

Master Thesis
TVVR 19/5010

Hållbar dagvattenhantering med blågrön infrastruktur

En studie baserad på en uppbyggd
hydrologisk modell för Miatorp,
Helsingborg

Lydia Björnehult Korning
Lovisa Eriksson



Division of Water Resources Engineering
Department of Building and Environmental Technology
Lund University

Hållbar dagvattenhantering med blågrön infrastruktur

En studie baserad på en uppbyggd
hydrologisk modell för Miatorp,
Helsingborg

By:
Lydia Björnehult Korning
Lovisa Eriksson

Master Thesis

Division of Water Resources Engineering
Department of Building & Environmental Technology
Lund University
Box 118
221 00 Lund, Sweden

Water Resources Engineering
TVVR-19/5010
ISSN 1101-9824

Lund 2019
www.tvrl.lth.se

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

Swedish title: Hållbar dagvattenhantering med blågrön infrastruktur – En studie baserad på en uppbyggd hydrologisk modell för Miatorp, Helsingborg

English title: Sustainable stormwater management with blue-green infrastructure – A study based on a hydrological model of Miatorp, Helsingborg

Author(s): Lydia Björnehult Korning
Lovisa Eriksson

Supervisor: Johanna Sörensen, Sofia Dahl

Examiner: Magnus Larson

Language: Swedish

Year: 2019

Keywords: Blågrön infrastruktur; hydrologisk modellering; urban klimatanpassning; bräddning; dagvattenhantering

Förord

Detta examensarbete har utförts under våren och sommaren 2019 av Lovisa Eriksson och Lydia Björnehult Korning. Examensarbetet är den sista delen i vår civilingenjörsutbildning i Ekosystemteknik på Lunds tekniska högskola (LTH). Arbetet har varit ett samarbete med Nordvästra Skånes vatten och avlopp AB (NSVA) samt Teknisk vattenresurslära på LTH.

Stort tack till alla som har varit till hjälp under arbetets gång. Tack till vår handledare på LTH, Johanna Sörensen, som kom med idén till arbetet och som givit oss många goda råd och vägledning. Tack till NSVA för ert välkomnande till kontoret och tillgång till VA-banken samt egna kontorsplatser. Tack till vår handledare Sofia Dahl, som tillhandahållit oss med mätdata och viktiga synpunkter samt givit oss en branschvinkel på arbetet. Tack även till de övriga på NSVA som varit mycket hjälpsamma under arbetets gång. Tack till Salar Haghghatafshar som gav oss tillgång till mätdata från Augustenborg i Malmö. Ett sista tack till alla dem som förgyllt våra år på LTH!

Abstract

As cities grow and more impermeable areas are implemented the surface runoff increases, leading to a higher load on the pipeline network. All Swedish sewage networks have combined sewage overflows (CSOs), to relief the load on the system during heavier storms. This relief is managed by releasing untreated wastewater when the capacity of the pipeline system is reached. Along with other negative aspects, CSOs cause a decrease in bathing water quality. This master thesis focuses on a catchment area in Miatorp, a district in southern Helsingborg. Miatorp is often troubled by overflows during heavy rainfalls. The objective of the thesis is to create a hydrological model to determine how an implementation of blue green infrastructure would reduce the CSOs and flooding of Miatorp.

By combining two different models, one based on Miatorp and one based on an example catchment with blue and green infrastructure, it is investigated how blue green infrastructure contribute to the reduction of the flow in the pipeline system. The thesis also covers how much blue green infrastructure that is needed to prevent overflow in Miatorp and also which measures that could be implemented to achieve a reduction of the overflow. The model is hydrological and conceptual and is based on rain and flow data from Miatorp and from a blue green area in Augustenborg, a district in Malmö. Field observations in Miatorp were performed both before the development of the model and after the result was gained, to study which measures that could be possible in the area.

To prevent all CSOs during a 10-year event with duration 15 minutes, 97 % of the catchment needs to be converted to a similar area as Augustenborg. Suggestions of blue green infrastructure that would be suitable in Miatorp are; swales, raingardens, ponds, wetlands, permeable parking lots and sustainable handling of stormwater from rainwater downpipes. Future recommendations regarding new buildings in the area is to implement green roofs. Along with implementation of blue green infrastructure in the area a reconstruction of the pipeline system could be made, from combined to separate, which also would decrease the load on the system. The accuracy of the model would increase if more data from Miatorp and Augustenborg had been available.

Keywords:

Blue green infrastructure, hydrological modelling, urban climate adaption, CSO, stormwater runoff

Sammanfattning

När städer växer och fler hårdgjorda ytor implementeras ökar ytavrinningen vilket leder till en högre belastning på ledningsnätet. På alla Sveriges avloppsnät finns bräddningspunkter där orenat spillvatten släpps ut när belastningen på ledningsnätet blir för stor. Bräddningar kan t.ex. orsaka försämrad badvattenkvalité. Examensarbetet fokuserar på ett avrinningsområde i stadsdelen Miatorp som är beläget i södra Helsingborg. Miatorp drabbas ofta av bräddningar då ledningsnätet är hårt belastat. Syftet med examensarbetet är att bygga upp en hydrologisk modell för att avgöra hur blågrön infrastruktur kan bidra till reducering av bräddningar och översvämningar i Miatorp.

Genom att kombinera en modell baserad på Miatorp och en modell baserad på ett exempelområde med blågrön infrastruktur undersöks det om det går att avgöra hur blågrön infrastruktur reducerar flöden i ledningsnätet. Arbetet utreder också hur mycket blågrön infrastruktur som behövs för att undvika bräddningar i Miatorp samt vilka åtgärder som kan göras för att åstadkomma en reducering av bräddningarna. Den hydrologiska modellen är en konceptuell modell som är baserad på regn- och flödesdata från Miatorp och från ett blågrönt exempelområde i stadsdelen Augustenborg i Malmö. Fältobservationer i Miatorp utfördes både inför uppbyggnaden av modellen samt efter resultatet erhållits för att undersöka vilka åtgärdsförslag som skulle vara möjliga.

För att förhindra bräddningar, under ett 10-årsregn med varaktighet 15 minuter, krävs det att 97 % av avrinningsområdet rekonstrueras för att efterlikna exempelområdet Augustenborg. Åtgärdsförslag på blågrön infrastruktur som rekommenderas för Miatorp är svackdiken, regnträdgårdar, dammar, våtmarker, permeabla parkeringsplatser samt omhändertagande av regnvatten från stuprör. För framtida bebyggelser rekommenderas att implementera gröna tak. Det diskuteras att en kombination av blågrön infrastruktur och en rekonstruktion från kombinerade system till duplikata system hade varit fördelaktigt. Modellens tillämpbarhet hade ökat om mer mätdata för både undersökningsområdet och det blågröna exempelområdet hade varit tillgänglig.

