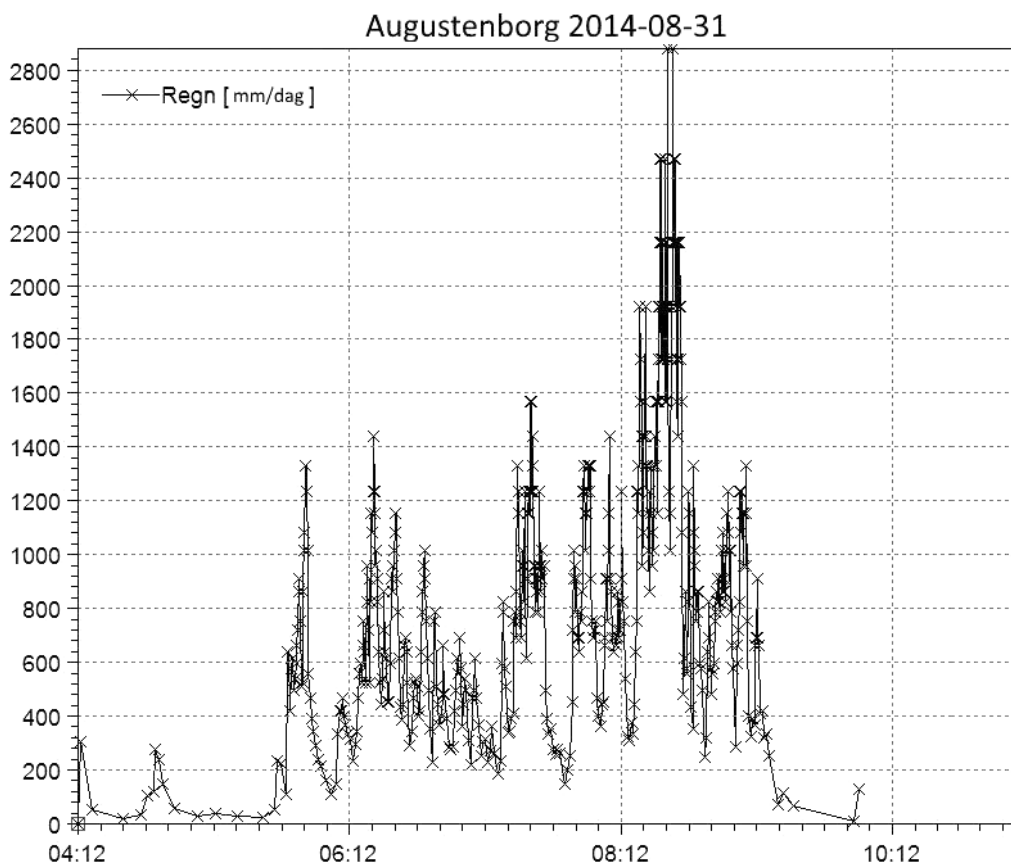
Länsstyrelsen (2015) har en rekommenderad metodik för att kartlägga översvänningsrisker med hjälp av GIS. Modellens svaghet jämfört med en modell i MIKE 21 är att modellen

enbart tar hänsyn till höjddata. Varken ytans råhet eller faktiska vattenvolymer utvärderas utan endast troliga rinnvägar samt instängda områden identifieras.

Att modellera urbana översvämningar är ett vanligt användningsområde för programvaran MIKE 21 (DHI, 2015c). Några exempel på studier som använt MIKE 21 för att kartlägga översvämningrisker i urbana områden är Filipova (2012) där centrala Göteborg modellerades vid ett 100-års-regn och Wallinder (2015) där ett 100-års-regn över ett sjukhusområde i Västerås modellerades.

3.6 Regndata som simulerats i modellen

I skyfallsmodellering nyttjas ofta så kallade designregn, skyfall med en given volym baserad på dess historiska återkomsttid – t.ex. 100 år – som ett slags standardinput. Men med klimatförändringar i åtanke motsvarar ett 100-års regn idag inte ett 100-årsregn för 50 år sedan och en klimatfaktor som ska kompensera för detta brukar implementeras. Dock brukar viss oenighet råda om hur stor denna faktor bör vara (Svenskt Vatten, 2011b). För att enkelt kunna relatera resultaten från skyfallsmodelleringen i denna rapport till någonting mer greppbart valdes därför att använda regndata över skyfallet som drabbade sydvästra Skåne under 31 augusti 2014. Händelsen är tidsmässigt närliggande och låter därmed resultaten visa på vad som hade skett om skyfallet hade skett längre norrut och därmed drabbat Helsingborg istället. Regndatan som användes är uppmätt i området Augustenborg i Malmö under skyfallet och uppgår till 104,2 mm under närmare 6 timmar (figur 3.20). För att simulera ledningsnätets påverkan har ett avdrag på 292 mm/d gjorts från intensiteten i varje tidssteg.



Figur 3.20 – Regnintensiteten under Malmöregnet 2014 från VA SYD:s regnmätare i Augustenborg utan avdrag för ledningsnätets kapacitet.

4 Studieområdet Husensjö

Husensjö är ett område som är beläget i Helsingborgs stad, markerat i rött i figur 4.1, som ligger i nordvästra Skåne. Området är beläget öster om centrum, ca 2 km från centralstationen. Stadsdelen har namngetts efter en sjö som tidigare låg i området. Efterhand har sjön succesivt dikats ur och övergått från sjö, till mosse, till bostadsområde. Ända fram tills 1920-talet svämmade området ofta över under vårfloden (Helsingborgs stad, 2015a). Idag är Husensjö ett bostadsområde med blandad bebyggelse bestående av småhus, radhus och flervåningshus (Helsingborgs stad, 2013). Området finns markerat i svart i figur 4.2 och 4.3.



Figur 4.1 – Karta över delar av norra Europa med Helsingborgs stad utmarkerat i rött (Google Maps, 2016).



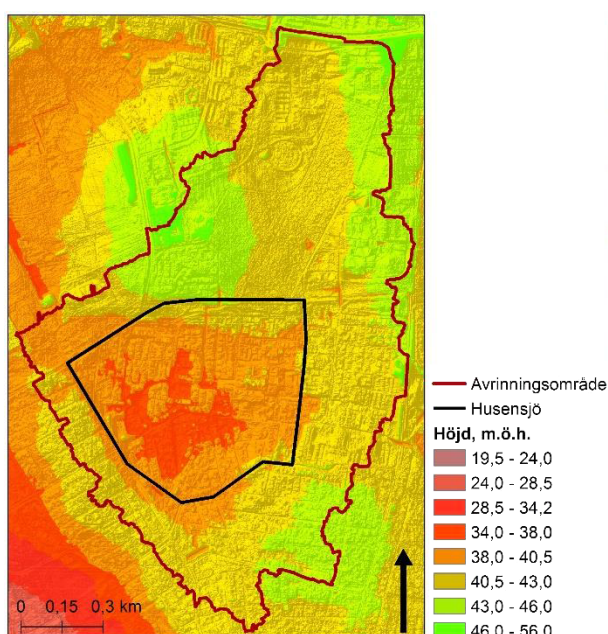
Figur 4.2 - Helsingborgs stad med området Husensjö markerat i svart (Helsingborgs Stad, 2015b).



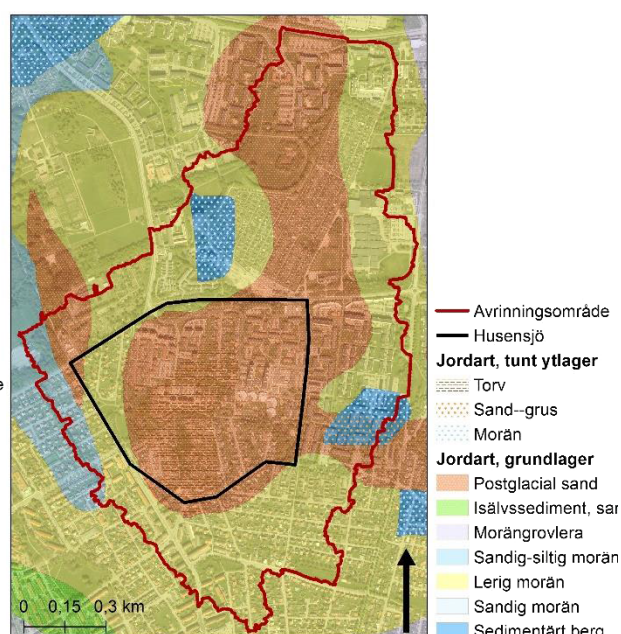
Figur 4.3 - En översikt över området Husensjö där områdets avgränsningar är markerade i svart (Helsingborgs Stad, 2015b).

Figur 4.4 visar topografin i området. Det går tydligt att se att området ligger i en naturlig lågpunkt i landskapet och att de lägsta punkterna inom området finns i de västra delarna av området. Det finns inga naturliga rinnvägar för vattnet att lämna området utan det avvattnas helt genom ledningsnätet vilket blev tydligt när topografin i området analyserades.

En bearbetad karta från SGU över jordartslagren i området med ett underliggande ortofoto finns presenterad i figur 4.5 med Husensjö inringat i svart och avrinningsområdet i rött. Den största andelen av marken i Husensjö består av postglaciala sandavlagringar där jorddjupet är ca 8 m. Kring sandavlagringarna finns moränlera där djupet varierar mellan 4 och 13 meter. I tabell 4.1 finns en sammanställning över permeabiliteten för jordarter som är troliga komponenter i Husensjös jordmån. Variationen i permeabilitet mellan sand, silt och morän är mycket stor vilket gör att det är svårt att hitta ett genomsnittligt värde för permeabiliteten. Sandavlagringarna bör ha en god infiltrationskapacitet medan den leriga moränen kan betraktas som impermeabel och därför inte är lämplig för infiltrationsanläggningar.



Figur 4.4 – Höjddata i området kring Husensjö © Lantmäteriet [I2014/00579].



Figur 4.5 – Jordarter i området kring Husensjö © Lantmäteriet [I2014/00579].

Tabell 4.1 – Permeabilitet i jordarter som är troliga komponenter i jordmånen kring Husensjö (Larsson, 2008).

Jordart	Permeabilitet [m/s]	Permeabilitet [m/h] alt. [m ³ /(m ² ·h)]
Grovsand	10 ⁻³ -10 ⁻¹	0,36-360
Mellansand	10 ⁻⁴ -10 ⁻²	0,36-36
Finsand	10 ⁻⁵ -10 ⁻³	0,036-3,6
Grovsilt	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁴	0,0036-0,36
Lerig morän	10 ⁻¹⁰ -10 ⁻⁸	0,00000036-0,000036
Moränlera	10 ⁻¹¹ -10 ⁻⁹	0,000000036-0,0000036

Det är svårt att bedöma mer exakt vilken permeabilitet sandavlagringarna har eftersom kornfraktionerna inte är mer specificerade.

En undersökning har i samband med bostadsbyggande av Helsingborgshem (2014) utförts av WSP vid två provpunkter i området. I de två provpunkterna låg grundvattenytan på ca 2-3 m djup. Jordlagren mellan markytan och grundvattennivån bestod främst av lermorän och siltig sand. Det är en viss skillnad mellan uppgifterna från SGU och Helsingborgshem (2014) och mer information kring de antaganden som gjort beträffande markens permeabilitet finns i 6.2.1.

5 Metodik

Modelleringen av skyfall över Husensjö har utförts genom att använda de två datorprogrammen ArcGIS och MIKE 21.

För att definiera gränserna för avrinningsområdet användes en serie funktioner i ArcGIS som beskrivs i detalj i appendix A1. Raster över höjddata från lantmäteriets laserscanning (2x2 m upplösning) inom området med bebyggelsen upphöjd en meter samt ett raster med olika ytors råhet definierades med hjälp av ArcGIS. Båda rastren exporterades för vidare användning i MIKE 21. Även en skyfallskartering utfördes i ArcGIS genom att instängda områden identifierades. Det utfördes dels för att ha något att jämföra med resultaten från MIKE 21 och dels som en förstudie till modelleringen i MIKE 21 för att få en bild över lågt liggande områden inom Husensjö. En mer detaljerad beskrivning av skyfallskarteringen finns i appendix A1 under rubriken avrinningsområde.

Efter att ovan nämnda data tillsammans med regndata baserat på Malmöregnet 2014 importerats i modelleringsprogrammet MIKE 21 skapades med hjälp av olika ingångsparametrar en modell över området. Modellen användes därefter för att simulera två skyfallsscenario. Den ena simuleringen gjordes utan att ledningsnätet togs hänsyn till i modellen medan den andra tog hänsyn till ledningsnätets uppskattade kapacitet. För en detaljerad beskrivning av modelleringsprocessen i MIKE 21 se appendix A2.

En utförlig modellering av ledningsnätet gjordes inte då det bedömdes ta för mycket tid i anspråk för att falla inom examensarbetets ramar. En modell av ledningsnätet kopplad till ytavrinningsmodellen hade dessutom krävt tillgång till ytterligare programvara. Istället uppskattades ledningsnätets kapacitet baserat på tillgängliga data från ledningen där vattnet från Husensjö lämnar området. Därefter kördes simuleringen med en regnfil där den uppskattade mängden vatten per tidsenhet som ledningsnätet kan föra bort subtraherades från det ursprungliga skyfallet. Den resulterande förenklingen innebär alltså att i modellen som tar hänsyn till ledningsnätets kapacitet faller en reducerad mängd nederbörd i simuleringen. Ett avdrag i intensiteten på 292 mm/d har gjorts i varje tidssteg. Modellen som inte tar hänsyn till ledningsnätet däremot körs med regnet från Malmö 2014, oförändrat. Valet att köra modellen en gång med ett skyfall som har fått en motsvarande mängd vatten avdragen för ledningsnätets uppskattade kapacitet och en gång utan grundar sig på det faktum att ledningsnätets kapacitet inte är känd. Genom att låta modellen räkna på vad som sker vid en total avsaknad av ledningsnät fås lite av ett worst-case-scenario. För en beskrivning av hur ledningsnätets kapacitet uppskattades se appendix B1. För mer information om regndatan som använts, se sektion 3.6.

Infiltrationen har inte tagits med i modellen då bedömningen gjordes att det översta jordlagret mätts snabbt vid ett så pass kraftigt skyfall som modellerades. I praktiken är således samtliga ytor i modellen impermeabla, dvs. har en avrinningskoefficient på 1. Infiltrationen kan påverka resultatet, speciellt om det översta jordlagret är sandinblandat, men i modellen har förenklingen gjorts att bortse från infiltration. Marken kan vara mättad om det regnat innan skyfallet vilket gör att även exkluderingen av infiltrationen blir lite av ett worst-case-scenario. Även evaporationen har bedömts vara så liten under givna förutsättningar att den utelämnats i modellen.

Slutligen kunde data över vattendjupet samt ytavrinningens flöde och flödeshastighet i givna tidssteg från MIKE 21 exporteras till ArcGIS för att där bearbetas och visualiseras

tillsammans med kartor över området. Även den totala volymen vatten som fallit inom avrinningsområdet beräknades med hjälp av data i ArcGIS. Förfarandet beskrivs i detalj i appendix A1.

6 Resultat

6.1 Modellering

6.1.1 Total ansamlad volym

Den totala volymen som ansamlas på ytan presenteras i tabell 6.1 både för hela avrinningsområdet och inom för Husensjö. Data presenteras för de två modellerade scenarierna i slutet av modelleringen, alltså efter 9 timmar.

Tabell 6.1 – Total ansamlad volym vatten på ytan vid skyfall motsvarande malmöregnet.

	Område	Maxdjup	Total volym
Utan ledningsnät	Avrinningsområdet	2,6 m	196 000 m ³
Med ledningsnät	Avrinningsområdet	1,9 m	108 000 m ³
Utan ledningsnät	Husensjö	2,0 m	94 000 m ³
Med ledningsnät	Husensjö	1,2 m	32 000 m ³

I scenariot med ledningsnätet ansamlas 32 000 m³ av totalt 108 000 m³ i Husensjö.

$$\frac{32\,000\text{ m}^3}{108\,000\text{ m}^3} \approx 30\% \quad (1)$$

I scenariot utan ledningsnätet ansamlas 94 000 m³ av totalt 196 000 m³ i Husensjö.

$$\frac{94\,000\text{ m}^3}{196\,000\text{ m}^3} \approx 48\% \quad (2)$$

Det ansamlas alltså en större andel vatten i Husensjö vid de högre nederbörds mängderna i scenariot där ledningsnätet inte tas med i beräkningen.

6.1.2 Översvämmade områden och rinnvägar

I denna sektion presenteras resultaten från skyfallsmodelleringen i MIKE 21, visualiserade genom ArcGIS i form av kartor. De första fyra figurerna visar antingen hela avrinningsområdet (visualiserat som en mörkröd linje) eller i mer detalj området Husensjö (svarta linjer). Resultaten från MIKE 21 är visualiserade över ett ortofoto från lantmäteriet med viss opacitet. De blå fälten representerar vattenansamlingar av olika djup som uppkommit 3 timmar efter slutet av ett skyfall motsvarande Malmöregnet 2014.

Vattenansamlingar under 0,1 m djup lämnades medvetet ur bilderna av visualiseringstekniska skäl. De sista fyra figurerna är uppbyggda på samma sätt men innehåller dessutom rinnvägarna med flödes hastigheten representerat av olika nyanser av gult till rött.

Detaljbilderna av Husensjö visar dessutom rinnvägarna med flödesriktning representerat av pilar i samma färgskala.

Avrinningsområdet - vattendjup med ledningsnät

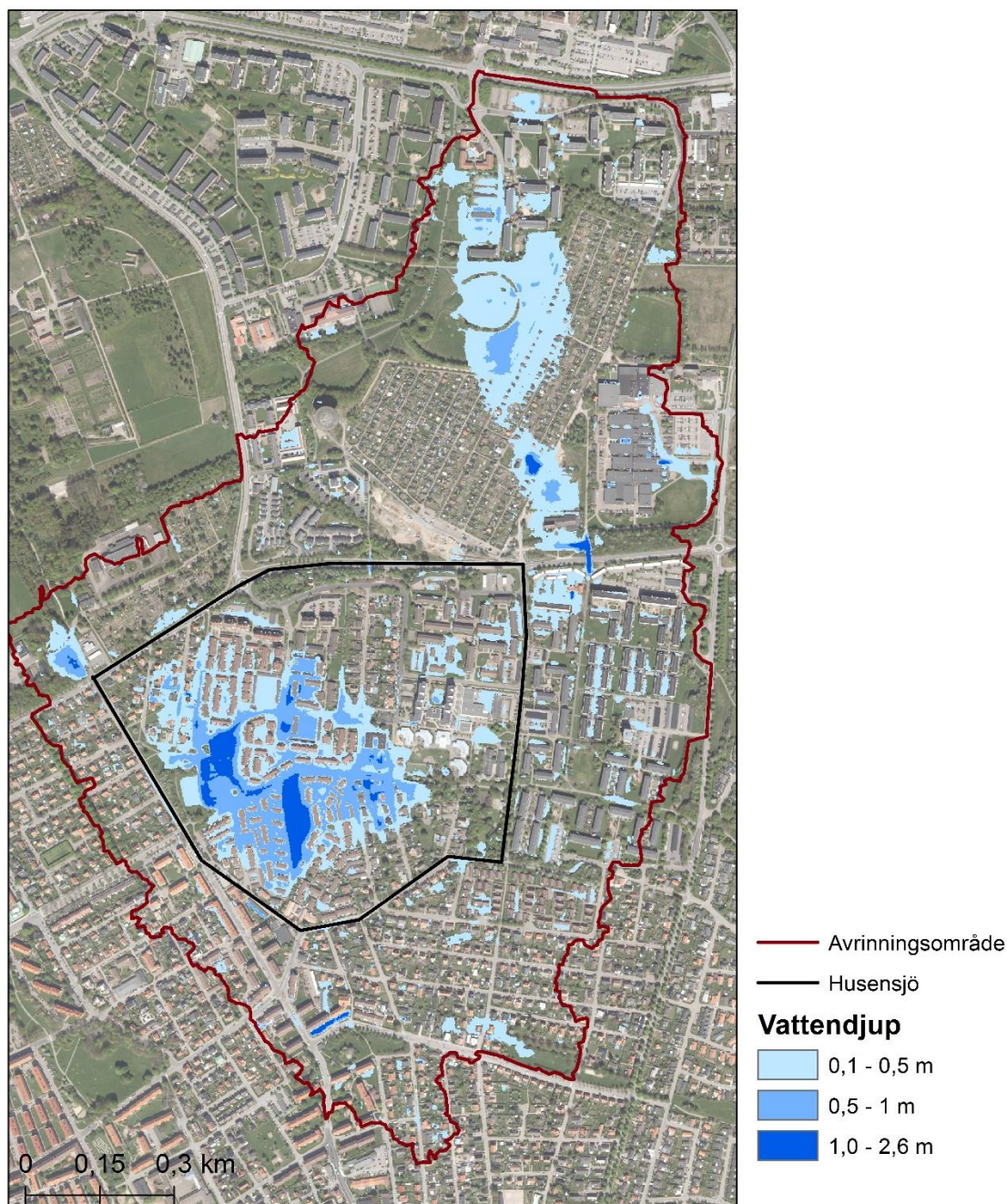
Resultaten visar i figur 6.1 tydligt större vattenansamlingar på flera platser innanför avrinningsområdet, till stor del innanför avgränsningen Husensjö men också i de norra delarna av området. På sina ställen uppgår vattendjupet till 1,9 m. Värst drabbade är parkområdena i syd-västra Husensjö samt några ytor i villaområden och bostadsområden. I norra delarna av avrinningsområdet översvämmas främst grönområdet intill kollisionlotterna och bostadsområdet norr om det. Det största vattendjupet återfinns i en damm i koloniområdet och vid viadukten nära det nordöstra hörnet av Husensjöområdet.



Figur 6.1 – Karta över avrinningsområdet med resulterande vattendjup vid ett skyfall motsvarande Malmöregnet 2014 med ledningsnätet inkluderat © Lantmäteriet [I2014/00579].

Avrinningsområdet - vattendjup utan ledningsnät

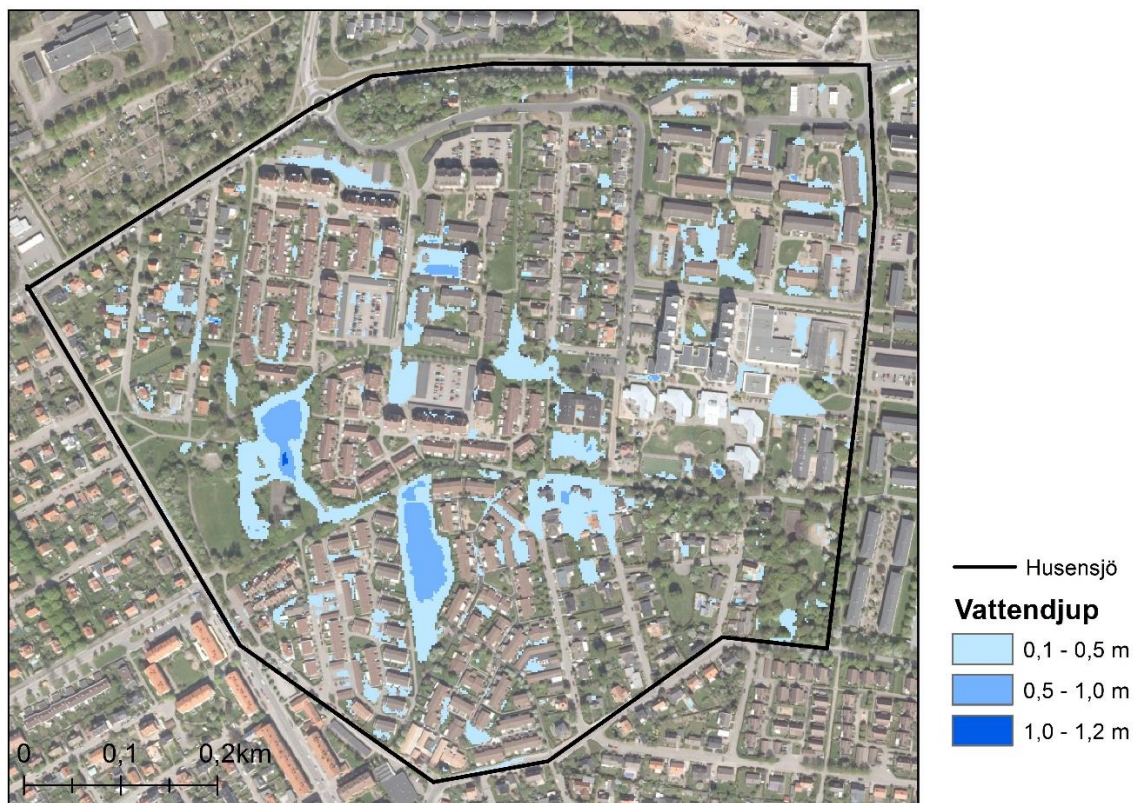
När avdraget från regnmängden motsvarande ledningsnätets kapacitet inte togs med i modellen visar resultaten i figur 6.2 på mycket stora vattenansamlingar i avrinningsområdet. Husensjö påverkas kraftigt och på sina ställen uppgår vattnet till 2,6 m djup där de värst drabbade delarna även här är parkområdena i sydvästra delen. I övrigt drabbas stora delar av villa- och bostadsområdena runt centrala och sydvästra Husensjö. Utanför Husensjö drabbas i stort sett samma områden som i föregående sektion fast i större omfattning. Det är koloniområdet, grönområdena runt det och bostadsområdet norr om koloniområdet som drabbas värst.



Figur 6.2 – Karta över avrinningsområdet med resulterande vattendjup vid ett skyfall motsvarande Malmöregnet 2014 utan hänsyn till ledningsnätet © Lantmäteriet [I2014/00579].

Husensjö - vattendjup med ledningsnät

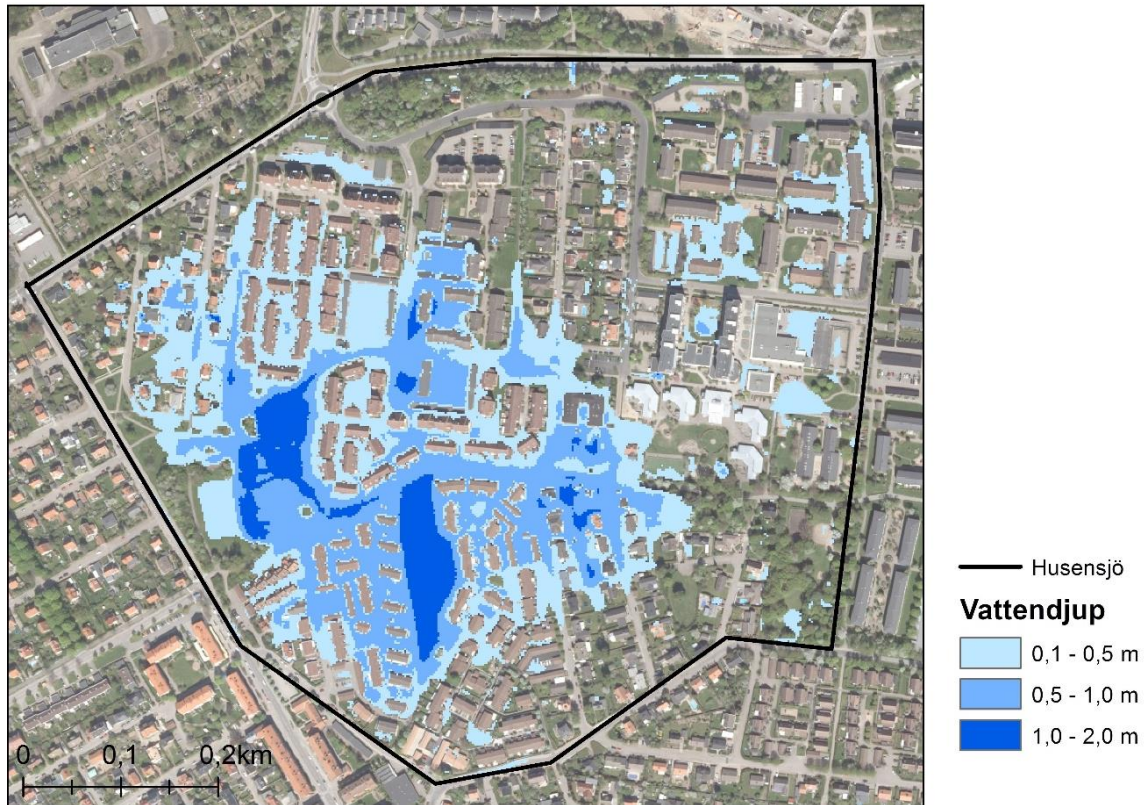
En närmre granskning av enbart området Husensjö med ledningsnätet inberäknat visar i figur 6.3 mer detaljerat var vattenmassorna ansamlas inom området. Här syns tydligt var både gröna ytor och bostadsområden översvämmas, i vissa fall troligen med översvämmade källare och materiella skador som följd. I sin djupaste punkt uppnår vattnet ett djup på 1,2 m vilket sker centralt i grönområdet längst västerut.



Figur 6.3 – Detaljkarta över Husensjö med resulterande vattendjup vid ett skyfall motsvarande Malmöregnet 2014 med ledningsnätet inkluderat © Lantmäteriet [I2014/00579].

Husensjö - vattendjup utan ledningsnät

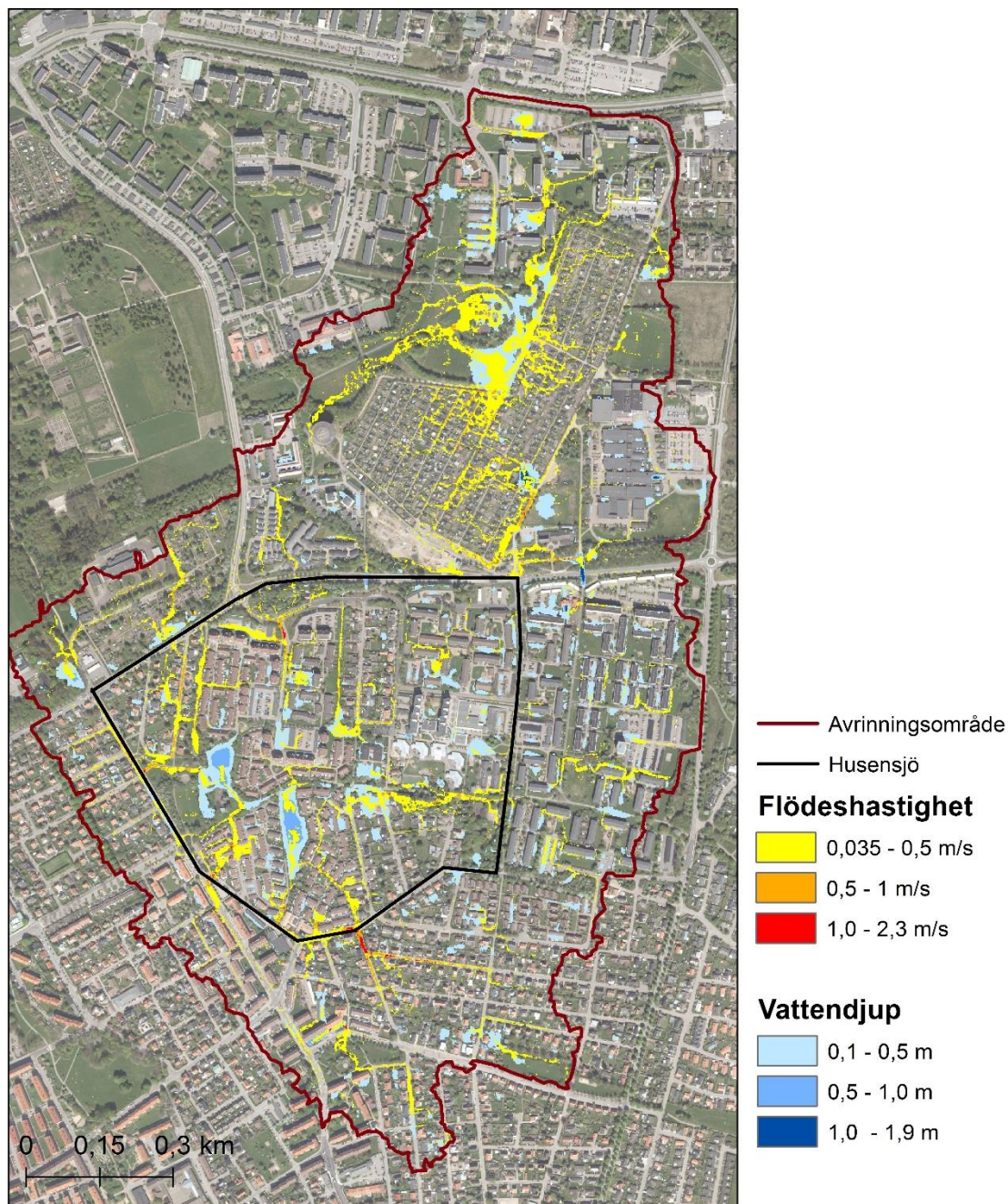
Utan ledningsnätet inberäknat visar resultaten i figur 6.4 över enbart området Husensjö tydligt stora ansamlingar vatten i området. Omfattande materiella skador i form av översvämmade källare och bostäder är ett sannolikt utfall av översvämningarna. Det maximala vattendjupet uppnår på sina ställen runt 2,0 m djup där återigen de två västra parkområdena står för de mest översvämmade ytorna.



Figur 6.4 – Detaljkarta över Husensjö med resulterande vattendjup vid ett skyfall motsvarande Malmöregnet 2014 utan hänsyn till ledningsnätet © Lantmäteriet [I2014/00579].

Avrinningsområdet – rinnvägar med ledningsnät

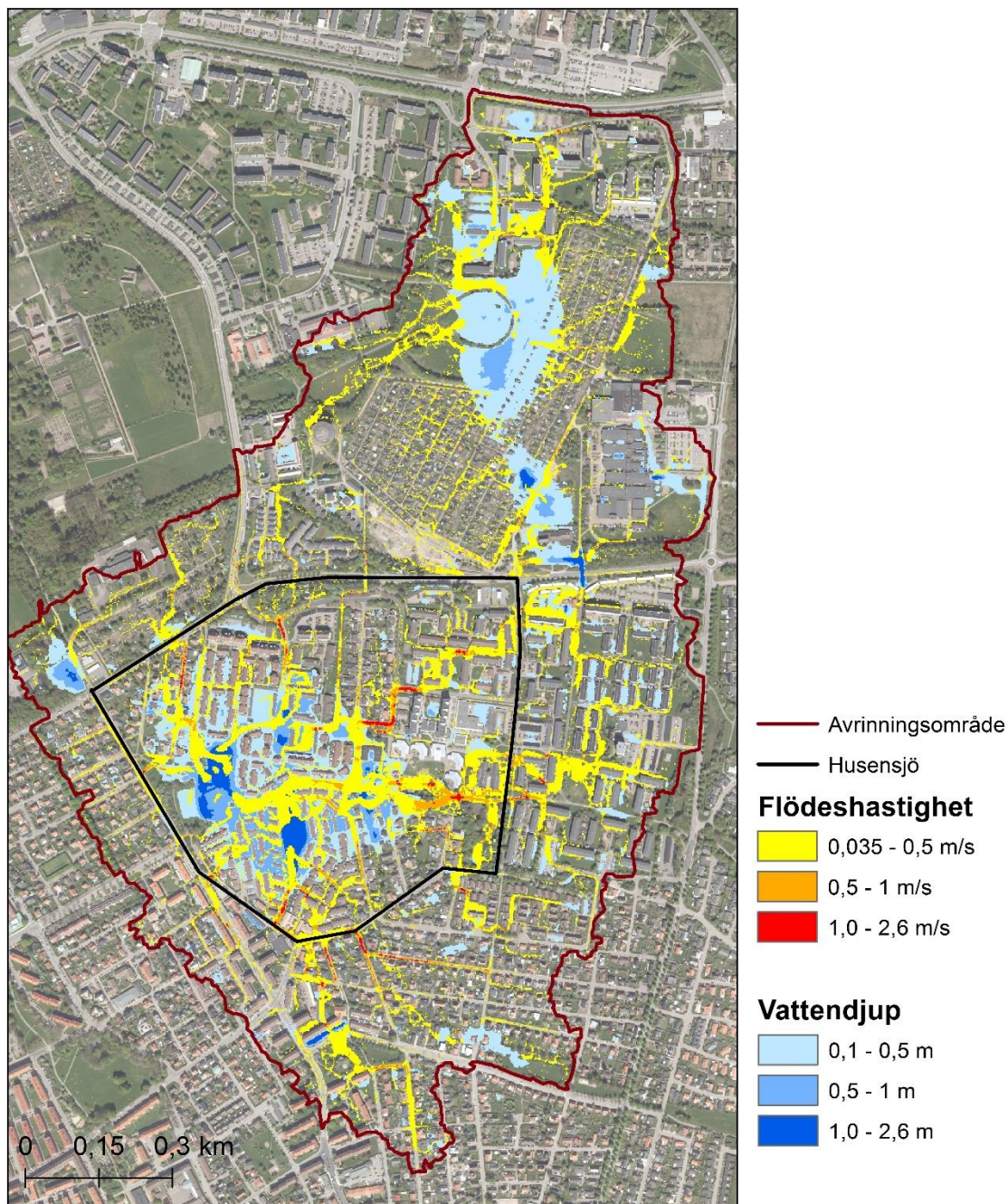
Med ledningsnätet inkluderat noteras i figur 6.5 hur flödes hastigheten varierar i ett av regnets mest intensiva tidssteg. I avrinningsområdet är flödes hastigheten generellt 0-0,5 m/s och i ett fåtal ”flaskhalsar” upp till 2,3 m/s. För tydlighetens skull visas inte flödes hastigheter under 0,035 m/s. Flödesvägarna verkar primärt följa gator och cykelvägar för att på sina ställen mynna ut i de översvämmande ytorna i parkområdena.