Nyckelord:

Blågrön infrastruktur, hydrologisk modellering, urban klimatanpassning, bräddning, dagvattenhantering

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Syfte	2
1.2	Avgränsningar.....	2
2.	Bakgrund.....	3
2.1	Urbanisering.....	3
2.2	Dagvattensystem.....	3
2.3	Blågrön infrastruktur.....	4
3	Studieområdet	7
3.1	Miatorp.....	7
3.2	Ledningsnät.....	8
3.3	Helsingborg - Stadsplan 2017.....	10
3.4	Jämförelseområde: Augustenborg	10
4	Metod och data.....	13
4.1	Modellering.....	15
4.2	Data.....	16
4.2.1	Miatorp.....	16
4.2.2	Augustenborg.....	18
4.3	Areaberäkningar.....	21
4.4	Modelluppbyggnad	24
4.5	Kalibrering och validering	29
4.5.1	Miatorp.....	31
4.5.2	Augustenborg.....	32
4.6	Kombinerad modell	32
5	Resultat	35
5.1	Modell: Miatorp.....	36
5.1.1	Kalibrering	36
5.1.2	Validering	39
5.2	Modell: Augustenborg	42
5.3	Kombinerad modell	44

5.3.1	Miatorp – 2019-01-23 / 2019-05-22	44
5.3.2	Dunkerska huset – 2017-07-16 / 2017-09-18	46
5.3.3	Designregn	49
5.4	Sammanställning av resultat	52
6	Åtgärdsförslag Miatorp	55
6.1	Svackdiken	55
6.2	Våtmark och/ eller damm.....	57
6.3	Öppen dagvattenhantering från stuprör	58
6.4	Förändrad parkering.....	60
6.5	Gröna tak.....	63
7	Diskussion.....	65
7.1	Modellens tillämpbarhet	65
7.2	Åtgärdsförslagen för Miatorp	68
7.3	Slutsats och rekommendationer	71
	Referenser	73
	Bilaga I.....	77
	Bilaga II	84
	Bilaga III	85

1 Inledning

Allt fler människor flyttar till världens städer vilket innebär att högre krav ställs på städernas vattenresurshållning. Idag bor tre fjärdedelar av Europas befolkning i städer (Europeiska miljöbyrån, 2014) och alla är beroende av rent vatten. Vid kraftiga regn måste en stad ha kapaciteten att ta emot och leda bort vattnet så att inte översvämningar sker och vattnet blir förorenat. Tyvärr är vattenrelaterade problem frekvent återkommande i många städer och det bör därför utredas hur varje stad på bästa sätt kan angripa och förbättra dess vattenresurshantering. Gemensamt för alla städer är att för att reducera vattenrelaterad problematik bör stadens vattenresurser förvaltas i alla led, vid allt från vattenrening till konsumenterna som använder vattnet (Europeiska miljöbyrån, 2012). Regnintensiteten beräknas öka på grund av den pågående klimatförändringen och extrema regnfall uppskattas att inträffa oftare. Städer behöver därför anpassas för att förebygga framtida skador på grund av kraftiga regn (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2017, s. 9).

I städer dominerar hårdgjorda ytor genom vilka vattnet inte kan tränga igenom och därför leds ner i ledningsnät. Vid stadsplanering strävas det ofta efter att implementera fler grönområden. Detta kan kombineras med öppen vattenhantering med vattenansamlingar som tillåter en högre infiltration av regnvatten och minskar belastningen på ledningsnätet (Europeiska miljöbyrån, 2012). Ett samlingsnamn för infrastruktur som strävar efter att höja infiltration och fördröjningen av vattnet, och därmed minska de vattenflöden som hamnar i ledningsnätet, är blågrön infrastruktur. Exempel på blågrön infrastruktur är våtmarker, gröna tak, slingrande bäckar och kanaler, svackdiken och uppsamlingsdammar.

Helsingborg är Sveriges nionde största tätort sett till befolkningsmängd. Idag bor ungefär 110 000 människor i Helsingborg och invånarantalet stiger med mer än 2000 personer varje år (Helsingborgs Stad, 2016 a). I Helsingborg finns områden med hårt belastade ledningar vilket leder till översvämningar och bräddningar även vid mindre regn.

Examensarbetets motiv är att undersöka hur översvämningar och bräddningar kan reduceras genom att implementera blågrön infrastruktur. Arbetet fokuserar

på ett avrinningsområde i stadsdelen Miatorp som är beläget i södra Helsingborg. I rapporten kommer området att hänvisas till som Miatorp men det bör understrykas att det endast är en del av stadsdelen Miatorp som undersöks. Studien bygger på modellering och fältobservationer.

1.1 Syfte

Syftet med examensarbetet är att bygga upp en hydrologisk modell för att avgöra hur blågrön infrastruktur kan bidra till reducering av bräddningar och översvämningar i ett område i stadsdelen Miatorp i Helsingborg. Modellen är baserad på regn- och flödesdata från Miatorp och från ett blågrönt exempelområde i Augustenborg i Malmö.

För att uppnå syftet används följande frågeställningar:

- Går det avgöra hur blågrön infrastruktur reducerar flöden i ledningsnät genom att kombinera följande två modeller; en modell baserad på ett område med ett hårt belastat ledningsnät och en modell baserad på ett exempelområde med blågrön infrastruktur?
- Hur mycket blågrön infrastruktur behövs för att undvika översvämningar och bräddningar i Miatorp?
- Vilka åtgärder kan göras i Miatorp för att åstadkomma en reducering av bräddningar?

1.2 Avgränsningar

Examensarbetet tar endast hänsyn till bräddningar som sker på grund av hydraulisk överbelastning vid stora regnfall. Exempel på andra anledningar till bräddningar är

- driftproblem då någonting stoppar upp ledningsnätet, till exempel matfett som stelnar och skapar stora klumpar
- driftstörningar eller underhållsarbete, detta benämns ibland som nödavledning.

(Värmdö Kommun, 2019)

2. Bakgrund

2.1 Urbanisering

Ett områdes naturliga vattenbalans förändras vid urbanisering och en stads naturliga ekosystemtjänster försvinner. I rurala områden tar vegetation upp vatten genom transpiration och marken bidrar med en stor del infiltration. Vid urbanisering ökar ytavrinningen både i volym och intensitet till följd av att en större mängd hårdgjorda ytor implementeras (Stahre, 2006, s. 9). På dessa ytor är vattnets infiltration mycket låg och dess avrinningshastighet snabbare. Grundvattennivåer tenderar att sänkas då hårdgjorda ytor förhindrar infiltration till grundvattnet. Det är också förekommande att grundvattnet dräneras bort för att göra plats för ledningar och fyllningsmaterial vid nybyggen (Hernebring & Mårtensson, 2013, s. 15). För att ytavrinningen i städer inte ska bidra till översvämningar leds dagvatten ofta bort i ledningar.

2.2 Dagvattensystem

Ett kombinerat system avleder spillvatten, dräneringsvatten och dagvatten i en gemensam ledning. I ett duplikatsystem avleds spillvatten för sig och dagvatten för sig. Det är när det kombinerade systemet dämms som de största riskerna uppstår, då blir de översvämmade områdena förorenade av spillvattnet (Hernebring & Mårtensson, 2013, s. 16).

Dämning innebär att ett ledningsrörs kapacitet överstigs och vatten pressas baklänges upp ur nätet och översvämmar gator och källare. Översvämningar i källare orsakade av dämning är vanliga i städer. För att förhindra dämningar finns bräddningspunkter på alla Sveriges avloppsnät. Bräddning är en säkerhetsfunktion som innebär att orenat spillvatten tillfälligt släpps ut på utvalda ställen. Bräddningar sker när det av någon anledning är mer vatten i ledningarna än vad ledningsnätet kan hantera. Exempel på sådana tillfällen är

- Vid stora regnhändelser
- Vid driftproblem då ledningsnätet stoppas upp, till exempel av matfett som stelnar och skapar stora klumpar
- Driftstörningar eller underhållsarbete, detta benämns ibland nödavledning.
- Efter kalla snöperioder, när temperaturen ökar, kan belastningen på ledningsnätet öka då även snösmält kan komma att bidra till avrinningen (Värmdö kommun, 2019).