Figur 6.5 – Karta över avrinningsområdet med rinnvägar (flödes hastighet) samt vattendjup vid ett skyfall motsvarande Malmöregnet 2014 med ledningsnätet inkluderat © Lantmäteriet [I2014/00579].

Avrinningsområdet – rinnvägar utan ledningsnät

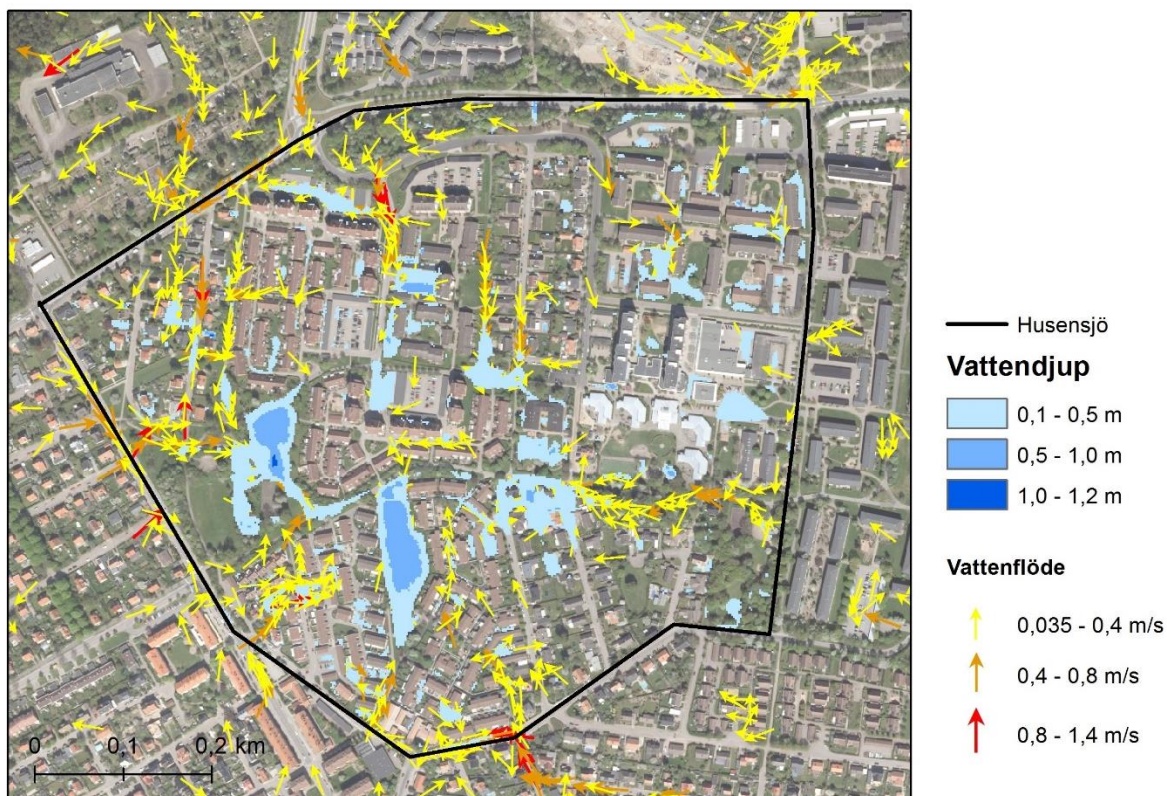
Utan ledningsnätet inkluderat noteras i figur 6.6 över hela avrinningsområdet högre flöden som dessutom i mindre utsträckning följer enbart vägar och istället flyter intill hus och över grönytor. Flödes hastigheterna uppnår på sina ställen 2,6 m/s. Flödes hastigheter under 0,035 m/s visas än en gång inte för tydlighetens skull.



Figur 6.6 – Karta över avrinningsområdet med rinnvägar (flödes hastighet) samt vattendjup vid ett skyfall motsvarande Malmöregnet 2014 utan hänsyn till ledningsnätet © Lantmäteriet [I2014/00579].

Husensjö – rinnvägar och flödesriktning med ledningsnät

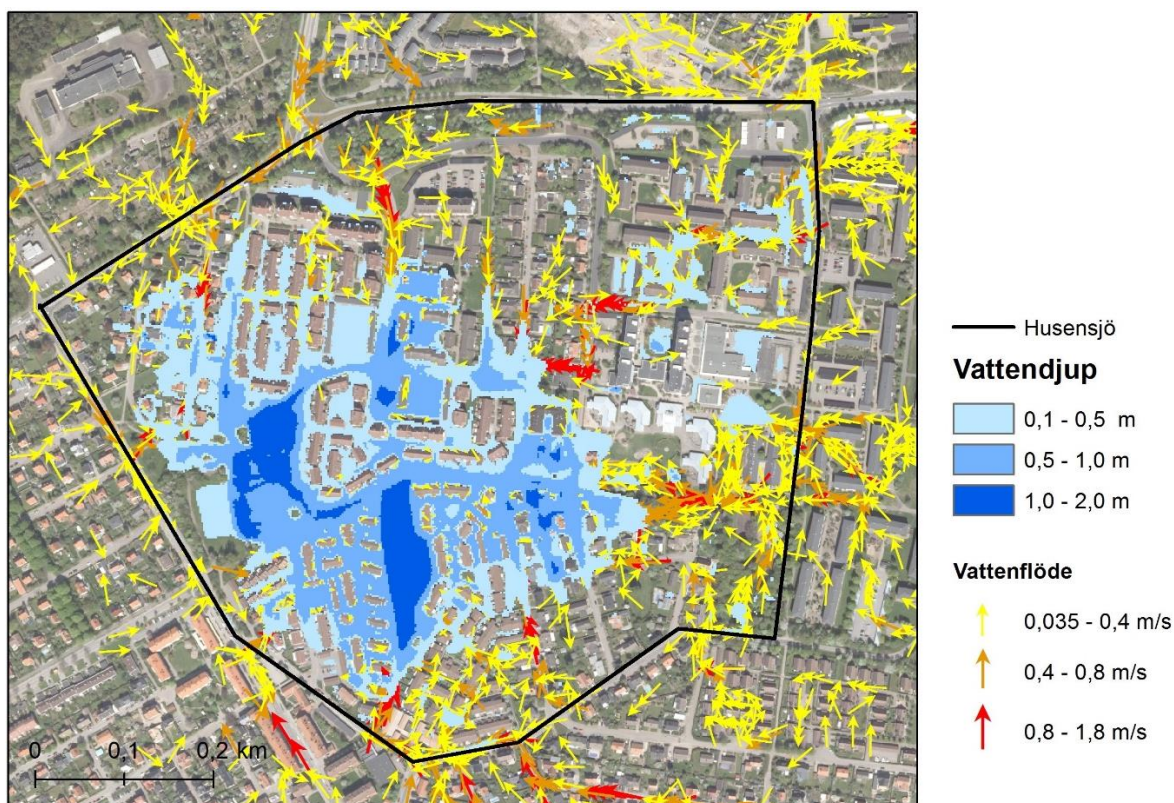
En närmre granskning av området Husensjö med ledningsnätet inkluderat visas i figur 6.7. Flöden på upp till 1,4 m/s uppkommer inom området och som tidigare beskrivet tycks flödet följa främst vägar och cykelbanor. Flödespilarna påvisar ett tydligt flöde från de yttre delarna in mot områdets centrala delar och kanske framför allt grönområdena i det inre sydvästra området. De högsta flödena noteras i de norra och södra utkanterna av området. För tydlighetens skull visas inte flöden under 0,035 m/s.



Figur 6.7 – Detaljkarta över Husensjö med rinnvägar (flödes hastighet och -riktning) samt vattendjup vid ett skyfall motsvarande Malmöregnet 2014 med ledningsnätet inkluderat. © Lantmäteriet [I2014/00579].

Husensjö – rinnvägar och flödesriktning utan ledningsnät

Utan ledningsnätet inkluderat visar en närmare granskning av området Husensjö i figur 6.8 på höga flöden upp till 1,8 m/s på ett flertal ställen inom området. Överlag är flöden upp till 0,8 m/s mycket vanligare än i fallet där ledningsnätet är inkluderat. Mindre tydligt men ändå märkbart är att flödesriktningen även här främst rör sig utifrån och in mot områdets mitt. Flödesvägar följer i mindre utsträckning vägar och cykelbanor utan rör sig i många fall mellan byggnader och över grönytor som ännu inte är översvämmade. Höga flöden uppkommer på fler ställen bland annat i det nordvästra hörnet och de högsta flödena är 0,2 m/s högre än scenariot utan ledningsnät. För tydlighetens skull visas inte flöden under 0,035 m/s.



Figur 6.8 – Detaljkarta över Husensjö med rinnvägar (flödeshastighet och -riktning) samt vattendjup vid ett skyfall motsvarande Malmöregnet 2014 utan ledningsnätet © Lantmäteriet [I2014/00579].

Husensjö – vattendjup från GIS-kartering

För att kunna göra en jämförelse presenteras även resultatet från GIS-karteringen vilken antas kunna ge en grov uppskattning av var vattnet ansamlas inom Husensjö vid ett extremt skyfall (figur 6.9). I förhållande till resultaten från MIKE21-modellen verkar de största vattenansamlingarna ske i samma områden, dvs. främst de större grönytorna i sydväst. Många mindre översvämmade områden verkar dock utebli i den här uppskattningen.



Figur 6.9 – Detaljkarta över Husensjö med vattendjup från GIS-karteringen baserat på topografien. © Lantmäteriet [I2014/00579].

6.2 Ytanspråk för kompakta dagvattenlösningar

I kapitel 6.2 finns beskrivningar över samtliga antaganden och beräkningar som legat till grund för att bestämma omhändertagen volym per m² ytanspråk för de undersökta öppna dagvattenlösningarna. Sektion 6.2.1 beskriver de antaganden som gjorts beträffande markens infiltrationskapacitet, 6.2.3-6.2.7 beskriver beräkningar för var och en av de olika lösningarna. Resultaten finns sammanfattade i tabell 6.4 i sektion 6.2.8.

6.2.1 Markens infiltrationskapacitet i Husensjö

Som tydligt kan avläsas i figur 4.5 består området enligt uppgifter från SGU till största delen av postglaciala sandavlagringar. Däremot visar en undersökning i området utförd av WSP (Helsingborgshem, 2014) att jordlagren i den omrättade zonen bestod av omväxlande siltig sand och lermorän. Undersökningen av WSP angav inte vilken av de två jordarterna som dominerar. Utan vidare provtagning i området är det svårt att vara säker på vilken jordtyp som dominerar i området då de två undersökningarna pekar på något olika förhållanden. Med tanke på att siltig sand påträffades i WSPs undersökning och att uppgifterna från SGU pekar på att den dominerande jordarten är sand i området görs antagande att den dominerande jordfraktionen har en permeabilitet som ligger i det lägre spannet för sand (10^{-3} - 10^{-5} m/s) eller

i det högre spannet för silt (10^{-4} och 10^{-6} m/s). För beräkningar kring infiltration i marken antas därför en permeabilitet på 10^{-5} m/s.

Den totala tiden som modellerats är ca 9 timmar, regnet faller över området under ca 6 timmar och avrinning sker under ytterligare 3 timmar. Beroende på var lösningarna är placerade kommer de att infiltrera vatten under olika lång tid. Om en lösning ska infiltrera under hela förloppet krävs det att lösningens yta är täckt med vatten under hela skyfallet. Vidare är också ett krav att vattnet innan det infiltrerar ner i marken har runnit ner till botten av lösningen. Beroende på var lösningen placeras kommer därmed infiltrationen att variera. I viss mån kan lösningarnas infiltration maximeras om de placeras i de naturliga rinnvägarna eller nära områden som översvämmas. Med tanke på den varierande infiltrationen har ett antagande gjorts att lösningarna kan infiltrera vatten enligt maximal kapacitet under hälften av tiden, dvs 4,5 av de 9 timmar som modelleras. Antagandet är ett grovt uppskattande och kan mycket väl vara både högre eller lägre i verkligheten.

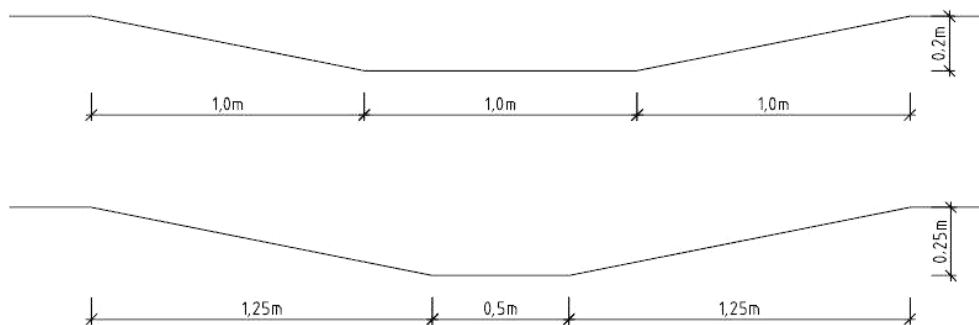
Den totala mängden vatten som kan infiltreras under regnet beräknas nedan per m^2 markyta.

$$10^{-5} \frac{m}{s} \cdot 3600s = 0,036 \frac{m}{h} \cdot 4,5 h = 0,162 \approx 0,16 m^3/m^2 \quad (3)$$

6.2.2 Gräsklädda svackdiken

När svackdiket utformats har kravet ställts att diket inte får vara bredare än 3 m då det inte anses som en tillräckligt kompakt lösning om bredden är större. Sidornas lutning antas vara 1:5, strax under det högsta rekommenderade värdet, för att åstadkomma en kompakt profil.

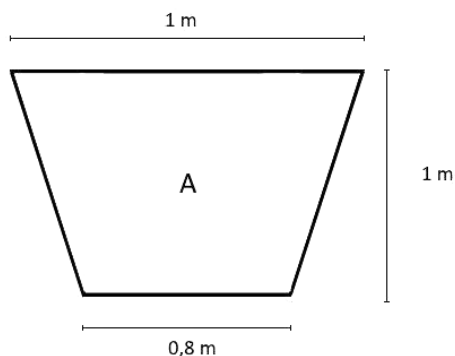
Beroende på vilken profil som används får svackdiket olika volym. Två möjliga profiler redovisas i figur 6.10:



Figur 6.10 – Två möjliga profiler för utformning av svackdiken (Illustration: Johannes Haeggblom).

Profil nummer ett ger en volym per längdmeter på $0,40 m^3$ medan profil nummer två ger en volym per längdmeter på $0,4375 \approx 0,44 m^3$. Fler kombinationer är möjliga, ett paraboliskt tvärsnitt kan också väljas och en optimering av profilen kan eventuellt ge en högre volym per meter dike. Dock krävs en generalisering och för syftet att jämföra svackdiken med andra lösningar bedöms profil två vara en bra representation av ett genomsnittligt svackdike.

Ytterligare en fördel med svackdiken är att en del av vattnet kan infiltrera ner till det underliggande makadammagasinet och vidare ner i marken om diket anläggs utan en täckande geotextil. Enligt Svenskt vatten (2011) bör det underliggande makadamlagret ha en bottenbredd på ca 0,8 m och ett djup på ca 1,0 m. Kornstorleken i makadamlagret bör ligga i spannet 4-16 mm (Svenskt Vatten, 2011a) vilket enligt Knutsson & Morfeldt (1993) ger en effektiv porositet mellan 25-30 %, porositeten antas ligga i mitten av spannet på 27 %. Bredden i toppen antas vara ca 1,0 m. En bottenbredd på 0,8 m ger ett tvärsnitt enligt figur 6.11. Den totala volymen som är möjlig att fördröja i makadamlagret per m dike kan beräknas genom att lagrets tvärsnittsarea (A) multipliceras med den effektiva porositeten (n_e).



Figur 6.11 – Tvärsnitt av svackdikets makadammagasin (Illustration: Jonas Hallerth).

$$V = A \cdot n_e = 0,9 \cdot 0,27 = 0,243 \approx 0,24 \text{ m}^3/\text{m} \quad (4)$$

För det dränerande lagret antas en sammansättning bestående av grovsand vilket ger en kornstorlek på 0,63-2,0 mm (Larsson, 2008) och en effektiv porositet på 28-33 % (Knutsson & Morfeldt, 1993) där 30 % antas vara ett bra genomsnittligt värde. Lagrets djup rekommenderas vara 15 cm (Svenskt Vatten, 2011a). Makadamlagrets bredd i toppen är 1 m och dräneringslagret antas ha samma bredd. Det ger en fördröjd volym i dräneringslagret per m dike på:

$$\text{bredd} \cdot \text{djup} \cdot n_e = 1,0 \cdot 0,15 \cdot 0,30 = 0,045 \approx 0,05 \text{ m}^3 \quad (5)$$

Alltså kan följande volym fördröjas per m dike:

$$0,44 \text{ m}^3 + 0,24 \text{ m}^3 + 0,05 \text{ m}^3 = 0,73 \text{ m}^3/\text{m} \quad (6)$$

Svackdiket är 3 m brett vilket gör att diket har ett ytanspråk på 3 m^2 per meter längsmed diket vilket innebär att $0,73/3 \approx 0,24 \text{ m}^3$ kan fördröjas per m^2 ytanspråk.

Infiltrationskapaciteten är olika för fraktionerna i diket men bör begränsas av det översta lagret som består av sandinblandad matjord snarare än de underliggande postglaciala sandavlagringarna. Enligt MBWCP (2006) bör lagret ha en konduktivitet på 50-200 mm/h. Då sammansättningen av matjordslagret kan anpassas och de lokala förhållandena är gynnsamma för infiltration antas en konduktivitet på 200 mm/h. Den begränsande faktorn gällande infiltration kommer att vara markens infiltrationskapacitet eftersom den är lägre än den sandinblandade matjorden vilken är begränsande för svackdiket. Därmed bör lösningen kunna infiltrera $0,16 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ytanspråk (se sektion 6.2.1 för info om markens infiltrationskapacitet).