Bräddningarna medför negativa konsekvenser på naturen då spillvattnet innehåller oönskade ämnen, till exempel organiskt material, bakterier, fosfor och kväve (Värmdö kommun, 2019). Badvattenkvaliteten kan försämrats av bräddningar, även om utspädningen av spillvattnet ofta är stor då vattnet som bräddas ofta till stor del består av regnvatten från stora regnhändelser (NSVA, u.å.).

2.3 Blågrön infrastruktur

För att reducera volymen vatten som ledningsnätet måste avleda kan blågrön infrastruktur implementeras. Blågrön infrastruktur förstärker och upprätthåller ekosystemtjänster i stadsmiljö (Nordiska ministerrådet, 2018). Exempel på blågrön infrastruktur är svackdiken, våtmarker, gröna tak, gröna väggar och öppna dagvattenkanaler. Dessa ökar infiltrering, avdunstning, transpiration och fördröjning av dagvatten (Persson & Wikberger & Amori, 2018). Utöver att höja ett områdes resistans mot översvämningar bidrar den öppna dagvattenhanteringen med att vattnet renas genom att föroreningar tas upp under vattnets väg i systemet. Reningen sker genom sedimentation i stillastående vatten samt filtrering i grästäckta områden. Blågrön infrastruktur kan också bidra med vackra rekreationsareor när det kombineras i stadsområden i form av t.ex. vattenstråk och dammar (Bengtsson & Stahre & Villarreal-Gonzalez, 2004). Ytterligare fördelar med blågrön infrastruktur i städer är ökad biodiversitet, temperaturutjämnningar och renare luft (Sörensen et al, 2016). Dessutom, i kombinerade system minskas dessutom mängden vatten som leds till reningsverk.

Vid nybyggen bör de som planerar byggnationen ha höjdsättningar och naturliga avrinningsvägar i åtanke, detta för att avleda extremregn utan att skada bebyggelsen. Råd vid planering och utformning delas in i åtgärderna: lokalt omhändertagande av dagvatten, fördröjning nära källan, trög avledning och nedströms fördröjning (Stahre, 2006 ss. 20–21).

Att implementera ytor som utan konsekvenser kan översvämmas är komplicerat i redan befintliga områden (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2017, s. 9). Åtgärder för befintlig bebyggelse kan vara att koppla bort stuprör, att anlägga infiltrationsstråk eller att skapa en öppen dagvattenkanal i stället för befintliga kulvertar (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2013, s. 46). En annan strategi för att förhindra att sårbara områden översvämmas är att införa åtgärder uppströms det drabbade området (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2017, s. 14).

3 Studieområdet

3.1 Miatorp

Området som utreds i denna rapport är lokaliserat i stadsdelen Miatorp i södra Helsingborg, se figur 1. Det bor cirka 2 800 personer i Miatorp och det finns främst flerbostadshus och villor i området (Helsingborgs stad, 2013). Miatorp utgör en area på 108 ha (Helsingborgs Stad, u.å.), området som utreds utgör ungefär 45 ha och består av bostadsområden, industrier och större vägar, se figur 2 och 3.

Området är ofta drabbat av brändningar då ledningsnätet är hårt belastat. Miatorp är lokaliserat nära kusten, se figur 1. Badvattenkvalité är viktigt för Helsingborgs kommun och detta är ett starkt motiv för att minska brändningar av avloppsvattnet och reducera risken att förorena badvattnet.



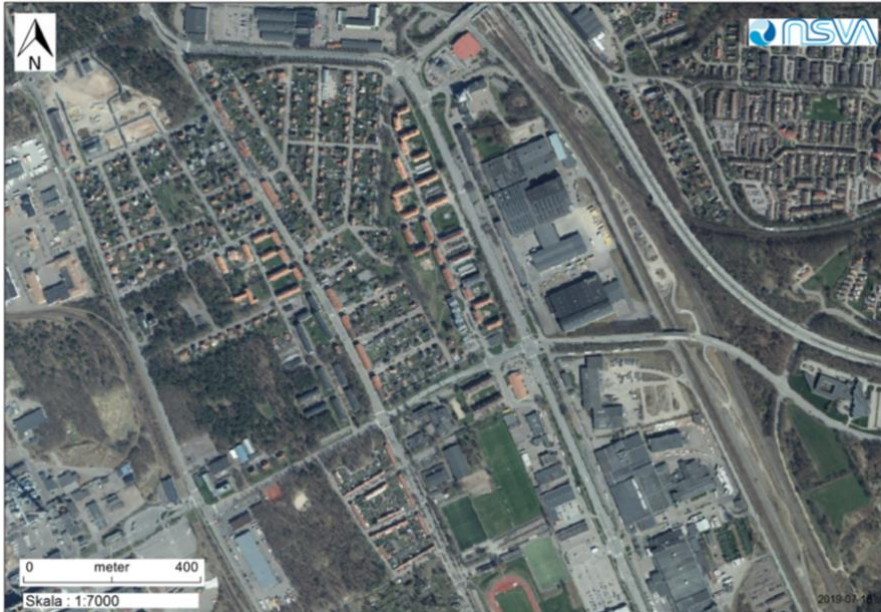
Figur 1. Karta över Helsingborg där Miatorp är markerat i orange.
(Bildkälla: Miatorps läge i Helsingborgs tätort (Christian Koehn (fragwürdig) - own work based on a map provided by Helsingborgs stad, CC BY-SA 3.0, 2006)
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1034270>)

3.2 Ledningsnät

NSVA har ansvar för vatten- och avloppsverksamheten i Båstad, Helsingborg, Landskrona, Svalöv, Bjuv och Åstorp. Ledningsnätet i Miatorp består av både kombinerade och duplikatsystem, se figur 3. Problematiskt i områden som består av både duplikat- och kombinerade system är att det är svårt att veta till vilket system avrinningen sker, vilket gör det mer komplicerat att förutspå översvämningar. Bräddningspunkten är designad så att den bräddar innan källaröversvämningar sker vilket innebär att om bräddningar undviks så undviks även källaröversvämningar.

I den här studien används flödesmätningar från en ledning som har en bräddningspunkt nedströms mätpunkten. Flödesgränsen vid flödesmätpunkten för bräddning kan uppskattas till ungefär 100 l/s baserat på tidigare bräddningar (Dahl, 2019). Bräddningspunkten i studien har även en annan ledning kopplad till sig och därför är det svårt beräkna vid vilken volym och vid vilket flöde som röret ger upphov till bräddningar.

Ett alternativ till att använda flödet från flödesmätaren som gräns hade varit att undersöka volymen vatten i ledningsnätet då bräddningar sker. Genom att beräkna volymen av det flöde som överstiger bräddningsgränsen (100 l/s) hade volymen utsläppt vatten kunnat beräknas. Åtgärdsförslag hade då kunnat kopplas till reducerad mängd bräddningsvolym istället för antal bräddningar som studien nu utgått från.



Figur 2. Ortofoto över undersökningsområdet i Miatorp. (VA- banken, 2019)



Figur 3. Översiktsbild av undersökningsområdet i Miatorp. Dagvattenledningar symboliseras av gröna linjer, spillvattenledningar symboliseras av röda linjer och kombinerade ledningar symboliseras av bruna linjer. (VA- banken, 2019)

3.3 Helsingborg - Stadsplan 2017

Helsingborgs stad arbetar efter en stadsplan som heter *Stadsplan 2017*. Stadsplanen redogör för hur staden planeras att utvecklas och hur ytan bäst ska användas fram till år 2035 (Helsingborg Stad, 2016 a). Stadsplanen belyser att Helsingborg behöver bli en blåare stad med ett förbättrat dagvattensystem. Dagvattenrelaterade förbättringar som tas upp i stadsplanen är att hantera skyfall, ta hand om flödestoppar, rena avrinningsvatten och planera för extrema vattennivåer. Åtgärder som planeras är att implementera småskaliga dagvattenlösningar som till exempel regnträdgårdar och svackdiken. Det planeras även att bygga om kombinerade ledningar till ett duplikatsystem, vilket benämns som ett långsiktigt arbete.

För området i Miatorp som är lokaliserat nära stora och trafikerade vägar är det högt prioriterat att rena dagvattnet genom fördröjning. Genom Miatorp rinner Lussebäcken, vilket innebär en högre risk för översvämmad bebyggelse. För att ta hänsyn till den pågående klimatförändringen har både en högre havsnivå samt större och mer frekventa skyfall tagits i åtanke i Stadsplan 2017. Vid en modellering av hur ett 100-årsregn skulle påverka Helsingborg år 2065 var Miatorp är en mycket drabbad stadsdel (Helsingborgs Stad, 2016 a).

3.4 Jämförelseområde: Augustenborg

Stadsdelen Augustenborg i Malmö används för att representera ett exempelområde för blågrön infrastruktur. Den ekologiskt hållbara stadsdelen började byggas under 1990-talet för att bland annat reducera källaröversvämningar som regelbundet drabbade stadsdelens bostäder vid stora regnfall (SMHI, 2013). Anledningen till översvämningarna var att det kombinerade avloppsnätet blev överbelastat (Söderblom, 2004). Ett öppet dagvattensystem implementerades i området, bestående av 6 km kanaler, 0,2 ha gröna tak och 11 dammar (SMHI, 2013). Enligt Haghghatafshar & Yamane-Nolin & Larson (2019) består 51 % av området av impermeabla ytor i form av tegeltak, asfalt och betong. 1 % av området beräknas bestå av gröna

tak och 48 % av sand, gräs och grus.

Augustenborg har en area på ungefär 30 ha. I området finns både ett öppet dagvattensystem och ett kombinerat system, som främst är belastat av spillvatten. En dagvattenledning finns längs en stor väg i området som därmed inte är inkluderad i det öppna dagvattensystemet (Sörensen & Emilsson, 2018). Figur 4 visar en karta över Augustenborg med symboler för olika blågröna lösningar. Gröna tak och vegetationsytor bidrar till infiltration av dagvatten och dagvattenkanaler och svackdiken bidrar till fördröjning av dagvatten. Effekten av att implementera dammar i systemet är att kraftiga flöden jämnas ut (Stahre, 2008, s. 8). Det öppna dagvattensystemet i stadsdelen är indelat i två delar, det norra och det södra systemet. I figur 4 är detta markerat med en svart, streckad linje. Det norra systemet har en uppskattad avrinningsarea på 6,3 ha och det södra systemet en avrinningsarea på 9,6 ha (Haghighatafshar et al, 2018). Flödesriktning för båda systemen är från sydöst till nordväst. Det öppna dagvattensystemet leder till Malmös kommunala ledningsnät.

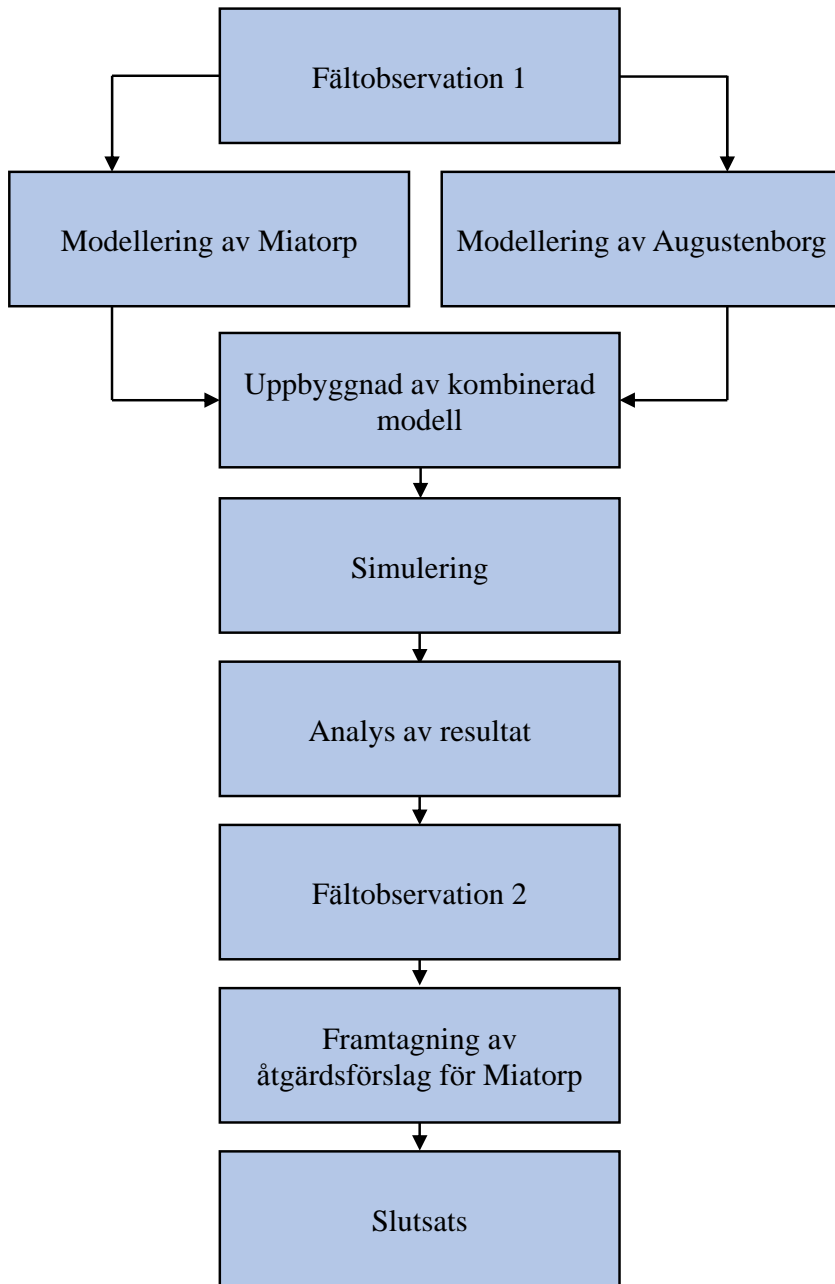
Området designades för regn med återkomsttid på 15 år men har visat sig klara betydligt större regnfall. Antalet rapporterade källaröversvämningar per hektar var betydligt lägre i Augustenborg under åren 2007–2015 jämfört med andra, närliggande stadsdelar i Malmö (Sörensen & Emilsson, 2018). Den 31 augusti 2014 drabbades Malmö av ett regnoväder som sägs vara det värsta på över 150 år. Malmös ledningsnät var inte dimensionerat för att avleda det extrema regnet. Totalt rapporterades cirka 2100 översvämningsskador i fastigheter (Sörensen & Mobini, 2017). Augustenborgs dagvattensystem lyckades bromsa in stora vattenmängder och förhindrade källaröversvämningar i nästan hela området (Sörensen & Emilsson, 2018).