6.2.3 Underjordiska magasin

För att kunna uppskatta hur stor volym vatten som kan omhändertas per kvadratmeter underjordiskt dagvattenmagasin och för att kunna jämföra dess effektivitet med någon av de andra öppna lösningarna i förhållande till ytanspråk måste först uttrycket "ytanspråk" definieras för det specifika fallet. Eftersom det är underjordiska magasin som omtalas skulle en ståpunkt kunna vara att lösningen inte tar någon markyta i anspråk överhuvudtaget. Dock är det så att underjordiska magasin sällan anläggs under byggnader och i synnerhet inte under redan existerande bebyggelse. Istället kan man utgå ifrån att en vanlig placering är under exempelvis en parkeringsyta från vilken vattnet avleds till magasinet via dagvattenbrunnar. Så ytanspråk i det här fallet definieras som den ytan som dagvattenmagasinet tar i anspråk trots dess underjordiska placering.

Vidare måste ett flertal antaganden göras för att kunna ge ett allmängiltigt svar på hur stor volym ett magasin omhändertar per kvadratmeter ytanspråk. Först och främst bestämdes det att utgångspunkten för beräkningarna får stamma från ett kassetmagasin. Detta på grund av att det är en robust, flexibel och förhållandevis lättimplementerad lösning.

Vid dimensionering av ett kassetmagasin är en avgörande parameter grundvattennivån. Kassetmagasin kan som tidigare nämnt konstrueras för att fungera även under grundvattennivån men kräver då att extra hänsyn tas till olika faktorer såsom magasinets täthet samt motståndskraft mot grundvattnets lyftkrafter. För enkelhetens skull antas därför att magasinerna inte kommer placeras under grundvattennivån. Baserat på grundvattenmätningar i området antas grundvattennivån generellt följa topografin väl och sällan överskrida 2,0 m under markytan (Helsingborgshem AB, 2014). Med utgångspunkt i några av den Svenska marknadens vanligaste kassetlösningar (Dahl, 2013) och deras egenskaper valdes kassetlösningen Pluvial Cube av Plastinject AB som referens för vidare beräkningar. Se tabell 6.2 för data.

Tabell 6.2 – Egenskaper hos Pluvial Cube kassetmodul (Dahl, 2013).

Lösning	Dimensioner modul	Volym/modul	Våtvolum	Våtvolum/modul
Pluvial Cube	0,5 · 0,5 · 0,55 m	0,1375 m ³	96 %	0,132 m ³

Eftersom ett magasin alltid bör placeras ett stycke under markytan och för att behålla en viss säkerhetsmarginal till nivåförändringar hos grundvattnet antas magasinet för enkelhetens skull tillåtas ha ett djup på maximalt 1,5 m. Baserat på dimensionerna hos en Pluvial Cube-modul (figur 6.12) fås därmed en lösning under den nyligen angivna gränsen som ger upphov till ett exakt djup på:

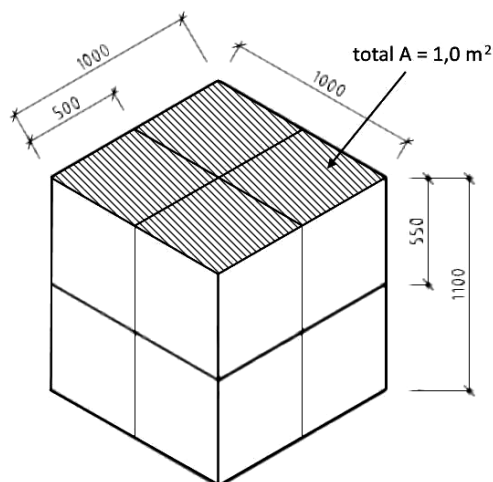
$$2 \cdot 0,55 \text{ m} = 1,10 \text{ m} \quad (7)$$

Detta innebär att per kvadratmeter yta fås totalt 8 moduler fördelade om:

$$4 \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 2 \cdot 0,55 \text{ m} = 1,1 \text{ m}^3. \quad (8)$$

Med en våtvolum på 96 % fås att en kvadratmeter kassetmagasin kan hålla:

$$0,96 \cdot 1,1 = 1,056 \approx 1,06 \text{ m}^3/\text{m}^2 \quad (9)$$



Figur 6.12 - Dimensioner på ett 1,0 m², 1,1 m djupt aggregat bestående av 8 stycken Pluvial Cube-moduler (Illustration: Johannes Haeggblom).

Förmodligen går det att implementera underjordiska magasin som har ett större djup än 1,1 m inom området Husensjö. Dock bör extra försiktighet vidtas genom att med fler mätningar bestämma grundvattennivån lokalt innan ett magasin installeras.

När det gäller infiltration kommer den begränsande faktorn att vara markens infiltrationsförmåga. Det på grund av att magasinet anläggs med geotextil i botten vilken kan väljas så att permeabiliteten i duken är större än de omgivande jordlagren. Därmed bör lösningen kunna infiltrera 0,16 m³/m² ytanspråk (se sektion 6.2.1 för info om markens infiltrationskapacitet).

6.2.4 Permeabla marktytor

Eftersom permeabla marktytor i sig inte är en komplett lösning utan oftast kombineras med ett underliggande makadamlager måste vissa antaganden göras för att kunna beräkna omhändertagen volym i förhållande till ytanspråk. Det som skiljer sig mellan de olika lösningarna är infiltrationshastigheten i materialen. Det kan därför vara svårt att säga exakt hur stor del av vattnet som träffar ytan faktiskt hinner infiltrera innan det rinner vidare av ytan.

Det första antagandet som görs är att fördröjningsvolymen under den permeabla markytan kommer bestå av ett lager makadam. Enligt Svenskt Vatten (2011) bör kornstorleken för ett makadamlager i botten av ett svackdike ligga mellan 4-16 mm. Eftersom syftet med ett makadamlager under permeabla marktytor är det samma som i svackdiken, dvs. att dränera och fördröja, görs antagandet att makadam med samma kornstorleksintervall används under permeabla marktytor. Detta medför en effektiv porositet (n_e) på 25-30 % (Knutsson & Morfeldt 1993). För jämförbarhetens skull valdes en effektiv porositet (n_e) på 27 %, precis som i fallet med svackdiket.

En begränsande faktor för djupet på makadamlagret är, som i fallet med underjordiska magasin, grundvattendjupet. Baserat på tidigare antaganden rekommenderas därför ett djup på högst 1,5 m. För att enkelt kunna jämföra den fördröjda volymen vatten med underjordiska magasin antas djupet därför ha samma värde, det vill säga 1,1 m.

Eftersom de olika permeabla marktytorerna i sig sällan är särskilt djupa togs inte fördröjningsvolymen i själva ytmaterialet med i beräkningarna.

Med dessa antaganden går det att beräkna den totala fördröjda volymen vatten per kvadratmeter yta till:

$$\text{area} \cdot \text{djup} \cdot n_e = 1 \cdot 1,1 \cdot 0,27 = 0,297 \approx 0,30 \text{ m}^3/\text{m}^2. \quad (10)$$

Som i fallet med underjordiska magasin går det även här att anta att ett djupare lager makadam kan anläggas. Dock bör som tidigare hänsyn till den lokala grundvattennivån tas.

Tillgången till pålitliga data för olika typer av permeabla marktyper tycks vara begränsad så för analysen av infiltrationshastigheten valdes som exempel den permeabla asfalten DrainAsfalt 10 av Aggregate Industries (2010). Med en beräknad reduktion i hydraulisk konduktivitet på ca 90 % på grund av igensättning får den permeabla asfalten efter viss tids användning en infiltrationshastighet på ca 1,3 m/h. Baserat på den höga hydrauliska konduktiviteten för fingrus (SGI, 2008) antas infiltrationshastigheten i det underliggande makadamlagret, med sin högre kornstorlek på 100 mm, vara betydligt högre än asfalten som därmed står för lösningens begränsande faktor. Den är dock betydligt högre än markens permeabilitet vilket innebär att marken är den begränsande faktorn gällande infiltration, även för permeabla marktyper när det underliggande magasinet väl är fyllt (se sektion 6.2.1 mer detaljerad information kring markens infiltrationshastighet).

6.2.5 Regnbäddar

Regnbäddar erbjuder många olika möjligheter gällande utformning och det är därför problematiskt att finna ett standardutförande. Det utförande som används i denna rapport definieras av MBWCP (2006):

Födröjningszon: 0,2 m

Växtjord: 0,6 m

Permeabilitet för mättad växtjord: 0,200 m/h

Genomsnittlig partikelstorlek för växtjord: 0,5 mm

Dräneringslager: 0,2 m

Material i dräneringslager: Sand

Växtjorden har en genomsnittlig partikelstorlek på 0,5 mm vilket gör att den effektiva porositeten (n_e) kan uppskattas till ca 27 % (Knutsson & Morfeldt, 1993). Dräneringslagret bör bestå av sand (MBWCP, 2006) och eftersom syftet är att säkerställa en effektiv dränering bedöms lagret bestå av grovsand vilket har en kornstorlek på 0,63-2,0 mm (Larsson, 2008) och en effektiv porositet (n_e) på ca 28-33 % \approx 30 % (Knutsson & Morfeldt, 1993). Det går även att anlägga en fördröjningszon under ytan genom ett lager makadam men för syftet att jämföra olika lösningar antas biofiltret vara anlagt utan ett underliggande makadamlager då det inte bedöms vara ett standardförfarande.

Det ger en total omhändertagen volym för de olika delarna som följer:

Fördröjningszon:

$$djup \cdot area = 0,2 \cdot 1 = 0,2 \text{ m}^3 \quad (11)$$

Växtjord:

$$djup \cdot area \cdot n_e = 0,6 \cdot 0,3 \cdot 1 = 0,18 \text{ m}^3 \quad (12)$$

Dräneringslager:

$$djup \cdot area \cdot n_e = 0,2 \cdot 0,3 \cdot 1 = 0,06 \text{ m}^3 \quad (13)$$

Totalt:

$$0,2 + 0,18 + 0,06 = 0,44 \text{ m}^3 \quad (14)$$

I och med att området Husensjö bör ha gynnsamma förhållanden för infiltration antas att regnbädden anläggs utan en tät markduk i botten, vilket innebär att vatten kan infiltrera från biofiltret och vidare ner i marken. Den begränsande faktorn gällande infiltration kommer att vara markens infiltrationskapacitet eftersom den är lägre än växtjorden i markbädden vilket är begränsande för biofiltret. Därmed bör lösningen kunna infiltrera $0,16 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ytanspråk (se sektion 6.2.1 för info om markens infiltrationskapacitet).

6.2.6 Gröna tak

Gröna tak som fördröjningslösning kräver generellt ganska stora ytor för att kunna fördröja en nämnvärd volym vatten vid intensivare skyfall. Generellt är gröna tak framför allt effektiva vid mindre skyfall då de mättas ganska snabbt och därefter bidrar med lika mycket ytavrinning som en vanlig impermeabel yta. Mängden vatten som kan fördröjas av gröna tak skiljer sig dock avsevärt mellan de olika lösningarna. I tabell 6.3 presenteras data som hämtats från ett flertal tillverkare av gröna tak.

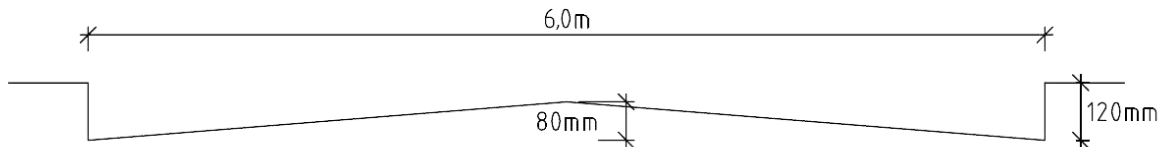
Tabell 6.3 – Fördröjbar volym vatten per kvadratmeter grönt tak, olika lösningar (BG Byggros, 2015), (Optigreen, 2014), (Green Roof Technology, 2015).

Typ av tak	Tjocklek (mm)	Volym/ytanspråk (m^3 vatten/ m^2)
Extensiva	55-95	0,015-0,030
Semiextensiva	135	0,030
Intensiva	250-470	0,110-0,175

För syftet att jämföra de olika lösningarna anges i huvudtabellen (tabell 6.4) ytanspråket som ett genomsnitt av spannen för intensiva och extensiva gröna tak.

6.2.7 Fördröjning på gata

Begränsningen för hur mycket vatten som kan fördröjas beror på gatans profil och kan därmed variera en del. Enligt Helsingborgs stads tekniska handbok (Helsingborgs stad 2015a) bör en gata med en gångbana i ett bostadsområde utformas enligt profilen i figur 6.13. Gatan är 6 m bred, kantstenen på sidorna har en höjd på 120 mm och mitten av vägbanan ligger 80 mm högre än sidorna.



Figur 6.13 – Tvärsnittsprofilen av en villagata med gångbana på sidan. Observera att skalan är överdriven i vertikalt led för att tydligare åskådliggöra formen på gatan (anpassad efter: Helsingborgs stad, 2015a).

Det gör att den potentiella volymen vatten som kan ansamlas på ytan kan uppskattas genom att beräkna tvärsnittsarea vilken kan delas upp i två trianglar närmast gatuytan och en rektangel ovanför trianglarna.

Triangelarna har en tvärsnittsarea på:

$$2 \cdot \left(\frac{djup \cdot bredd}{2} \right) = 2 \cdot \left(\frac{0,08 \cdot 3}{2} \right) = 0,24 \text{ m}^2 \quad (15)$$

Rektangeln har en tvärsnittarea på:

$$djup \cdot bredd = 0,04 \cdot 6 = 0,24 \text{ m}^2 \quad (16)$$

Tvärsnittsarea blir då totalt:

$$0,24 + 0,24 = 0,48 \text{ m}^2 \quad (17)$$

Det innebär att det därmed kan ansamlas ca $0,48 \text{ m}^3$ per meter gata. I och med att gatan är 6 m bred betyder det att det kan ansamlas ca:

$$\frac{0,48}{6} = 0,08 \text{ m}^3/\text{m}^2 \quad (18)$$

Bedömningen görs att ingen infiltration sker vid tillfällig översvämning av gator i och med att vägarna främst består av asfalt och andra täta material.

6.2.8 Sammanfattning

Följande tabell (6.4) sammanfattar resultaten från sektionerna 6.2.1-6.2.7 gällande omhändertagen volym per m² ytanspråk i Husensjö.

Tabell 6.4 – Ytanspråk per omhändertagen volym och rening för de olika öppna dagvattenlösningarna.

Lösning	Fördröjd volym (m ³ /m ²)	Infiltration m ³ /(m ²)*	Tot (m ³ /m ²)	Rening (%)		
				TSS	N	P
Permeabla markytor	0,30	0,16	0,46	65-99	0-85**	0-65**
Svackdiken	0,24	0,16	0,40	85	25	60
Regnbäddar	0,44	0,16	0,60	88	10	60
Underjordiska magasin	1,06	0,16	1,22		låg/ingen	
Gröna tak - extensiva	0,02	ingen	0,02		låg/ingen ***	
Gröna tak - intensiva	0,14	ingen	0,14		låg/ingen ***	
Fördröjning på gata	0,08	ingen	0,08		låg/ingen	

*Infiltrationen bygger på markens kapacitet för infiltration i Husensjö och det modellerade regnets varaktighet. Se sektion 6.2.1 för mer detaljer kring detta.

**Det finns studier som påvisar en reduktion och studier som påvisar liten eller ingen reduktion beträffande kväve och fosfor. Se sektion 3.2.3 för mer detaljer kring detta.

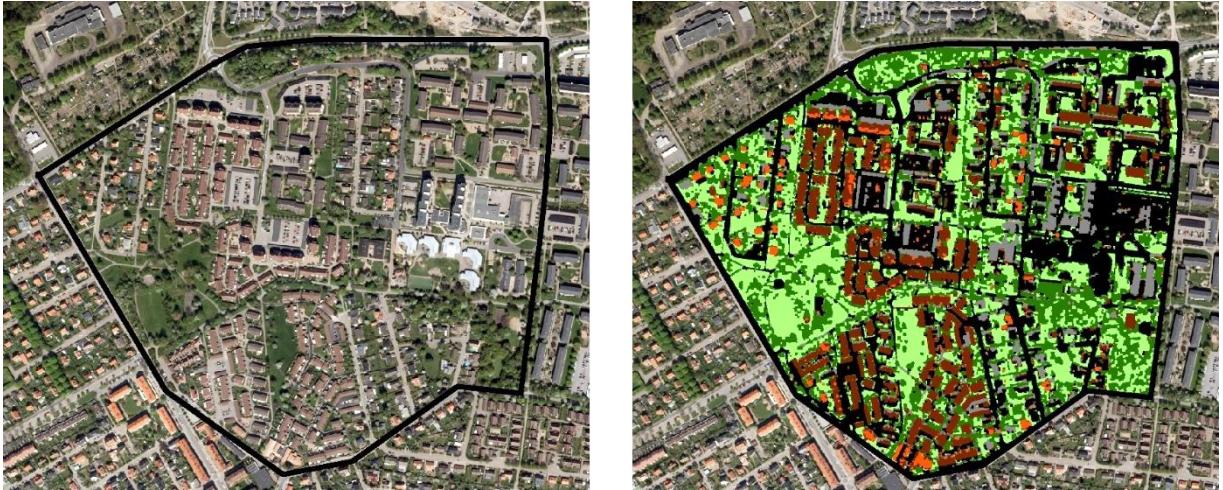
***Vissa studier visar på en reduktion av näringsämnen och TSS medan andra studier visar på låg eller ingen reduktion. Se sektion 3.2.5 för mer detaljer kring detta.

6.3 Implementering av kompakta dagvattenlösningar i Husensjö

Nedan följer två sektioner där syftet är att uppskatta det totala ytanspråket för var och en av de kompakta lösningarna om de ska omhänderta vattnet som ansamlas inom Husensjö, med och utan avdrag för ledningsnätet. Dessutom jämförs ytanspråket med tillgängliga ytor för att undersöka huruvida det är rimligt att omhänderta allt vatten enbart med kompakta lösningarna.

6.3.1 Tillgängliga ytor

Figur 6.14 visar ett ortofoto över Husensjö (t.v.) och en klassificering av markanvändningen i samma område (t.h.). De olika klasserna som identifierats är gräs, träd, vägar och tak av olika sort. I tabell 6.9 finns en sammanställning av markanvändningen dels som procentuell del av området och storlek i m².



Figur 6.14 – Ortofoto (t.v.) och markavändning i Husensjö uppdelat i kategorierna gräs, träd, väg, gråa tak, röda tak och bruna tak (t.h.) © Lantmäteriet [I2014/00579].

Kommunen äger fastigheter i området vilket gör det troligt att den marken är mest intressant att exploatera om Helsingborgs stad vill implementera åtgärder för att minska risken för översvämning vid skyfall. Figur 6.15 visar vilka delar av området som ägs av kommunen och markavändningen på kommunens fastigheter.



Figur 6.15 – Kommunala fastigheter i Husensjö (t.v.) och markavändningen på de kommunala fastigheterna uppdelat i kategorierna gräs, träd, väg, gråa tak, röda tak och bruna tak (t.h.) © Lantmäteriet [I2014/00579].

Tabell 6.5 visar markavändningen totalt i Husensjö samt hur stor procentuell andel av respektive markyta som är kommunalt ägd.

Tabell 6.5 – Markanvändningen i Husensjö på samtliga ytor.

Markanvändning	Procentuell andel av Husensjö	Area	Kommunalt ägd andel
Gräs	24 %	111 000 m ²	46 %
Träd	24 %	111 000 m ²	49 %
Vägar	29 %	139 000 m ²	40 %
Tak	24 %	111 000 m ²	13 %
Totalt	100 %	472 000 m ²	37 %

Tabell 6.6 visar siffror över markanvändningen på de kommunalt ägda fastigheterna i Husensjö.

Tabell 6.6 – Markanvändning på kommunala fastigheter i Husensjö.

Markanvändning	Procentuell andel	Area
Gräs	29 %	51 000 m ²
Träd	31 %	54 000 m ²
Vägar	32 %	56 000 m ²
Tak	8 %	14 000 m ²
Totalt	100 %	175 000 m ²

6.3.2 Omhändertagande på samtliga ytor

Tabell 6.7 visar en översikt på hur stor yta det skulle krävas för att omhänderta hela volymansamlingen inom Husensjö, dels för scenariot med ledningsnät (32 000 m³) och scenariot utan ledningsnät (94 000 m³). Svackdiken, permeabla markytor, underjordiska magasin och regnbäddar kan alla omhänderta de nödvändiga volymerna inom områdets gränser sett enbart till faktiskt areal. För att sätta siffrorna i perspektiv görs i kolumnen bredvid en jämförelse med de ytor som bedöms finnas tillgängliga i Husensjö. Det är svårt att avgöra vilka ytor och hur stor del av dem som är tillgängliga men som utgångspunkt antas att det är främst gröna ytor som är aktuella. Det är alltså ytor med markanvändningarna *träd* och *gräs* vilka enligt tabell 6.5 tillsammans har en area på 222 000 m². Ett antagande görs att hälften av ytorna är obrukbara, dels på grund av att de gröna ytorna till viss del består av trädgårdar och dels för att några av ytorna ligger på platser som inte är gynnsamma ur ett hydrologiskt perspektiv eller är svåra att exploatera av andra orsaker. Det lämnar alltså hälften av alla gröna ytor, 111 000 m², för dagvattenhantering.

Tabell 6.7 – Översikt av totalt ytanspråk som krävs av olika lösningar för att omhänderta allt vatten från ett skyfall motsvarande Malmöregnet, med och utan ledningsnät.

Lösning	Omhändertagen volym (inkl. infiltration)	Med ledningsnät (tot: 32 000 m ³)		Utan ledningsnät (tot: 94 000 m ³)	
		Totalt ytanspråk	% gröna ytor (111 000 m ²)	Totalt ytanspråk (m ²)	% gröna ytor (111 000 m ²)
Permeabla markytor	0,46 m ³ /m ²	70 000 m ²	64 %	204 000 m ²	184 %
Svackdiken	0,40 m ³ /m ²	80 000 m ²	72 %	235 000 m ²	212 %
Regnbäddar	0,60 m ³ /m ²	53 000 m ²	48 %	157 000 m ²	141 %
Underjordiska magasin	1,22 m ³ /m ²	26 000 m ²	23 %	77 000 m ²	69 %
Gröna tak - extensiva	0,02 m ³ /m ²	1 600 000 m ²	-	4 700 000 m ²	-
Gröna tak - intensiva	0,14 m ³ /m ²	229 000 m ²	-	671 000 m ²	-
Fördröjning på gata	0,08 m ³ /m ²	400 000 m ²	-	1 175 000 m ²	-

I fallet där ledningsnätet tas med i beräkningen kan extensiva gröna tak uteslutas direkt då det finns mindre än 10 % av den nödvändiga ytan att tillgå även om samtliga tak skulle utnyttjas för anläggning av extensiva gröna tak. Av den anledningen görs bedömningen att extensiva gröna tak inte är en tillräckligt effektiv lösning för att ingå i en lösningskombination som ska omhänderta extrema skyfall. Intensiva gröna tak och fördröjning på gata kräver mer än dubbelt så stora ytor som finns att tillgå i form av vägar och tak för att kunna omhänderta hela den nödvändiga volymen vilket gör att de endast anses användbara i kombination med andra lösningar. Samtliga övriga lösningar kan omhänderta den nödvändiga volymen på de tillgängliga gröna ytorna även om svackdiken, permeabla markytor och regnbäddar alla kräver minst 50 % av de tillgängliga ytorna.

I fallet där ledningsnätet inte tas med i beräkningen är volymen som behöver omhändertas betydligt högre. Extensiva gröna tak bedöms inte heller här kunna bidra effektivt till fördröjning av dagvatten. Intensiva gröna tak samt fördröjning på gata kräver sex respektive åtta gånger så stora ytor som finns att tillgå och bedöms därför inte nämnvärt kunna bidra till fördröjningen av dagvatten. När det gäller de övriga lösningarna är det endast underjordiska magasin som kan omhänderta tillräckligt mycket vatten för att kunna rymmas på de tillgängliga gröna ytorna.

6.3.3 Omhändertagande på kommunal mark

I ett försök att sätta siffrorna för ytanspråk i perspektiv kommer ytterligare ett scenario att undersökas; att omhändertagandet av dagvatten sker helt på kommunal mark.

Flera antaganden görs i det här scenariot. Det första antagandet är att lösningarna kommer att placeras på de gröna ytorna samt att endast 2/3 av de gröna ytorna är lämpliga för dagvattenhantering. Detta på grund av att vissa ytor kommer att vara svåra att exploatera,

vissa ligger i olämpliga topografiska lägen för dagvattenhantering eller av andra orsaker är olämpliga att exploatera. Det andra antagandet är att intensiva gröna tak används på samtliga taktyper på kommunal mark. Det tredje antagandet är att fördröjning på gata kan implementeras på 1/3 av alla kommunalt ägda vägar i området. Siffror för vilken minskning av avrinning det ger upphov till finns i tabell 6.8.

Tabell 6.8 – Omhändertagen volym vatten vid implementering av fördröjning på gata och gröna tak på kommunal mark.

Markanvändning	Använd andel	Area	Omhändertagen vol.
Fördröjning på gata	33 %	18 000 m ²	1 440 m ³
Gröna tak	100 %	14 000 m ²	2 000 m ³
Tot			≈ 3 000 m ³

Volymreduktionen från fördröjning på gata och gröna tak (tabell 6.8) gör att de återstående volymerna som måste omhändertas är 29 000 m³ i scenariot med ledningsnätet och 91 000 m³ i scenariot utan ledningsnät.

De gröna ytorna utgörs av ytor täckta av gräs (51 000 m²) och ytor täckta av träd (54 000 m²) vilka totalt utgör 105 000 m². Då endast 2/3 av ytorna bedöms kunna utnyttjas utgör de brukbara ytorna 70 000 m². Tabell 6.9 visar en sammanställning av hur stora ytor som krävs för varje lösning och hur stor del av de gröna ytorna (som bedöms vara exploaterbara) som lösningar i så fall tar i anspråk.

Tabell 6.9 – Sammanställning över hur stora ytor som krävs av olika lösningar för att omhänderta vatten från ett skyfall motsvarande Malmöregnet då gröna tak och fördröjning på gata har implementerats enligt tabell 6.8, med och utan ledningsnät.

Lösning	Omhändertagen volym (inkl. infiltration)	Med ledningsnät (tot: 29 000 m ³)		Utan ledningsnät (tot: 91 000 m ³)	
		Total ytanspråk	% av gröna ytor (70 000 m ²)	Total ytanspråk	% av gröna ytor (70 000 m ²)
Permeabla marktytor	0,46 m ³ /m ²	63 000 m ²	90 %	198 000 m ²	283 %
Svackdiken	0,40 m ³ /m ²	73 000 m ²	104 %	228 000 m ²	326 %
Regnbäddar	0,60 m ³ /m ²	48 000 m ²	69 %	152 000 m ²	217 %
Underjordiska magasin	1,22 m ³ /m ²	24 000 m ²	34 %	75 000 m ²	107 %

Med undantag för svackdiken kan vattnet omhändertas på den tillgängliga ytan av alla lösningarna i scenariot med ledningsnät. Volymen vatten som måste omhändertas är något mindre i det här scenariot jämfört med det tidigare scenariot eftersom gröna tak och fördröjning på gata beräknas ha implementerats. Det leder till minskade ytanspråk på 2000 - 7000 m² för de olika lösningarna. Trots detta kräver regnbäddar, permeabla marktytor och

svackdiken att en överväldigande majoritet av de tillgängliga gröna ytorna tas i anspråk. Underjordiska magasin är den enda lösningen med ett ytanspråk under 50 % av de tillgängliga gröna ytorna.

För scenariot utan ledningsnät kan ingen av de fyra lösningarna omhänderta vattnet på den tillgängliga ytan. Volymen vatten som måste omhändertas är något mindre i det här scenariot jämfört med det tidigare scenariot eftersom gröna tak och fördröjning på gata beräknas ha implementerats. Det leder till minskade ytanspråk i samma omfattning som i scenariot utan ledningsnät däremot utgör minskningen en procentuellt mindre andel vilket gör att reduktionen, på grund av fördröjningen på gata och de gröna taken, har mindre betydelse. Regnbäddar, permeabla markytor och svackdiken har alla ett ytanspråk som är större än de tillgängliga gröna ytorna och den enda lösningen som är i närheten att kunna omhänderta tillräckliga mängder på de tillgängliga gröna ytorna är underjordiska magasin.

7 Diskussion

7.1 Modellering

I de följande sektionerna kommer resultaten från skyfallsmodelleringen diskuteras tillsammans med metodiken bakom modelleringen samt dess begränsningar. Även potentiella felkällor kommer att tas upp och slutligen kommer vattenansamlingarna i MIKE 21-modellen jämföras med en betydligt enklare GIS-modell.

Resultaten över avrinningsområdet visar sammanfattningsvis på att stora mängder vatten kommer att ansamlas både i Husensjö och i resten av avrinningsområdet, i synnerhet när ledningsnätet inte har räknats med. I scenariot då ledningsnätet är med i modellen uppkommer de tydligaste större och sammanhängande ansamlingarna, inte oväntat, i de två sydvästligt belägna grönområdena som är topografiska lågpunkter i området. Även runt en del av bebyggelsen i de nordöstra delarna och i de mer centrala delarna av Husensjö kan det tydligt observeras vattendjup upp emot 0,5 meter. Det kommer troligtvis leda till materiella skador i form av översvämning bebyggelse. Flödesvägarna verkar följa några ganska entydiga spår och uppnår på sina ställen hastigheter upp till 1,4 m/s i fallet med ledningsnätet inkluderat. Flödet verkar dessutom främst följa gator och cykelvägar som är mindre känsliga för erosion än gröna ytor.

Ser man på resultaten från scenariot utan ledningsnät förekommer översvämningarna i grund och botten på samma ställen som med ledningsnätet fast i betydligt större utsträckning. Även i stor radie runt grönområdena, dit stora delar av vattnet rinner, går inte bebyggelsen säker och närmare hälften av bostäderna i området drabbas, sannolikt med stora materiella skador som följd. På sina håll uppnår vattendjupet hela 2,0 m inom Husensjö och 2,6 m inom avrinningsområdet. Flödet ser ut att rinna in i området från alla väderstreck och når på sina ställen upp till 1,8 m/s.

En intressant observation görs när resultaten från beräkningarna i kapitel 6.1.1 betraktas. Vid skyfallsmodelleringen med ledningsnät konstateras att runt 30 % av den totala regnmängden ansamlas inom området Husensjö och resten i det omkringliggande avrinningsområdet. Vid modelleringen utan ledningsnätet – dvs. med större mängd vatten – ansamlas dock 48 % av den totala mängden inom Husensjö. Från detta kan slutsatsen dras att den procentuella andelen ytavrinning som hamnar innanför Husensjös gränser ökar vid högre total nederbörd. En möjlig förklaring till detta är att vatten från de norra delarna av avrinningsområdet vid större volymer når en maxnivå och att resterande regn därefter fortsätter att rinna över i Husensjö. Detta åskådliggörs av den kraftiga skillnaden i flöde som kan observeras mellan figur 6.7 och figur 6.8 i resultatdelen, särskilt i de norra, nordöstra och östra inflödena. Skulle därför ledningsnätets kapacitet trots allt vara överskattat med en viss procentuell andel så kan det leda till en procentuellt högre andel ytavrinning i Husensjö.

På grund av att examensarbetet skulle utföras under totalt 20 veckor gjordes en del förenklingar för att arbetet inte skulle bli för omfattande. Många av dessa förenklingar har förstås potentialen att ge upphov till ett antal felkällor av olika magnitud.

Regnet i Malmö den 31 augusti har i modelleringen fått representera ett extremt skyfall. Sannolikheten att ett exakt likadant regn skulle falla över Husensjö bedöms vara liten, däremot kan ett liknande regn drabba Husensjö. Någon gång i framtiden kommer ett extremt skyfall garanterat drabba Husensjö men det kommer troligen att vara annorlunda beträffande

intensitet och varaktighet. Till exempel, om samma mängd nederbörd hade fallit på hälften så lång tid skulle ledningsnätet enbart kunnat leda bort hälften så mycket vatten under regnet vilket hade resulterat i mer omfattande översvämningar. Hade samma mängd nederbörd å andra sidan fallit på dubbelt så lång tid skulle ledningsnätet kunnat leda bort dubbelt så mycket vatten under regnet. Intensitet och varaktighet för regnet har således stor påverkan både på den totala volymen vatten som faller över området och på mängden vatten som ledningsnätet hinner omhänderta. När det gäller till exempel ledningsnätets kapacitet eller markens infiltrationskapacitet finns möjligheten att genom undersökningar få en bättre bild av storleken på variablerna. Den möjligheten finns inte på samma sätt för nederbörden då det inte går att på samma sätt detaljerat förutsäga framtida regnhändelser. Sammantaget bedöms nederbördens intensitet och varaktighet vara den faktor som har störst påverkan på resultaten.

En annan uppenbar förenkling och således felkälla var att inte inkludera det existerande ledningsnätet som en egen systemkomponent. Istället valdes att subtrahera den uppskattade mängden vatten som ledningsnätet bör kunna omhänderta från den totala mängden nederbörd. En implementering av ledningsnätet som systemkomponent hade krävt att ytterligare en programvara hade behövt utnyttjas, vilket bedömdes ligga utanför examensarbetets tidsramar. Om projektet hade pågått under en längre tid hade implementeringen av ett ledningsnät i modellen kunnat öka modellens riktighet. Samtidigt hade den ökade komplexiteten i sig inneburit fler felkällor och krävt ytterligare informationsunderlag.

Även uträkningarna som ska uppskatta ledningsnätets kapacitet kan vara orsak till större potentiella felaktigheter då de bygger på en formel som varken räknar med förluster för hela ledningsnätet eller det faktum att ledningsnätet vid full belastning förmodligen är trycksatt. Uppskattningsvis kommer dock effekterna av trycksättningen överträffa effekterna av förlusterna vilket är en faktor som pekar på att uppskattningen av ledningsnätets kapacitet bör vara högre. Dock bör nämnas att även om ledningsnätets kapacitet kan antas bli högre om nätet blir trycksatt kan det finnas flaskhalsar i systemet. En möjlighet är att vissa delar av nätet inte klarar ett lika stort flöde vilket skulle resultera i större ytavrinning från de områdena. En annan är att det är oklart om brunnarna har kapacitet för att leda ner högre flöden än 10-års-regn till ledningsnätet. Vid uppskattningen av ledningsnätets kapacitet gjordes ett misstag som resulterade i att ledningsnätets kapacitet överskattats med ca 7 % (se appendix B1 för en mer utförligt beskrivning av detta). Det är en faktor som pekar på att ledningsnätets kapacitet har överskattats i modellen. Det finns således osäkerheter kring ledningsnätet som kan innebära att den verkliga kapaciteten är större eller mindre än uppskattningen som använts i modellen.

En potentiell felkälla som uppskattas ha mindre påverkan är infiltrationen, en faktor som helt ignoreras i modellen, vilket rent praktiskt medför att samtliga ytor i modellen har en avrinningskoefficient på 1. I nuläget är redan ca hälften av området hårdgjort. Dessutom är skyfallet som modelleras mycket intensivt vilket bör leda till att det översta jordlagret snabbt mättas och att resterande nederbörd rinner av på ytan. Vidare kan det argumenteras för att det i samband med extrema skyfall kan ha regnat under en period innan skyfallet börjar vilket skulle bidra till att marken redan är mättad eller nära mättad när det simulerade skyfallet börjar. Speciellt om skyfallen inträffar under sommaren vilket statistiskt sett är den period av året med flest regntillfällen och perioden då regnen har högst medelintensitet (Svenskt Vatten, 2011b). Således innebär exkluderingen av infiltrationen att modellen hamnar närmare ett worst-case-scenario. Det är därför svårt att säga om exkluderandet av infiltration resulterar i en märkbar avvikelse från verkligheten, särskilt då det innebär att antaganden om markens initiala vatteninnehåll hade behövt göras. Det som talar för ett inkluderande av infiltrationen som en faktor är att de underliggande jordlagren i området troligen är sandinblandade. Det bör

resultera i att det överliggande matjordslagret får en högre infiltrationskapacitet än normalt. Dock är det oklart hur stor andel av marken som är sandinblandad då en undersökning i området visade på stora förekomster av silt och lermorän. Infiltrationskapaciteten är inte bara intressant ur ett modelleringsperspektiv utan även när det gäller valet av öppna dagvattenlösningar och om avväganden ska göras kring hur stora delar av området som kan hårdgöras. Sammanfattningsvis gjordes antagandet att infiltrationen inte har en stor påverkan på resultatet vid så pass intensiva skyfall som Malmöregnet på grund av att marken mätts snabbt. Dessutom består en stor del av området redan av hårdgjorda ytor. Infiltrationen och således avrinningskoefficienterna är troligen av större intresse vid mindre intensiva regn samt om den långsiktiga kvalitén på dagvattnet utreds.

Evaporation är en faktor som exkluderades helt från modellen då den antogs vara liten i förhållande till de totala vattenmassorna som faller över området. Årsmedel för avdunstning i Helsingborg bör ligga på 400-500 mm (SMHI, 2015) så med tanke på att endast nio timmar modelleras bör avdunstningen vara försumbar. Som felkälla antas evaporationen inte ha någon avsevärd påverkan på resultaten.

En faktor som har stor betydelse för avrinningen höjddatan som används. I det här fallet bedöms dock höjddatan vara av god kvalitet samt högupplöst då den kommer från lantmäteriets laserscanning med två meters noggrannhet. Höjddatan är en potentiellt stor felkälla i den här typen av modeller men på grund av den höga kvaliteten på datan som använts i den här studien bedöms höjddatan vara tillförlitlig och inte nämnvärt påverka resultaten i en felaktig riktning.