Figur 4. Schematisk karta av Augustenborg och dess blågröna infrastruktur. Gränsen mellan det norra och södra är markerat med en svart streckad linje. (Green roof = gröna tak, swale = svackdike, channel = dagvattenkanal, brook = bäck, pond = dagvattendamm, floodable land = översvämningsbar mark) Fig.3 (Sörensen & Emilsson, 2018)

4 Metod och data

Metoden för arbetet bestod i att bygga upp en hydrologisk modell för området i Miatorp. Modellen är en konceptuell modell som är baserad på regn- och flödesdata, erhållen av NSVA. Modellen är uppbyggd i R, som är ett programmeringsspråk för statistiska och grafiska beräkningar. En hydrologisk modell för Augustenborg byggdes upp parallellt för att avgöra hur blågrön infrastruktur påverkar dagvattenflödet i ett område. De två modellernas modellstruktur är snarlika men har olika värden på parametrar. De två modellerna kombinerades sedan för att avgöra hur stor area av blågröna lösningar som skulle krävas för att reducera bräddningar i det undersökta området i Miatorp. Effekten av blågrön infrastruktur avgjordes med den kombinerade modellen genom att använda parametrarna från Augustenborg på en del av Miatorps avrinningsarea och ge ett modellerat flöde. En fältobservation i Miatorp utfördes inför uppbyggnaden av modellen. När simuleringen gjorts och ett resultat från modellen erhållits gjordes en andra fältobservation för att undersöka vilka åtgärdsförslag som skulle vara möjliga i området. Figur 5 visar det övergripande tillvägagångssättet för examensarbetet. Se bilaga I för utdrag från modelleringskoder.



Figur 5. Schematisk arbetsprocess för examensarbetet.

4.1 Modellering

Vid modelleringen användes en matematisk modell för att beskriva områdets egenskaper. En hydrologisk modell byggdes upp där flödes- och regnmätningar användes för att skapa en flödesmodell för mätpunkten. För att skapa en modell som representerar hur ett flöde påverkas av regnfall behövs parametrar som representerar områdets egenskaper. Modeller kan hänvisas till som fysiska eller konceptuella. Konceptuella modeller är uppbyggda av efter varandra följande boxar som representerar systemens flöden och magasinering. Till skillnad från en fysisk modell som grundligt beskriver områdets egenskaper så görs endast en grov uppskattning av de fysiska egenskaperna i en konceptuell modell (Ward & Robinson, 2000). Modellen som byggdes upp i det här examensarbetet kan klassas som en konceptuell modell, eftersom modelleringen är baserad på matematiska samband mellan regn- och flödesmätningar och inte fysiska egenskaper hos studieområdet.

Hydrologiska förluster inkluderades också i modellen, dessa är t.ex. infiltration och avdunstning. Detta är vatten som aldrig kommer att nå ledningsnätet och därför inte kommer att ge upphov till ett flöde i en ledning (Bedient & Huber & Vieux, 2008, s. 55). De hydrologiska förlusterna påverkas bland annat av hur mycket gröna områden som finns i området då gröna ytor bidrar med transpiration, avdunstning, infiltration och fördröjning. De hydrologiska förlusterna modellerades inte som enskilda parametrar utan representerades av reservoarkoefficienter eftersom modellen är konceptuell och inte fysisk.

Erhållna data delades upp i två perioder, en kalibreringsperiod och en valideringsperiod. Alla värden för flöde och regn i kalibreringsperioden användes för att komma fram till parametrar som var passande för området. Valideringsperioden användes sedan för att testa parametrarna. I den här studien skapades två stycken oberoende modeller, en för Miatorp och en för Augustenborg. De parametrar som kalibrerades var de samma för båda modellerna. En kombinerad modell skapades för att appliceras på Miatorp och syftar till att avgöra vilken effekt blågrön infrastruktur hade haft på området. Det görs genom att dela upp avrinningsområdet i Miatorp och låta en del av flödet modelleras med de parametrar som tagits fram för Augustenborg. Detta beskrivs ytterligare i kapitel 4.6.

4.2 Data

4.2.1 Miatorp

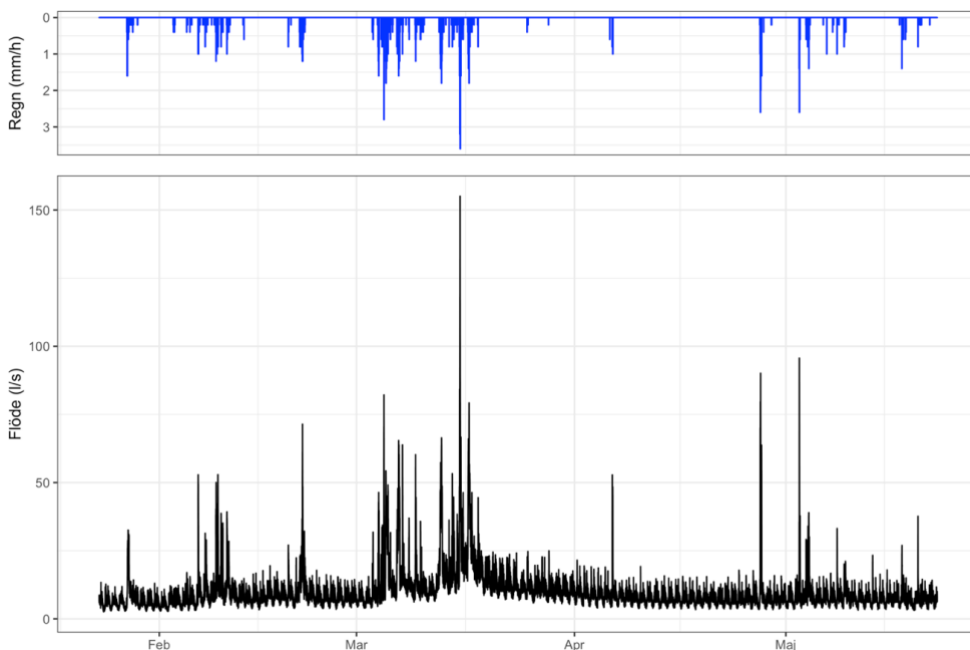
Flödesmätningar utfördes vid en mätpunkt i Miatorp, se markeringen MP1 i figur 6. Nederbörd uppmättes i en mätare placerad cirka 190 meter från flödesmätaren, se markeringen MP4 i figur 6. Mätningarna innefattar flödesmätningar i en kombinerad ledning som påverkas mycket av dagvattenflöden samt regnmätningar i form av tippningar om 0,2 mm. Bräddningspunkten är lokaliserad nedströms flödesmätaren där en annan ledning också är påkopplad.

Nederbörds­mätningarna omvandlades från tippdata till regnintensitet (mm/2 min). Mätningarna utfördes under perioden 2019-01-23 till 2019-05-22.



Figur 6. Karta över Miatorp med mätpunkterna för flödesmätningarna markerad med MP1 och mätpunkten för regnmätningarna markerad med MP4.

Figur 7 visar regn- och flödesdata från mätpunkterna. Mätningarna utfördes under 119 dagar, varav regn registrerades under 50 dagar och bräddning skedde en gång, den 17 mars.



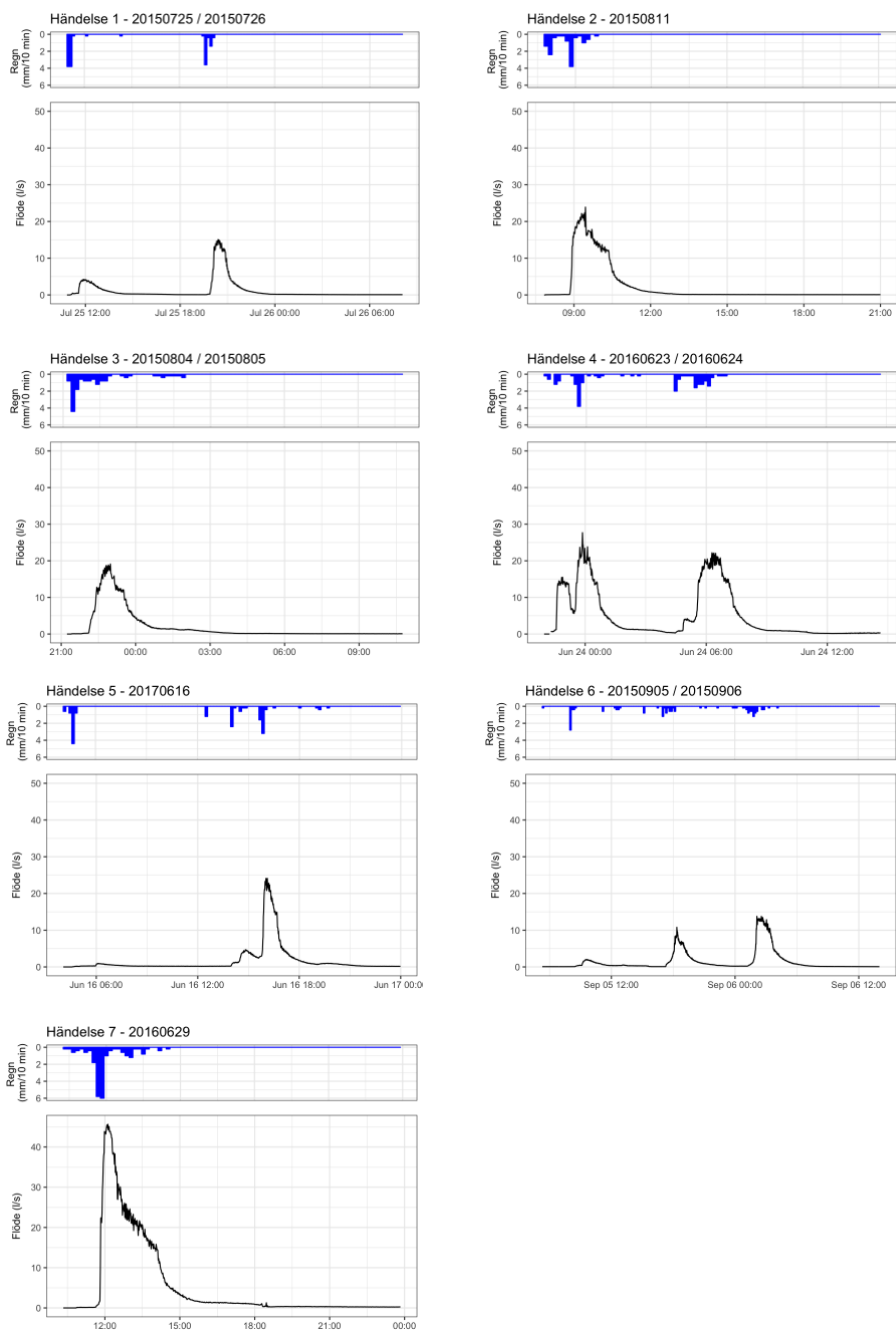
Figur 7. Hydrograf för Miatorp under mätperioden, från 23 januari 2019 till den 22 maj 2019.

Enligt SMHI (2019) har inget snödjup observerats under tiden då data erhöles. Snösmältning togs därför inte hänsyn till i modellen.

4.2.2 Augustenborg

Regndata och flödesdata från en dagvattenledning från det norra systemet i Augustenborg har erhöles för 7 regnhändelser från Salar Haghigatafshar, doktorand på Institutionen för kemiteknik, LTH. Regndata var registrerad i 0,1 mm tippdata som omvandlades till regnintensitet (mm/min). Händelserna inträffade mellan 2015 och 2017 där det första ägde rum 2015-07-25 och det sista 2017-06-16.

Data erhöjls för både den södra och den norra delen av Augustenborg men på grund av rekommendationer valdes endast data från den norra delen med motiveringen att det området är mindre i storlek och komplexitet vilket underlättar modellering. Hydrografer för händelse 1–7 presenteras i figur 8.



Figur 8. Hydrografer baserade på uppmätt flödes- och regndata för Händelse 1–7 i norra delen av Augustenborg.

4.3 Areaberäkningar

I simuleringen är arean en viktig del då arean multipliceras med antal mm regn som faller för att bestämma volymen regnvatten som ska hanteras.

För att bestämma arean av området i Miatorp användes det GIS-baserade kartverktyget VA-banken som används av NSVA. Det undersökta områdets avrinningsarea uppskattades då till 44,7 ha vilket är markerat med brunt i figur 9.



Figur 9. Uppskattat avrinningsområde för den kombinerade ledningen uppströms mätpunkt MPI. Bilden inkluderar avrinningsområdet (brunt), kombinerade ledningar (brunt) och dagvattenledningar (grönt). Avrinningsarean uppskattades till 44,7 ha. (VA- banken, 2019)

I studieområdet finns dagvattenledningar, spillvattenledningar och kombinerade ledningar. Eftersom utredningen och modellen baseras på mätningar från en kombinerad ledning, beslutades det att det var för osäkert att använda hela arean då den ansågs vara överskattad. Ytterligare en uppskattning av avrinningsområdets area gjordes därför genom att undersöka hur stor flödesmängd i det kombinerade ledningsnätet som en viss regnmängd hade gett upphov till. På detta sätt beräknades den area som representerade det avrinningsområde vars dagvatten leddes till just de kombinerade ledningsnäten. Arean uppskattades enligt ekvation 1.

$$\text{Area [m}^2\text{]} = \frac{\text{Flödesvolym [m}^3\text{]}}{\text{Regnmängd [mm]} * 0,001[\frac{m}{mm}]} \quad (1)$$

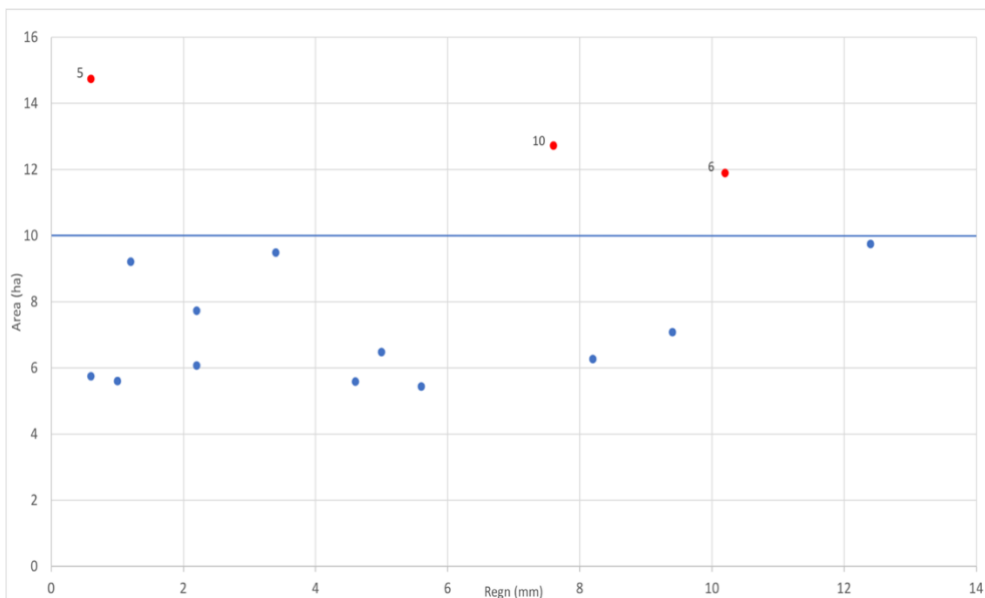
Uppskattningen gjordes för 15 regntillfällen, se tabell 1. För att välja ut vilka regnhändelser som skulle ingå i uppskattningen användes kriteriet att det inte skulle ha regnat på 10 h. Denna restriktion bestämdes för att efter mindre än 10 h kunde det påträffa att nästkommande händelse påverkades av föregående händelses regnvolym. Innan arean beräknades subtraherades spillvattenflödet från flödesvolymen.