Sammanfattningsvis beträffande osäkerheter bedöms nederbörden vara den största enskilda osäkerheten. Ledningsnätets kapacitet bedöms dessutom vara en stor felkälla. Markens infiltrationskapacitet bedöms ha mindre påverkan på resultaten. Evaporation och höjddata bedöms inte nämnvärt ha påverkat resultaten i felaktig riktning.

Sist men inte minst bör det lyftas fram att en modell aldrig kan ge en exakt bild av verkligheten. Alla modeller är i grunden förenklingar av verkliga scenarion och kan innehålla fler eller färre parametrar och mer eller mindre noggranna indata beroende på modellens syfte och önskad detaljgrad. Ju mer komplex en modell blir desto större blir antalet potentiella felkällor medan en alltför enkel modell kanske inte ger en tillräckligt noggrann bild av verkligheten. I slutänden handlar förmodligen mycket om kunskap och erfarenhet samt att veta vad man förväntar sig för typ av resultat när det kommer till att skapa en effektiv och, för ändamålet, korrekt modell. I fallet Husensjö var modellens främsta mål att visa var vattnet ansamlas vid ett kraftigt skyfall, vilka vägar vattnet tar samt hur mycket vatten som behöver omhändertas. Hade målet istället varit att ange exakta vattennivåer i varje punkt hade några av de tidigare nämnda exkluderade parametrarna förmodligen behövt utvärderas vidare för att ge ett tillräckligt noggrant svar.

En intressant diskussionsfråga är huruvida den tidigare utförda GIS-karteringen kan mäta sig med en kartering utförd i MIKE 21. I figur 7.1 nedan presenteras skyfallskarteringen i GIS (t.v.) och skyfallskarteringen i MIKE 21 (med ledningsnät i mitten, och utan ledningsnät t.h.). Det blir snabbt uppenbart att de blåa områdena är betydligt mindre i GIS-karteringen. Det är naturligt då GIS inte tar hänsyn till något vatten utan enbart jobbar med att fylla upp sänkor i topografin och därmed endast kan ange områden där vatten bör ansamlas. MIKE 21 å andra sidan tar hänsyn till vilka mängder nederbörd som faller och hur vattnet rinner genom området. Trots att man ser relativt mycket likheter mellan GIS-karteringen och modellen med ledningsnätet bör inte den förhastade slutsatsen dras att GIS-karteringen kan ersätta modellen.

I vissa scenarier kan likheterna vara slående medan i andra kanske skillnaden är alldeles för stor för att GIS-karteringen ska komma till någon vidare praktisk nytta



Figur 7.1 – Jämförelse mellan skyfallskartering i GIS (t.v.) i MIKE 21 med ledningsnät (mitten) och MIKE 21 utan ledningsnät (t.h.) © Lantmäteriet [I2014/00579].

Slutsatsen blir att en GIS-kartering förmodligen kan göra en duglig analys i en eventuell förstudie när det kommer till att identifiera problemzoner i ett större område men att ett kraftfullare verktyg såsom MIKE 21 krävs när man vill få en detaljerad bild av dessa problemområden vid extrema skyfall.

7.2 Ytanspråk för kompakta dagvattenlösningar

Lösningarna som presenterats i sektion 6.2 om omhändertagen volym per m² ytanspråk valdes ut för att de bedömdes vara kompakta och skulle kunna integreras väl i en urban statsmiljö. Helt säkert hade fler lösningar kunnat inkluderas i urvalet; t.ex. mångfunktionella ytor som vid torrt väder har ett annat syfte (lek, rekreation etc.). Dock var det svårt att uppskatta en omhändertagen volym per m² för just den typen av lösningar vilket gjorde att de inte finns representerade i tabell 6.4.

Många antaganden gjordes för att försöka definiera storlek och dimensioner för lösningarna. Med tanke på hur många olika sätt de olika lösningarna kan utformas på är det frågan om det går att klart definiera någon typ av standardutförande. Genom en omfattande litteraturstudie gjordes ett försök att finna branschstandarder eller standardutföranden.

I undersökning jämförs främst omhändertagen volym per m² yta vilket på många sätt är ett lite oprecist sätt att ranka olika lösningar. För det första utgår måttet från hur stort utrymme en lösning tar. Det är inte säkert att hur stort utrymme en lösning tar är ett klart mått på hur väl den kan integreras i stadsmiljön och således hur ”effektiv” lösningen är. I och med att de olika lösningarna tar olika typer av ytor i anspråk blir det svårt att direkt jämföra ytanspråket. För att nämna några exempel så tar gröna tak inte ytor i anspråk som upptas för någon annan aktivitet, parkeringsplatser och cykelvägar kan anläggas som permeabla markytor, underjordiska magasin kan byggas under andra ytor. På olika sätt kan alla de olika lösningarna integreras väl i stadsmiljön och det finns situationer då argumentet kan göras att ytanspråket är noll för flera om inte samtliga lösningar som jämförts i den här rapporten. Ytterligare en sak som inte bör förbises är att det finns många mervärden för de olika lösningarna. Beroende på vilka syften som prioriteras främst när ett område exploateras kan vissa lösningar ge positiva effekter på flera områden än bara omhändertagande av dagvatten. Det är därför viktigt att en sammantagen utvärdering görs när en öppen dagvattenlösning ska väljas.

En viktig detalj som inte har utretts i den här rapporten är kostnaden för de olika dagvattenlösningarna. I och med exkluderandet av den aspekten blir utvärderingen mindre relevant ur ett ekonomiskt perspektiv när man vill jämföra de olika lösningarna. T.ex. så är underjordiska magasin mycket effektivare än de andra lösningarna men troligen också betydligt mycket dyrare att implementera.

Lösningarnas ansatta dimensionering och därmed ytanspråk är till viss del anpassat efter lokala förhållanden, främst genom att två aspekter har anpassat hur mycket volym lösningarna kan omhänderta. Dels grundvattennivån vilket påverkar hur djupt vissa lösningar har bedömts kunnat byggas, dels markens permeabilitet vilken påverkar mängden vatten som tillåts infiltrera. Hade dessa parametrar istället anpassats efter en plats med andra hydrogeologiska egenskaper istället för de lokala förhållandena i Husensjö hade utfallet av undersökningen troligen blivit ett annat.

I och med svårigheterna kring att bestämma en dimensionering som är representativ för respektive lösning hade undersökningen kunnat utformas så att ett antal redan byggda lösningar runt om i Helsingborg undersöktes. Det hade kunnat ge en bild av vad som går att förvänta sig om liknande lösningar hade byggts i Husensjö men det är tveksamt om det hade gjort de olika lösningarna mer jämförbara med varandra.

För att förbättra undersökningen hade det varit önskvärt att kunna ställa de olika lösningarnas mervärden mot varandra. Dessutom hade det varit bra att jämföra kostnaden för att bygga de olika lösningarna. Det hade också varit önskvärt med en bättre definition av ytanspråket. T.ex. hade det kunnat definieras som användningen av bara vissa typer av ytor. Då hade man kunnat ange ett ytanspråk i förhållande till gröna ytor, ett ytanspråk i förhållande till parkeringsytor och ett ytanspråk i förhållande till bebyggelse etc. Mångfunktionaliteten kunde på så sätt bättre avspeglas i ytanspråket genom att visa att vissa ytor fyller mer än ett syfte och endast konkurrerar om plats med vissa andra ytor. T.ex. konkurrerar inte permeabla markytor nödvändigtvis om plats med parkeringsplatser men däremot är det svårare att kombinera gröna ytor med permeabla markytor.

7.3 Implementering av kompakta dagvattenlösningar i Husensjö

När ledningsnätet inte tas med i modellen är resultaten tydliga, de kompakta lösningarna tar inte hand om tillräckligt stora mängder vatten för att dagvattenhanteringen i området ska kunna lösas enbart med hjälp av kompakta lösningar. De ytor som krävs är så pass stora att även om den mest effektiva lösningen, underjordiska magasin, används så krävs att nästan all tillgänglig mark utnyttjas för dagvattenhantering.

För scenariot där ledningsnätet tas med i modellen ser situationen något bättre ut. Svackdiken, regnbäddar, permeabla markytor och underjordiska magasin fördröjer tillräckliga mängder vatten på de ytor som bedömts vara tillgängliga. Däremot bedöms det vara orimligt att täcka så stora ytor som är nödvändigt med regnbäddar, svackdiken och permeabla markytor. Underjordiska magasin har ett betydligt mycket lägre ytanspråk men implementering kan bli dyrt om lösningen ska användas i hög utsträckning.

När det gäller gröna tak och förvaring på gator bedöms de, sett till omhändertagen volym per m², i sig inte utgöra effektiva lösningar för att omhänderta större volymer. Speciellt de extensiva gröna taken bedöms ha en alldeles för liten påverkan för att det ska vara försvarbart att använda enbart den lösningen för just dagvattenhantering. De intensiva gröna taken och

fördröjningen på gata bidrar också i relativt liten utsträckning men har andra fördelar som gör att de kan vara intressanta att titta närmare på.

Fördröjningen på gata är en mycket billig åtgärd då det ofta är räcker med att installera en strypningsplåt på en dagvattenbrunn för att implementera den. Däremot är det viktigt att lösningen implementeras på vägar där vattnet kommer att rinna vidare på ytan utan ökad risk för översvämning av närliggande bebyggelse. Farthinder kan också vara önskvärt att installera som en del av fördröjningen på gata, oberoende av dagvattenhanteringen, för att hålla hastigheten nere i områden där barn rör sig. Dock bör aktsamhet med den begränsade framkomligheten för utryckningsfordon som ett farthinder medför vidtas.

Intensiva gröna tak har den stora fördelen att de inte tar någon fri yta i anspråk. De placeras på en yta som inte utnyttjas för någon annan aktivitet och kan därmed anses ha det minsta ytanspråket av alla lösningar. Dessutom har gröna tak fördelar när det gäller energieffektivisering, biologisk mångfald och ur ett PR-mässigt perspektiv för att ge ett område en mer ”grön” profil. Sammantaget kan det göras att gröna tak är intressanta, speciellt då åtgärden inte konkurrerar om utrymme på samma sätt som andra dagvattenlösningar. Dock är det fortfarande en ekonomisk fråga, men om tillräckligt stora besparingar kan uppnås kring energieffektivisering på grund av takens värmeisolerande förmåga är det möjligt att åtgärden kan betraktas som mindre kostsam i jämförelse med andra lösningar. Det är dock något som hade behövt utredas innan beslut om implementering av åtgärden.

Sammantaget görs bedömningen att det på grund av mycket höga ytanspråk anses orimligt att använda enbart de kompakta lösningarna för att sköta dagvattenhanteringen i Husensjö. Speciellt om den verkliga situationen ligger närmare scenariot utan ledningsnät då översvämningarna blir mycket kraftiga i hela området. Istället bör en kombination av kompakta lösningar och större och mer omfattande lösningar som t.ex. ett öppna dagvattenmagasin väljas. De två gräsytorerna i sydvästra hörnet av Husensjö bedöms särskilt intressanta för ändamålet då de ligger i lågpunkter inom Husensjö och stora mängder vatten ansamlas där (se figurer i sektion 6.1). Hade grönområdena fyllts igen och bebyggt hade vattennivåerna i Husensjö med största sannolikhet varit betydligt högre. Arean av de två områden är ca 14 000 m² (arean beräknades med hjälp av ArcGIS). Om områdena skulle ha sänkts med en meter hade ytterligare 14 000 m³ kunnat fördröjas (alltså ca 44 % av volymen som enligt modellen översvämmar Husensjö då ledningsnätet är inkluderat i beräkningarna). En slutsats som kan dras av detta är att vid en förtätning av Husensjö bör dessa parkytor lämnas orörda av bebyggelse i största möjliga utsträckning för att istället eventuellt sänkas alternativt rustas upp genom implementering av större öppna dagvattenmagasin eller lösningssambinationer.

En fråga är huruvida allt vatten i Husensjö måste omhändertas eller om ytterligare delar av området kan tillåtas översvämmas utan några större materiella skador. Det skulle medföra att en mindre volym vatten hade behövt omhändertas och att det totala ytanspråket överskattats. En annan osäkerhet kring volymen i området är att ledningsnätets inverkan är svår att uppskatta. Det finns faktorer som kan resultera i att mer vatten förs bort av ledningsnätet jämfört med beräkningarna i rapporten och faktorer som resulterar i att mindre vatten förs bort. Se sektion 7.1 för en mer utförlig diskussion om ledningsnätet.

I och med att Husensjö är ett instängt område är också problemen värre här än i många andra områden där tillrinningen inte är lika stor och där det finns möjligheter för ytavrinning att lämna området. Det kan därför vara bra att inte dra för långtgående och generella slutsatser om kompakta lösningars betydelse för dagvattenhantering i urbana områden baserat på

bedömningen i den här rapporten. Om situationen såg annorlunda ut hade kanske kompakta lösningar varit tillräckligt för att klara hela dagvattenhanteringen.

I rapporten har lösningarna främst utvärderats utifrån perspektivet att en enda aktör, i det här fallet Helsingborgs stad, skulle implementera lösningarna i området. I framtiden är det möjligt att privata fastighetsägare kommer att ha större incitament eller skyldigheter att ta hand om sitt dagvatten vilket skulle kunna innebära att småskaliga lösningar implementeras i tillräckligt stor grad för att hantera stora skyfall. Det bör ligga i fastighetsägarnas eget intresse att vidta åtgärder för att motverka källaröversvämningar men i nuläget finns en problematik kring vem som bär ansvaret att vidta förebyggande åtgärder.

Sammanfattningsvis visar resultaten att det troligtvis kommer att bli omfattande översvämningar i området vid ett kraftigt skyfall och att enbart kompakta lösningar inte är tillräckligt för att omhänderta de volymer som krävs. Dock kan de kompakta lösningarna implementeras på små ytor där det inte är möjligt att placera några större lösningar. Det gör att de kompakta lösningarna fortfarande kan fylla en viktig funktion men bör kombineras med några större lösningar. Husensjö är på många sätt ett utsatt område vid skyfall men några positiva aspekter kan vara värda att nämnas. Det finns ett flertal gröna ytor som ligger i topografiskt tillräckligt gynnsamma lägen för att utnyttjas till dagvattenhantering. Jordlagren i Husensjö bör i viss utsträckning bestå av sand vilket kan ge bättre förutsättningar för infiltration. Dessutom har undersökningen av öppna dagvattenlösningar utgått från att implementeringen enbart ska ske innanför området Husensjö. I och med att Husensjö ligger i en topografisk lågpunkt är tillrinningen stor från kringliggande områden. Det gör också att stora möjligheter finns att implementera lösningar i områden runt Husensjö och på så sätt minska mängden ytavrinning som når området. Vidare är det också möjligt att kompakta lösningar hade varit tillräckligt i ett mindre utsatt område än Husensjö.

8 Slutsatser

Resultaten från modelleringen visar att Husensjö löper stor risk att drabbas av översvämningar vid extrema skyfall. Den procentuella andelen av den totala volymen vatten i avrinningsområdet som når Husensjö är större vid högre nederbördsmängder. En överskattning av ledningsnätets kapacitet kan således medföra extra stora risker i Husensjö då konsekvenserna snabbt blir värre vid ökad ytavrinning.

Ett antal öppna dagvattenlösningar utvärderades efter vilken mängd vatten de omhändertar i förhållande till vilket utrymme de upptar. De olika lösningarna kan rankas efter omhändertagen volym (m^3) per ytanspråk (m^2) som följer;

1. Underjordiska magasin
2. Regnbäddar
3. Permeabla markytor
4. Svackdiken
5. Gröna tak (intensiva)
6. Fördröjning på gata
7. Gröna tak (extensiva)

Beträffande huruvida enbart kompakta öppna dagvattenlösningar kan omhänderta tillräckliga mängder vatten för att klara ett extremt skyfall så är slutsatsen att det inte är möjligt i Husensjö. De kompakta lösningarna kommer att ta för mycket yta i anspråk och rekommendationen är att de kompakta lösningarna kombineras med några större lösningar. T.ex. mångfunktionella ytor på de två oexploaterade grönytorna inom området. Däremot fyller de kompakta lösningarna en funktion då de kan implementeras på ställen där större lösningar inte får plats. Därför dras slutsatsen att en kombination av stora och kompakta lösningar kan vara lämplig för att omhänderta kraftiga skyfall.

Mervärden är en viktig del av de öppna dagvattenlösningarna och beroende på vilka resultat som eftersträvas vid implementering bör de tas med i bedömningen vid valet av lösning. De flesta öppna dagvattenlösningar har någon form av mervärde – några fler och mer uppenbara än andra. Någon rangordning efter mervärden har dock inte utförts då det ansågs vara för invecklat för att falla inom ramarna av arbetet.

9 Framtida arbete

Förslag på framtida studier med utgångspunkt i examensarbetet listas nedan:

- På grund av begränsningar i examensarbetets omfattning och tidsåtgång valdes ett förenklat modelleringsförfarande som inte involverade någon datormodellering av ledningsnätet. En vidareutveckling av modellen genom att ansluta en simulering av ledningsnätet, till exempel med hjälp av programvaran MIKE URBAN, kunde därför vara av intresse i syfte att ge en mer detaljerad bild av hur vattnet rör sig och ansamlas i avrinningsområdet.
- Tabellen som jämför öppna dagvattenlösningars ytanspråk med fördröjd volym (tabell 6.4) ger i sig främst svar på de olika lösningarnas tekniska effektivitet för lokala förhållanden. En framtida studie som även uppskattade kostnad per ytanspråk hade gett fler möjligheter att jämföra de olika lösningarna. Även fler av lösningars mervärden än reningen vore intressant att inkludera i tabellen för att bättre kunna jämföra lösningarna med varandra.
- I examensarbetets diskussion talas det om definitionen *ytanspråk* och hur begreppet i vissa fall kan vara missvisande eller i alla fall mindre applicerbart på vissa lösningar än andra. I en vidare studie av ämnet hade begreppet kanske kunnat omdefinieras eller vidgas för att öka jämförbarheten mellan de olika lösningarna.
- Ett stort fokus i examensarbetet var att avgöra om kompakta lösningar var tillräckliga för att omhänderta vattenmassorna från extrema skyfall i den urbana miljön. I ljuset av slutsatserna från rapportens resultat kunde det vara intressant att ta reda på om ett fåtal icke-kompakta lösningar hade kunnat implementeras, med god effekt, i ännu icke-exploaterade grönområden. Till exempel kunde parkerna utformas som multifunktionella ytor som används för rekreation mestadels av tiden men som kan översvämmas vid kraftiga skyfall. Det hade dessutom varit intressant att undersöka kompakta dagvattenlösningar i ett område som inte är instängt och därmed undersöka om kompakta lösningar är tillräckligt för att förhindra översvämningar.