Tabell 1. Sammanställning av de regnhändelser som användes för att uppskatta Miatorpområdet area sorterat efter datum. Arealen beräknas genom att dividera flödesvolymen med regnmängden. Röd text markerar de händelser som exkluderades vid bestämmandet av avrinningsområdets area.

Händelse	Period (ÅÅMMDD tt:mm)	Volym (m ³)	Regn (mm)	Area (ha)
1	20190206 12:00 /20190206 15:00	170,1	2,2	7,70
2	20190220 20:00 /20190221 12:00	665,7	9,4	7,1
3	20190303 07:45 /20190303 08:40	34,5	0,6	5,7
4	20190303 22:45 /20190304 05:15	323,6	5	6,5
5	20190306 01:00 /20190306 04:30	88,4	0,6	14,7
6	20190306 16:00 /20190307 07:00	1213,3	10,2	11,9
7	20190308 08:45 /20190308 12:30	110,4	1,2	9,2
8	20190309 07:30 /20190309 13:30	322,7	3,4	9,5
9	20190315 13:45 /20190315 21:00	1207,8	12,4	9,7
10	20190316 18:00 /20190317 01:00	966,4	7,6	12,7
11	20190325 05:30 /20190325 08:30	55,9	1	5,6
12	20190406 08:18 /20190406 11:00	133,4	2,2	6,1
13	20190427 06:45 /20190427 14:00	514,1	8,2	6,3
14	20190502 21:00 /20190503 02:00	257,1	4,6	5,6
15	20190503 20:45 /20190504 08:30	304,2	5,6	5,4

Kolumn två i tabell 1 visar perioden för flödet i det kombinerade röret. Perioden för regnet är inte alltid den samma som perioden för flödet. Detta gäller i de fall då regn fallit innan det gett upphov till ett ökat flöde.

För att estimerera områdets area gjordes en graf där regnet redovisades som en funktion av arean, se figur 10.



Figur 10. Regnet (mm) som en funktion av arean (ha) i området Miatorp. De röda markeringarna representerar de händelser som ej räknats med i areaberäkningarna. Linjen $y = 10$, representerar den uppskattade avrinningsarean.

Händelse 5, 6 och 10 markerades röda i figur 10 och valdes att bortses från i areauppskattningen.

- **Händelse 5** ansågs ha ett orimligt stort flöde i förhållande till hur lite regn som föll under perioden. Detta argument stärks genom att jämföra händelsen med händelse 3 där det också regnade 0,6 mm men där korresponderande flöde var mindre än hälften så stort som för händelse 5.

- Det stora flödet i röret vid händelse 5 tros ha påverkat flödet i **händelse 6** som bara skedde drygt 11 timmar efter, allt vatten som redan fanns i rören antas ha bidragit till ett överskattat flöde i förhållande till hur mycket regn som föll under perioden.
- **Händelse 10** togs bort då flödet långt efter att regnet hade upphört aldrig gick ner till 0. Basflödet har troligen ökat för att marken har blivit blötare efter allt regn i mars. Detta leder nämligen till att mer vatten läcker in i rören, därav går flödet aldrig ner till 0. I hydrografen i figur 7 kan det ses att basflödet är högre under denna period.

Av de återstående 12 resultaten bestämdes den slutgiltiga arean som bidrar till avrinningen för området i Miatorp till 10 ha, vilket motsvarar drygt 22 % av den arean presenterad i figur 9. Den största arean av de återstående 12 händelserna valdes för att inte riskera att underskatta flödet i modellen.

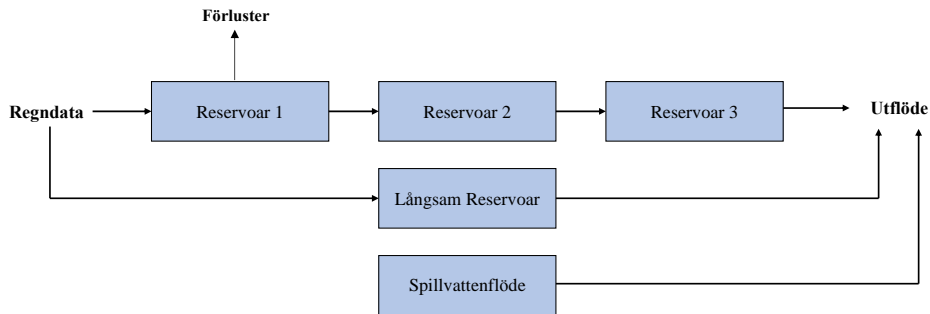
I modellen för Augustenborg användes hela arean av området eftersom allt regnvatten i det här området kan antas tas upp av dagvattenssystemet, då det är ett duplikatsystem. Arean för det norra området är 6,3 ha (Haghighatafshar & Yamanee-Nolin & Larson, 2019)

4.4 Modelluppbyggnad

Modellen består av tre icke-linjära reservoarer för snabbt flöde, en icke-linjär reservoar för långsamt flöde samt ett spillvattenflöde, se figur 11. Detta för att bygga upp en modell som efterliknar det uppmätta flödet i så stor mån som möjligt. De tre reservoarerna för snabbt flöde är modellerade i en serie efter varandra. Att använda sig av reservoarer i en serie för att modellera flöden nämns bland annat i Shaw et al. (2011, s. 290). I detta fall användes tre på varandra följande reservoarer eftersom detta ger ett modellerat flöde som liknar det uppmätta. En reservoar kan beskrivas med kontinuitetsekvationen

$$\frac{dS}{dt} = Q_I - Q_O \quad (2)$$

i vilken S är vattenvolymen i reservoaren, Q_I är inflödet till reservoaren och Q_O är utflödet från reservoaren. De tre reservoarerna för snabbt flöde är beroende av varandra på så sätt att utflödet från den första reservoaren blir inflödet till den andra reservoaren och utflödet från den andra reservoaren blir inflödet till den tredje. Inflödet till den första reservoaren är regndata. Utflödet från den tredje reservoaren, tillsammans med utflödet från den långsamma reservoaren samt spillvattenflödet resulterar i ett modellerat flöde.



Figur 11. Strukturen för flödesmodellen. Regndata adderas i tre, på varandra följande, reservoarer (Reservoar 1, 2 och 3). Från Reservoar 1 modelleras även ett utflöde i form av förluster. En andel av erhållna regndata adderas även till en långsam reservoar. Utflödet från dessa två summeras tillsammans med ett modellerat spillvattenflöde för att resultera i ett utflöde, ett modellerat flöde.