10 Referenser

Aarhus Kommune. 2011. *Permeable belægninger – med og uden membran.*

<http://www.aarhus.dk/~media/Dokumenter/Teknik-og-Miljoe/Natur-og-Miljoe/Vand/Spildevand/LAR/Afledning-af-regnvand/Andet/LAR-06-Permeabel-belaegning-03.pdf>

[Hämtad: 2015-09-04]

Aggregate Industries. 2010. *Sustainable Drainage Systems Design Guide.*

<http://www.permavoid.co.uk/Resources/AI%20SuDS%20Design%20Guide%20Jun10.pdf>

[Hämtad: 2015-12-11]

Berggreen-Clausen, S. 2011. *Strypta rännstensbrunnar– en utredning av en metod inom dagvattenhantering.* Lund: Lund University.

BG Byggros. 2015. *DIADEM 100 – Sedumtak.*

<http://www.byggros.com/sv/produkter/12000-taktradgardar-sedumtak/diadem-grona-tak-system/sedumtak-100>

[Hämtad: 2015-10-13]

Boverket. 2010. *Mångfunktionella ytor - Klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö i städer och tätorter genom grönstruktur.*

http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2010/mangfunktionella_ytor.pdf

[Hämtad: 2015-12-10]

Bäckström, M. 2002. *Grassed swales for urban storm drainage.*

Luleå: Luleå tekniska universitet

Caltrans. 2006. *Open Graded Friction Course Usage Guide.*

<http://www.dot.ca.gov/hq/esc/Translab/ormt/pdf/FrictionCourseGuide.pdf>

[Hämtad: 2015-09-04]

City of Portland, 2005a. Oregon Bureau of Environmental Services. *North Gay Avenue.*

<https://www.portlandoregon.gov/bes/article/196785>

[Hämtad: 2015-10-13]

City of Portland, 2005b. Oregon Bureau of Environmental Services. *Pervious Pavement Projects.*

<https://www.portlandoregon.gov/bes/article/77074#photos>

[Hämtad: 2015-10-13]

Dahl. 2013. *Dagvattenboken 2012-2013.*

Järfälla: Dahl Sverige AB

DHI. 2014a. *MIKE 21: Hydrodynamic Module – Step-by-step training guide.*

DHI. 2014b. *MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODL FM: Hydrodynamic Module – Step-by-step training guide.*

DHI. 2014c. *MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODL FM: Hydrodynamic Module and Transport Module – Scientific Documentation.*

- DHI. 2015a. *MIKE 21*.
<https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-21>
[Hämtad: 2015-11-16]
- DHI. 2015b. *MIKE FLOOD*.
<https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-flood>
[Hämtad: 2015-11-16]
- DHI. 2015c. *MIKE 21 – 2D modelling of coast and sea*.
https://www.mikepoweredbydhi.com/-/media/shared%20content/mike%20by%20dhi/flyers%20and%20pdf/software%20flyers/coast%20and%20sea/mbd_catextract_mike21_uk.pdf
[Hämtad: 2015-11-16]
- Eskilstuna Energi och Miljö (EEM). 2015. *Information om källaröversvämningar*.
<http://www.eem.se/dokument/VA/%C3%96versv%C3%A4mning%20Broschyr.pdf>
[Hämtad: 2015-09-04]
- Filipova, V. 2012. *Urban Flooding in Gothenburg – A MIKE 21 Study*.
Lund: Lunds Universitet
- Fors A/S. 2014. *Regnvandsanlægget i Rabalder Parken på Musicon*.
<http://roskilde-forsyning.dk/spildevand/om-spildevand/projekter/regnvandsanlaeg-musicon.aspx>
[Hämtad: 2016-01-12]
- Fridell, K. & Jergmo, F. 2015. *Regnbäddar – Biofilter för behandling av dagvatten*. Movium Fakta # 2: 2015.
http://www.movium.slu.se/system/files/news/11238/files/movium_fakta_2-2015_rangbaddar-slutlig.pdf
[Hämtad: 2015-10-10]
- Google Maps. 2016. *Google Maps: Helsingborg*.
<https://www.google.se/maps/place/Helsingborg/@56.0254291,15.9319232,5.15z/data=!4m2!3m1!1s0x46522d7a50a22925:0x4019078290e7a90!6m1!1e1?hl=en>
[Hämtad: 2016-01-18]
- Green Building Alliance. 2013. *Permeable Pavement*.
<https://www.go-gba.org/resources/green-building-methods/permeable-pavements>
[Hämtad: 2015-09-07]
- Green Roof Technology. 2015. *Intensive Green Roofs*.
<http://www.greenrooftechnology.com/intensive-green-roof>
[Hämtad: 2015-11-16]
- Gunnarsson, K. 2015. *Two-dimensional hydrodynamic modeling of overland flow and infiltration in a sustainable drainage system*.
Lund: Lund University.
- Helsingborgs stad. 2013. *Bevarandeprogram för del av Husensjö*.
Helsingborg: Helsingborgs stad.

Helsingborgs stad. 2015a. *Helsingborgs stadslexikon – Husensjö*.
<http://stadslexikon.helsingborg.se/index.php?title=Husensj%C3%B6>
[Hämtad: 2015-10-13]

Helsingborgs stad. 2015b. *Helsingborgs stads interna karttjänst – PlaneraKarta*.
Helsingborg: Helsingborgs stad.

Helsingborgs stad. 2015c. *Remissversion hösten 2015: Helsingborgs stads tekniska handbok*.
Helsingborg: Helsingborgs stad.

Helsingborgshem AB. 2014. *Kv Ella o Kv Rosa PM Geoteknik, projekteringsunderlag*.
Helsingborg: Helsingborgshem

Hernebring, C., Milotti, S., Steen Kronborg, S., Wolf, T. & Mårtensson, E. 2015. *Skyfallet i Sydvästra Skåne 2014-08-31 fokuserat mot konsekvenser och relation till regnstatistik i Malmö*. Tidskriften vatten 71: 85–99.

International Stormwater BMP Database. 2014. *International Stormwater Best Management Practices (BMP) Database Pollutant Category Statistical Summary Report – Solids, Bacteria, Nutrients and Metals*.
http://www.bmpdatabase.org/Docs/2014%20Water%20Quality%20Analysis%20Addendum/BMP%20Database%20Categorical_StatisticalSummaryReport_December2014.pdf
[Hämtad: 2015-12-11]

Johnson, Peter A. 2008. *Green Roof Performance Measures*.
http://doee.dc.gov/sites/default/files/dc/sites/ddoe/publication/attachments/Green_Roof_Performance-05-04-2009.pdf
[Hämtad: 2015-11-24]

Klimakvarter. 2015. *Københavns første klimatilpassede byrum*.
<http://klimakvarter.dk/projekt/tasinge-plads>
[Hämtad: 2015-12-03]

Knutsson, G. & Morfeldt, C-O. 1993. *Grundvatten – Teori och tillämpning*. Stockholm: Svensk byggtjänst

Københavns Kommune. 2014. *Tåsinge Plads 2014*. Broschyr.
http://klimakvarter.dk/wp-content/uploads/2015/06/PixiT%C3%A5singePlads_2014.pdf
[Hämtad: 2015-12-03]

Lake Superior. 2005. *Underground Storage*.
<http://www.lakesuperiorstreams.org/stormwater/toolkit/underground.html>
[Hämtad: 2015-11-25]

Larm, T. 2000. *Utformning och dimensionering av dagvattenreningsanläggningar*. Stockholm: VAV AB

Larsson, H. (Landskapsgruppen). 2012. *Takparken Emporia*.
<http://www.landskapsgruppen.se/projekt/takpark-emporia/>
[Hämtad: 2015-10-16]

- Larsson, R. 2008. *Jords egenskaper*.
Linköping: Sveriges geotekniska institut
- Länsstyrelsen. 2015. *2015:17 Skyfallskartering i GIS*. Jönköping: Länsstyrelsen i Jönköping
- Moreton Bay Waterways and Catchments Partnership (MBWCP). 2006. *Water sensitive Urban Design – Technical Design Guidelines for South East Queensland*
- Munkedal kommun. 2015. *Översvämning*.
<http://www.munkedal.se/krisochsakerhet/vardagssakerhet/oversvamning.4.60594a2b1177c71fa938000503.html>
[Hämtad 2015-09-04]
- Musicon. 2012. *At koble et regnvandsbassin og en aktivitetspark*.
http://www.urban-transition.org/sites/all/files/page_files/urban_transition_forum_rabalder_parken_show.pdf
[Hämtad: 2015-12-04]
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). 2013. *Pluviala översvämningar, Konsekvenser vid skyfall över tätorter, En kunskapsöversikt*. Lund & Göteborg: MSB
- Myrdal, E. & Sternsen, E. 2013. *Öppet dagvattensystem för Norra Borstahusen- Modellerig med MIKE SHE med fokus på svackdikens effekter på översvänningsrisker i ett framtida bostadsområde*.
Lund: Lund University
- NC Cooperative Extension (NCCE). 2008. *Permeable Pavement: Research Update and Design Implications*.
<http://www.bae.ncsu.edu/stormwater/PublicationFiles/PermPave2008.pdf>
[Hämtad: 2015-09-03]
- NC Cooperative Extension (NCCE). 2011. *Maintaining Permeable Pavements*.
<http://www.bae.ncsu.edu/stormwater/PublicationFiles/PermPaveMaintenance2011.pdf>
[Hämtad: 2015-09-03]
- NSVA. 2015. *Dagvattenpolicy Helsingborg*.
http://www.nsva.se/globalassets/dokument/dagvattenpolicy/nsva_dagvattenpolicy_helsingborg.pdf
[Hämtad: 2015-09-07]
- Olsson, J. & Foster, K. 2014. *Short-term precipitation extremes in regional climate simulations for Sweden: historical and future changes*.
Hydrology Research 45 (3): 479 – 489.
- Optigreen. 2014. *Garden Roof Solution 1*.
<http://www.optigreen.com/system-solutions/garden-roof/solution-1>
[Hämtad: 2015-11-16]
- Petterson, S; Översiktsplanearkitekt på stadsbyggnadsförvaltningen, Helsingborgs stad. 2016.
E-mail 22 Jan.

Poltronieri, N. n.d. med tillåtelse av Cubic Solutions Pty Ltd (Aus) and Microstrain Ltd (Ireland).

<http://adswater.com.au/applications/stormwater-management/>

[Hämtad: 2016-01-15]

Ranade, A. 2012. *Building-Integrated Vegetation: Redefining the Landscape or Chasing a Mirage?*

http://web.luxresearchinc.com/hs-fs/hub/86611/file-443815855-pdf/SBM_2014_SMR_sample.pdf

[Hämtad: 2015-10-16]

Roskilde forsyning. 2014a. *Regnvandsanlægget i Rabalder Parken på Musicon.*

<http://roskilde-forsyning.dk/spildevand/om-spildevand/projekter/regnvandsanlaeg-musicon.aspx>

[Hämtad: 2015-12-04]

Roskilde forsyning. 2014b. *Det rekreative Musicon.*

<http://roskilde-forsyning.dk/spildevand/om-spildevand/projekter/regnvandsanlaeg-musicon/det-rekreative-musicon.aspx>

[Hämtad: 2015-12-04]

Roskilde forsyning. 2014c. *Nyskabende regnvandsanlæg.*

<http://roskilde-forsyning.dk/spildevand/om-spildevand/projekter/regnvandsanlaeg-musicon/nyskabende-regnvandsanlaeg.aspx>

[Hämtad: 2015-12-04]

SMHI. 2010. *Klimatindikatorer – Nederbörd.*

<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/nederbord/klimatindikator-nederbord-1.2887>

[Hämtad: 2015-11-03]

Stahre, P. 2004. *En långsiktigt hållbar dagvattenhantering – Planering och exempel.*

Malmö: Svenskt Vatten

Stahre, P. 2006. *Sustainability in Urban Stormwater Drainage.*

Bromma: Svenskt Vatten.

Stahre, P. 2008. *Blue-green fingerprints in the city of Malmö, Sweden.*

Malmö: VA SYD.

Stockholm Vatten. 2015. *Dagvattenstrategi – Stockholms väg till en hållbar dagvattenhantering.*

http://www.stockholmvatten.se/globalassets/pdf1/avloppsvatten/dagvatten/stockholms-dagvattenstrategi_webb2015-03-09.pdf

[Hämtad: 2016-01-14]

Svenskt Vatten. 2006. Stahre, P. *Sustainability in urban storm drainage – planning and examples.* Stockholm: Svenskt Vatten AB

Svenskt Vatten. 2007. *Klimatförändringarnas inverkan på allmänna avloppssystem, Underlagsrapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen.* Stockholm: Svenskt Vatten AB

Svenskt Vatten. 2011b. *P104: Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem*. Stockholm: Svenskt Vatten AB

University of Florida. 2008. *Permeable Surfaces*.
http://buildgreen.ufl.edu/Fact_sheet_Permeable_Surfaces.pdf
[Hämtad: 2015-09-03]

University of Maryland. 2011. *Permeable Pavement Fact Sheet – Information for Howard County, Maryland Home Owners*.
https://extension.umd.edu/sites/default/files/docs/programs/master-gardeners/Howardcounty/Baywise/PermeablePavingHowardCountyMasterGardeners10_5_11%20Final.pdf
[Hämtad: 2015-09-03]

USEPA. 1999a. *Storm water Technology Fact Sheet – Vegetated Swales*.
http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2002_06_28_mtb_vegswale.pdf
[Hämtad: 2015-09-03]

USEPA. 1999b. *Storm Water Technology Fact Sheet – Porous Pavement*.
<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=91018M1N.TXT>
[Hämtad: 2015-12-14]

USEPA. 2000. *Street Storage System for Control of Combined Sewer Surcharge*.
U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.

USEPA. 2001. *On-Site Underground Retention/Detention*.
Washington DC: Office of Water.

USEPA. 2014a. *Bioretention (Rain Gardens)*.
<http://water.epa.gov/polwaste/npdes/swbmp/Bioretention-Rain-Gardens.cfm>
[Hämtad: 2015-09-14]

USEPA. 2014b. *Green Roofs*.
<http://water.epa.gov/polwaste/npdes/swbmp/Green-Roofs.cfm>
[Hämtad: 2015-10-13]

USEPA. 2014c. *Permeable Interlocking Concrete Pavers*.
<http://water.epa.gov/polwaste/npdes/swbmp/Permeable-Interlocking-Concrete-Pavement.cfm>
[Hämtad: 2015-09-07]

USEPA. 2014d. *Pervious Concrete Pavement*.
<http://water.epa.gov/polwaste/npdes/swbmp/Pervious-Concrete-Pavement.cfm>
[Hämtad: 2015-09-04]

USEPA. 2014e. *Water: Best management practices – Grassed Swales*.
<http://water.epa.gov/polwaste/npdes/swbmp/Grassed-Swales.cfm>
[Hämtad: 2015-09-03]

USEPA. 2015. *Costs and Benefits of Storm Water BMPs*.
http://www3.epa.gov/npdes/pubs/usw_d.pdf
[Hämtad: 2015-11-20]

Vatteninformationssystem Sverige (VISS). 2015. *Svackdiken*.
<http://viss.lansstyrelsen.se/Measures/EditMeasureType.aspx?measureTypeEUID=VISSMEASURETYPE000787>
[Hämtad 2015-09-03]

Vinnova. 2014. *Grågröna systemlösningar för hållbara städer*.
http://www.greenurbansystems.eu/sv/resultat/Documents/GrGr_WP4_Inventering%20av%20dagvattenl%C3%B6sningar%20f%C3%B6r%20urbana%20milj%C3%B6er%20ink%20bilagor.pdf
[Hämtad: 2015-10-09]

Virginia. 2010. *DCR Stormwater Design Specification No. 9*.
http://www.vwrrc.vt.edu/swc/april_22_2010_update/DCR_BMP_Spec_No_9_BIORETENTION_FinalDraft_v1-8_04132010.htm
[Hämtad: 2015-11-24]

Vägverket. 2008. *VVMB 310 – Hydraulisk dimensionering*.
ISSN: 1401-9612, Borlänge: Vägverket

Västvatten. 2014. *Viktigt att veta om översvämningar*.
<http://vastvatten.se/download/18.4fe30d9b1483571f61ca4233/1411730080819/Viktigt+att+veta+om+%C3%B6vers%C3%A4mningar+V%C3%A4stVatten.pdf>
[Hämtad: 2015-09-04]

Walesh, S. 1999. *Street Storage System for Control of Combined Sewer Surcharge - Retrofitting Stormwater Storage Into Combined Sewer Systems*.
U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati OH.

Wallinder, S. 2015. *Skyfall över Västerås – en konsekvensstudie*.
Uppsala: Uppsala Universitet

Water Environment Research Foundation (WERF). 2008. *Hydrologic Bioretention Performance and Design Criteria for Cold Climates*.
http://www.ndwrmdp.org/research_project_04-DEC-13SG.asp
[Hämtad: 2015-10-01]

Widarsson, L-E; VA-ingenjör på NSVA. 2016. E-mail 1 Feb.

Wiktorp Konsult & Trading AB. 2015.
<http://www.wiktorp.se/images/produkter/dagvattenkassett.jpg>
[Hämtad: 2015-11-25]

WSUD Denmark. 2015. *Infiltration and Drainage of Stormwater on Tåsinge Square, Copenhagen*.
<http://wsud-denmark.com/infiltration-and-drainage-of-rainwater-on-taasinge-square-copenhagen/about-the-idea/36351,2>
[Hämtad: 2015-12-03]

Appendix A – Utökade metodiktexter

A1 – GIS

Avrinningsområde

För att bestämma Husensjöns avrinningsområde analyserades ett större område i ArcGIS. Området finns bland annat markerat i figur 6.1 med en röd linje. Indata till analysen var höjddata från lantmäteriets laserscanning i rasterformat med 2x2 m upplösning och fastigheter i området i vektorformat (från lantmäteriet).

1. Det första steget utfördes med funktionen *fill* som när den appliceras på den obearbetade höjddatan fyller ut instängda områden i höjdmodellen och sedan skapar ett nytt raster med en "utslätad" höjdmodell.
2. Det nya "fyllda rastret" subtraherades sedan från höjdmodellen vilket gav ett nytt raster där alla instängda celler fick ett negativt värde där storleken berodde på hur lågt området låg i förhållande till kringliggande punkter. Det gav en bild över vilka områden som är instängda om således riskerar översvämmas.
3. I nästa steg analyserades flödesvägarna genom att funktionen *flow direction* utnyttjades. Input till funktionen var det "fyllda rastret" från steg 1. Output från funktionen är ett raster som i varje cell visar i vilken riktning vattnet flödar i punkten.
4. Funktionen *flow accumulation* applicerades på rastret från punkt 3. Input är ett flow direction raster och output är ett raster med ett värde som beskriver hur mycket flöde som ackumuleras i varje cell.
5. Funktionen *greater than equal* användes sedan där input är flow accumulation rastret från steg 4 som jämfördes med den obearbetade höjddatan. Output är ett raster med värdet 1 i alla celler där flow accumulation-rastret har ett högre värde än rastret med den obearbetade höjddatan och värdet 0 i alla andra celler.
6. Funktionen *stream link* användes där input är rastret från steg 5. Output är ett raster som ger varje "länk" rinnvägarna ett unikt id genom uppdelning vid varje punkt där rinnvägarna förgrenas.
7. För att avgöra storleksordning på rinnvägarna användes funktionen *stream order* som ger varje gren av rinnvägarna ett värde beroende på hur många uppströms grenar som bidrar med flöde. Output är ett nytt raster där samtliga grenar i samtliga rinnvägar har klassificerats efter vilken storleksordning de har.
8. Verktuget *watershed* användes härnäst där input är flow direction rastret från steg 3 samt en "pour point". Det är punkt som placeras längst nedströms i avrinningsområdet. Punkten identifieras genom att hitta den gren i nätverket som har högst stream order-värde (i output rastret från punkt 7). Output är ett raster där värdet i alla celler inom avrinningsområdet är 0 och NoData i övriga punkter.
9. Modellområdet definierades sedan genom att en linje ritades ut på ett godtyckligt avstånd strax utanför avrinningsområdets gränser.

10. Modellens gräns konverterades från linje till punkter med verktyget *feature to point* som kan skapa ett nytt vektorlager med punkter på en linje.

11. Punktlagret från 10 fick x- och y-koordinater genom att funktionen *add XY-coordinates* användes.

12. Punkterna exporterades som textfil och konverterade till en .xyz-fil.

Höjddata

1. För att kunna exportera hanterbar höjddata till Mike Zero importerades först höjddata till ArcGIS i rasterform.

2. Samtliga fastigheter i området importerades till ArcGIS i form av vektordata där husen angavs som polygoner. Genom funktionen *polygon to raster* konverterades vektorlagret till ett raster.

3. Funktionen *Reclassify* användes sedan för att skapa ett nytt raster. Det nya rastret baserades på rastret från punkt 2 (som visar samtliga fastigheter i området) men i det nya rastret fick celler där bebyggelse förekom värdet 1 och celler där bebyggelse inte förekom värdet 0.

4. Rastret med fastigheterna adderades till rastret som visade höjddatan i området så att samtliga celler med bebyggelse i höjdrastret blev upphöjda med en meter.

5. Genom funktionen *raster to point* skapades ett lager punkter med samma upplösning som höjdrastret. Genom att använda funktionen *clip* med modellområdet i polygonform som yttre gräns isolerades de punkter som låg inom modellområdet.

6. Höjdangivelserna i varje punkt exporterades sedan som textfil och sparades som en .xyz-fil för att kunna läsas in i MIKE Zero.

Mannings nummer

För att avgöra hur ytans råhet varierade inom modellområdet skapades en fil med en angivelse av *mannings M* i varje punkt inom avrinningsområdet genom att ett flygfoto över området analyserades med hjälp av redskapet *image classification*.

1. Verktyget *maximum likelihood classification* användes i form av en *supervised image classification*. 7 st klasser (typer av områden med distinkt olika utseende på flygfotot) definierades:

1. Gräs
2. Träd
3. gator
4. grå tak
5. röda tak
6. bruna tak
7. Skuggor

För varje klass identifierades ca 20 sk. *training areas* vilka programmet använder som exempel för att identifiera vilka områden som hör hemma i vilken klass.

Input till funktionen var ett flygfoto över området och en fil med *training areas*, Output ett raster med värde 1-7 i varje cell beroende på vilken typ av område cellen tillhörde.

2. Med hjälp av verktyget *nibble* minskade antalet klasser till 6 genom att klassen skuggor försvann. Verktyget fungerar så att alla celler med ett visst värde (i det här fallet 7) byter värde baserat på närliggande celler. Input var raster från punkt 1 samt ett raster med enbart klassen skuggor markerat och output ett raster med värde 1-6 i varje cell beroende på vilken typ av område cellen tillhör.

3. Funktionen *boundary clean* användes för att släta ut gränser mellan olika klasser och eliminera enstaka isolerade pixlar.

Den resulterande klassifikationen jämfördes mot flygfotot och bedömdes överensstämma tillräckligt väl med detta.

4. Genom att använda verktyget *reclassify* skapades ett nytt raster där varje cell fick värdet 25 för en grön yta (gräs och träd) och 80 för en hårdgjord yta (gator, gråa tak, röda tak och bruna tak).

Filen exporteras slutligen som en ASCII-fil för att kunna importeras i MIKE 21.

Visualisering av resultat

Från MIKE 21 exporterades två vektorfiler i polygon-format med en polygon för varje cell i det triangulära rutnätet som använts som beräkningsmodell i MIKE 21.

Vattendjup

En fil exporterades från MIKE 21 som innehöll information om vattendjupet vid modellens sista tidssteg för varje cell.

1. Verktyget *polygon to raster* användes där ett raster med upplösningen 2x2 m skapades och varje cell fick samma värde som polygon-lagret med information om vattendjupet i varje cell.

2. De olika vattendjupen visualiserades genom att alla djup under 0.1 m inte visades. Tre nyanser av blått användes sedan för att särskilja de övriga djupen.

Flödes hastighet och riktning

1. Först importerades vektordata (i form av polygoner) över flödes hastighet och riktning från MIKE 21 där flödes hastigheten angavs i m/s och riktning anges som vinkeln i grader från norr i medurs riktning. Data konverterades till två separata raster med upplösningen 2x2 m med hjälp av verktyget *polygon to raster*.

2. Rastret för flödes riktning konverteras till ett punktlager med hjälp av verktyget *raster to point*.

3. För att även ge punkterna data om flödes hastigheten hämtades attributet från det tidigare skapade rastret för flödes hastighet. Det gjordes med hjälp av verktyget *extract values to points*.

4. För att åskådliggöra var vattnet flödade och hur vattnet flödade visualiserades punkterna som pilar. Pilens riktning angav flödesriktning och beroende på hastighetens storlek i punkten fick pilen röd, orange eller gul färg samt olika storlek.

Beräkning av total volym

1. Två nya polygon-lager skapades i ArcGIS, en polygon som täckte Husensjö och en polygon som täckte hela avrinningsområdet.

2. Med hjälp av verktyget *raster calculator* skapades ett nytt raster där vattendjupet multiplicerades med arean av varje cell i rastret. Ett nytt raster skapades således med volymen vatten i varje cell.

3. Med hjälp av verktyget *zonal statistics as table* undersöktes det nya rastret från punkt 2. Masken som användes var först polygonen som täckte hela avrinningsområdet och sedan polygonen som täckte Husensjö. Output var en tabell där samtliga cellers värden summerades vilket resulterade i den totala mängden vatten som ansamlats i Husensjö respektive avrinningsområdet i sista tidssteget. Volymen som ansamlats i hela avrinningsområdet jämfördes med den totala volymen nederbörd som använts som input till modellen och bedömdes överensstämma väl.

A2 – MIKE 21

Mesh och höjddata

Som första steg i modelleringsprocessen skapades en tom *MIKE ZERO Mesh Generator*-fil i *Mesh Generator* under *MIKE ZERO*. För att avgränsa modellområdet importerades därefter den fil med koordinater över modellens utkanter som skapades i GIS i ett tidigare skede.

Utifrån den importerade avgränsningen skapades en polygon med ett antal vertex. Dessa omfördelades med funktionen *Redistribute Vertices* till ett avstånd på 1.8 meter för att bättre matcha det planerade meshet.

Med utgångspunkt i den avgränsande polygonen genererades ett mesh med en maximal cellarea på 2 m² och en minsta inre cellvinkel på 30°. Funktionen *smooth mesh* användes (100 iterationer).

Under *Manage Scatterdata* importerades sedan den tidigare genererade *.xyz*-filen över områdets höjddata. Utifrån den importerade höjddatamodellen interpolerades sedan meshet så att varje cell fick ett höjdvärde tilldelat.

Det interpolerade meshet exporterades sedan som ostrukturerad *.mesh*-fil för att senare kunna öppnas i körfilen.

Mannings nummer

Förutom ett mesh behöver modellen även ett lager som beskriver Mannings nummer i varje given punkt. För detta kördes en ny fil, *MIKE ZERO Toolbox*, från vilket verktyget *GIS – Grd2MIKE* valdes. Verktyget lotsar användaren genom en process där den i GIS tidigare

skapade ASCII-filen över områdets ytlager läses in. Verktøget gav sedan utdata i form av en *.dfs2*-fil som senare användes som indata vid körning av modellen.

Körfil

För att kunna utföra en simulering skapades en ny körfil där meshfilen, manningsfilen samt regndata lästes in och ytterligare beräkningsparametrar justerades. För full parameterförteckning se tabell A1 nedan. Efter införda parametrar och indata kördes modellen för det givna tidssteget och tidsintervallet vilket motsvarar en simulering av malmöregnet 31 augusti 2014 som pågår under de första 6 timmarna av modelltiden samt ytterligare 3 timmar under vilka regnvattnet tilläts fortsätta rinna av. Output från körningen blev en resultatfil som visar bland annat var vattnet ansamlas samt flödes hastighet och riktning.

Tabell A1 – Fullständig förteckning över modellens ingående data och parametervärden.

Kategori:	Parameter:	Värde/indata:
Domain	Mesh file	Den tidigare skapade <i>.mesh</i> -filen
Time	No. of time steps	2880
	Time step interval [sec]	30
Module Selection	Module Selection	<i>Hydrodynamic</i>
Solution	Time integration	<i>Low order, fast algorithm</i>
Technique	Space discretization	<i>Low order, fast algorithm</i>
	Minimum time [sec]	0.005
	Maximum time [sec]	0.5
	Critical CFL number	0.5
Depth	Depth correction type	<i>No depth correction</i>
Flood and Dry	Drying depth [m]	0.005
	Flooding depth [m]	0.3
	Wetting depth [m]	0.05
Density	Density type	<i>Barotropic</i>
Eddy Viscosity	Eddy type	<i>Smagorinski formulation</i>
	Format	<i>Constant</i>
	Constant value	0.28
	Min. eddy viscosity [m ² /s]	1.8e-006
	Max. eddy viscosity [m ² /s]	1.0e+10
Bed Resistance	Resistance type	<i>Manning number</i>
	Format	<i>Varying in domain</i>
	Data file and item	Tidigare skapade <i>.dfs2</i> -filen (mannings nr.)
Coriolis Forcing	Coriolis type	<i>Varying in domain</i>
Wind Forcing	Include	<i>[No]</i>
Ice Coverage	Type	<i>No ice coverage</i>

Tidal Potential	Include	<i>[No]</i>
Precipitation – Evaporation	Precipitation	<i>Specified precipitation</i>
	Format	<i>Varying in time, constant in domain</i>
	Data file and item	<i>.dfs0-fil med regndata</i>
Wave Radiation	Type	No wave radiation
Sources	--	--
Structures	--	--
Initial Conditions	Type	<i>Constant</i>
	Surface elevation [m]	36.6
	u-velocity [m/s]	0.0
	v-velocity [m/s]	0.0
Boundary Conditions	Format	<i>Land (zero normal velocity)</i>
Decoupling	Include	<i>[No]</i>
Outputs – Output 1	Field type	<i>2D (horizontal)</i>
	Output format	<i>Area series</i>
	Output file	Valt namn för <i>.dfsu</i> -resultatfilen
	Time step, first	0
	Time step, last	2880
	Frequency	10
	Map projection	SWEREF99_TM
	Output items	<ul style="list-style-type: none"> - Surface elevation - Total water depth - U velocity - V velocity - Q flux - Current speed - Current direction - CFL number
Outputs – Output 2	Field type	<i>Mass Budget</i>
	Output file	Valt namn för <i>.dfsu</i> -resultatfilen
	Time step, first	0
	Time step, last	2880
	Frequency	10
	Map projection	SWEREF99_TM
	Output items	Flow

Appendix B – Ledningsnätets kapacitet

Avrinningsområdet kring Husensjö avvattnas genom en 1800 mm dagvattenledning i den sydvästra delen av området. För att kunna uppskatta det maximala flödet, Q , i ledningen gjordes beräkningar enligt Mannings formel i delen av ledningen med lägst lutning, vilket bedömdes vara den begränsande faktorn. Det aktuella ledningsstycket beskrivs i tabell B1 nedan. Ledningen antas för enkelhetens skull gå full men inte vara trycksatt.

Vid arbetets slut kom nya uppgifter fram angående ledningsnätets dimensioner. De nya uppgifterna var att den dimensionerande lutningen i själva verket är 0,00175 (Widarsson, 2016). I styckena nedanför redovisas uträkningarna som utgjort dimensioneringen av ledningsnätet i modellen. I slutet av avsnittet följer en uppskattning av hur stort felet i våra uträkningar bör vara.

Tabell B1.1 – egenskaper dagvattenledning (Widarsson, 2016).

Diameter D (m)	Längd l (m)	Fallhöjd h (m)	Mannings n	Lutning (I)
1,8	78,08	0,16	0,011	0,00205*

*Den dimensionerande lutning borde i stället ha varit 0,00175

Med data från tabell B1.1 som ingångsvärden beräknades först lutningen, I , på ledningen till:

$$I = \frac{\text{fallhöjd}}{\text{längd}} = \frac{0,16}{78,08} = 0,00205. \quad (\text{B1})$$

Den hydrauliska radien, R_h , för ett rör som går fullt beräknas enligt:

$$R_h = \frac{\text{tvärsnittsarea}}{\text{våt perimeter}} = \frac{\pi \cdot r^2}{\pi \cdot d} = \frac{d^2}{4d} = \frac{d}{4} = \frac{1,8}{4} = 0,45 \text{ m}. \quad (\text{B2})$$

Därefter beräknas flödes hastigheten, v , med hjälp av Mannings formel:

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} I^{1/2} = \frac{1}{0,011} \cdot 0,45^{2/3} \cdot 0,00205^{1/2} = 2,42 \text{ m/s}. \quad (\text{B3})$$

Med vilken sedan flödet, Q , kan beräknas:

$$Q = v \cdot A = v \cdot \pi r^2 = v \cdot \frac{D^2 \pi}{4} = 2,42 \cdot \frac{1,8^2 \pi}{4} = 6,15 \text{ m}^3/\text{s}. \quad (\text{B4})$$

Med den totala arean för avrinningsområdet Husensjö på $A_{Husensjö} = 1813982 \text{ m}^2$ fås ett flöde i antal mm/dag på ytan av:

$$\frac{Q}{A_{Husensjö}} = \frac{6,15}{1813982} = 3,39 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} = 3,39 \cdot 3600 \cdot 24 \text{ m/d} = 292 \text{ mm/d} \quad (\text{B5})$$

De resulterande 292 mm/dag dras av från regnintensiteten i varje given tidpunkt i regnfilen för att kompensera för mängden vatten ledningsnätet omhändertar.

Om en lutning på 0,00175 hade använts hade det resulterat i ett flöde på $5,68 \text{ m}^3/\text{s}$ och således ett avdrag på ca 271 mm. Avdraget för ledningsnätet borde således sänkas med ca 7 % för att bättre motsvara verkligheten.

Appendix C – Populärvetenskaplig artikel

Öppna dagvattenlösningar i urbana miljöer - klarar vi skyfallen?

Klimatet är under förändring och de stora översvämningarna som drabbade Malmö i augusti 2014 är ett tydligt exempel på att samhället står inför en stor utmaning. Är öppna dagvattenlösningar svaret?

I Sverige tros nederbörden öka med hela 20-60 % fram till år 2100 till följd av ett förändrat klimat. Det gör att skyfallen kommer att bli fler och kraftigare och att våra ledningsnät kommer att svämma över oftare. Detta kan ge upphov till stora samhällskostnader – till exempel ledde översvämningarna som drabbade Köpenhamn 2011 och Malmö 2014 till skador i miljardklassen.

När ett kraftigt regn faller över en stad är det ofta områden som ligger i naturliga lågpunkter som drabbas värst. Studien i den här rapporten handlar om just ett sådant område, närmare bestämt bostadsområdet Husensjö i Helsingborg. För att undersöka risken för översvämning gjordes en datormodell där man lät ett virtuellt regn, motsvarande det som drabbade Malmö i augusti 2014, falla över området. Resultaten visade att om Malmöregnet hade hamnat över Husensjö hade följden med stor sannolikhet blivit översvämningar.

Att öka storleken på ledningsnäten för att klara så pass extrema händelser som Malmöregnet är svårt och mycket dyrt. Samtidigt kan konsekvenserna av att inte göra något bli allvarliga. Det krävs alltså ett alternativ till den traditionella lösningen, en kostnadseffektiv lösning som kan klara av de extrema regnen och samtidigt passa in i den urbana miljön som blir allt tätare bebyggd för varje år.

En tänkbar lösning är implementering av öppna dagvattenlösningar. De utgör en samling konstruktioner som syftar till att efterlikna naturens sätt att ta hand om regnvatten och implementeras generellt ovan eller nära markytan. Ofta är öppna dagvattenlösningar ett ekonomisk fördelaktigt alternativ samtidigt som många av dem kan rena regnvattnet. Dock gör deras placering ovan ytan att de konkurrerar om plats med andra viktiga strukturer i staden. Av den anledningen är det viktigt att lösningarna kan integreras effektivt i stadsmiljön. I den här rapporten gjordes en sammanställning av kompakta öppna dagvattenlösningar, alltså lösningar som kan byggas i liten skala och således passar bra in i urbana miljöer. Undersökningen syftade till att jämföra olika öppna dagvattenlösningar för att se hur effektiva de är när det gäller att förebygga översvämningar. Resultatet blev att sju lösningar rangordnades efter hur stora mängder vatten de kunde fånga. Även lösningarnas mervärden såsom vattenrening och rekreationspotential utvärderades i viss utsträckning.

Slutligen knöts modelleringen och undersökningen av de olika dagvattenlösningarna samman. Det gjordes genom att beräkna hur stora ytor som skulle krävas för att förhindra översvämning från Malmöregnet med enbart kompakta öppna dagvattenlösningar. Resultaten ledde till slutsatsen att i utsatta områden såsom Husensjö måste man även anlägga större dagvattenlösningar, till exempel dammar, för att ta hand om de största skyfallen. Därmed är det inte sagt att de kompakta dagvattenlösningarna inte fyller någon funktion. De kan enkelt integreras i tätbebyggd urban miljö och i mindre utsatta områden är det möjligt att de räcker till för att förhindra översvämningar. Resultaten från den här studien kan utgöra ett första steg i att jämföra kompakta öppna dagvattenlösningar. Vidare studier inom området bör dock även behandla faktorer såsom kostnader och en djupdykning i mervärden.