Utflödet från den första reservoaren modelleras som en funktion av reservoarvolymen vid en tidpunkt enligt

$$Q_O = a * (S - S_c)^n \quad (3)$$

i vilken a och n är reservoarkoefficienter som styr hur snabbt vattenvolymen i reservoaren töms och S_c , kritisk reservoarvolym, är den vattenvolym som måste uppnås i reservoaren innan ett utflöde uppstår. Till ekvationen hör villkoret att om $S < S_c$ så gäller det att $Q_O = 0$.

Utflödet från resterande reservoarer modelleras liknande, men utan kritisk reservoarvolym, enligt

$$Q_O = a * S^n \quad (4)$$

I modellen beräknas utflödet ur reservoarerna numeriskt genom att beräkna S för varje tidssteg, t , enligt

$$S[t + 1] = S[t] + (Q_I[t] - Q_O[t])\Delta t \quad (5)$$

I den första reservoaren modelleras även ett utflöde i form av förluster, som till exempel infiltration eller avdunstning. Detta bidrar till en minskning av inflödet till påföljande reservoar. Förlusterna är även de modellerade som en funktion av reservoarvolymen vid tillfället. Kontinuitetsekvationen för den första reservoaren blir

$$\frac{dS}{dt} = Q_I - Q_O - Q_L \quad (6)$$

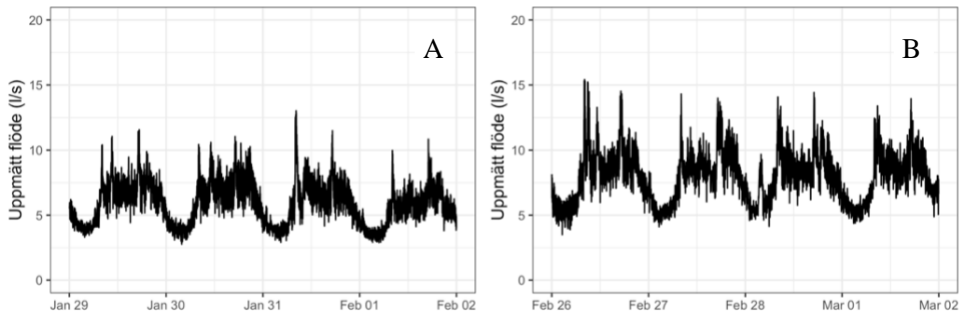
i vilken Q_L är förluster och modelleras som en funktion av vattenvolymen i reservoaren,

$$Q_L = b * S^m \quad (7)$$

i vilken b och m är reservoarkoefficienter. Vattenvolymen i den första reservoaren för varje tidssteg, t , blir således

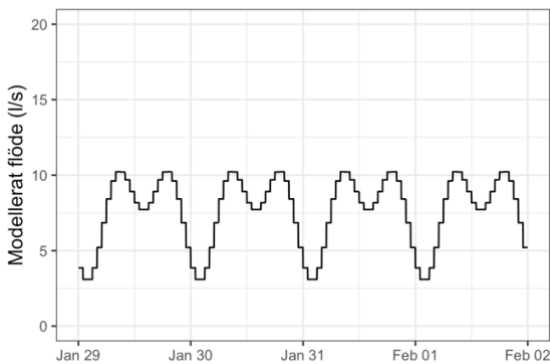
$$S[t + 1] = S[t] + (Q_I[t] - Q_O[t] - Q_L[t])\Delta t \quad (8)$$

Flödesmätningarna i Miatorp gjordes i en kombinerad ledning, innehållandes både spillvatten och dagvatten. Flödet i ledningen påverkas alltså av vattenanvändningen i hushållen. Vattenanvändningen i hushållen har två karaktäristiska toppar varje dag, se figur 12 A. Modellens spillvattenflöde är modellerat efter det flöde som mättes i ledningen under en period utan regn. Efter långvariga eller kraftiga regnfall höjdes flödesmängden något under en längre tid. I figur 12 B visas en period senare under mätperioden där tidigare regn orsakat en höjning av flödet, som håller i sig i flera dagar efter regnhändelsen. Som tidigare nämnt kan en sådan höjning bero på att marken är blöt vilket leder till ett ökat inläckage från marken till ledningarna. För att ta hänsyn till sådana långsamma höjningar av flödet finns ytterligare en reservoar i modellen. Denna reservoar modelleras enligt ekvation 4–5 och är oberoende av de tre andra reservoarerna.



Figur 12. Uppmätt flöde för två perioder utan regn. A: spillvattenflödet i början av mätperioden. B: spillvattenflödet under en senare period i mätperioden.

Spillvattenflödet representeras av en trigonometrisk funktion på formen $y = \cos(2x) + \sin(x) + C$ i modellen och illustreras i figur 13. Funktionen uppskattades för att efterlikna spillvattenflödets dagliga flödestoppar och -dalar i figur 12A.



Figur 13. Det estimerade basflödet modelleras som en trigonometrisk funktion på formen $y = \cos(2x) + \sin(x) + C$. Den exakta kurvan är $y = 2,33 * \cos(2 * 0,262 * (x + -7,5)) + 2,33 * \sin(0,262 * (x + -7,5)) + 7,6$.

Modellens variabler och ursprungsvärden presenteras i tabell 2. De slutgiltiga kalibreringsvärdena presenteras i tabell 3, kapitel 6.

Tabell 2. De variabler och parametrar som används i modellen och dess ursprungsvärden. Kalibrering innebär att värdet kalibreras fram.

Variabel	Beskrivning	Startvärde	
		Miatorp	Augustenborg
S	Vattenvolym i reservoar	0	0
Qo	Utflöde ur reservoar	-	-
Parameter			
Parameter	Beskrivning	Värde	
A	Avrinningsområdets reducerade area	100 000 m ²	63 000 m ²
n1	Reservoarkoefficient – Reservoar 1	kalibrering	kalibrering
n2	Reservoarkoefficient – Reservoar 2	kalibrering	kalibrering
n3	Reservoarkoefficient – Reservoar 3	kalibrering	kalibrering
a1	Reservoarkoefficient – Reservoar 1	kalibrering	kalibrering
a2	Reservoarkoefficient – Reservoar 2	kalibrering	kalibrering
a3	Reservoarkoefficient – Reservoar 3	kalibrering	kalibrering
m	Reservoarkoefficient – Förluster	kalibrering	kalibrering
b	Reservoarkoefficient – Förluster	kalibrering	kalibrering
Sc	Kritisk reservoarvolym	kalibrering	kalibrering
ns	Långsam reservoarkoefficient	kalibrering	-
as	Tömningshastighet – Långsam reservoar	kalibrering	-
frac	Andel av regndata som den långsamma reservoaren tar hänsyn till	kalibrering	-
	Spillvattenflöde	tidsserie	

Modellen för Augustenborg byggdes upp på samma sätt som modellen för Miatorp, se figur 11, men saknar ett spillvattenflöde eftersom flödesmätningarna i Augustenborg är från en dagvattenledning. Ingen långsam höjning av flödet i ledningen i Augustenborg efter regnhändelser kunde ses och därför exkluderas även den långsamma reservoaren från modellen.

4.5 Kalibrering och validering

De parametervärden som användes i modellen togs fram med Monte Carlo som kalibreringsmetod. Monte Carlo-simuleringar är vanligt förekommande vid undersökningar av attribut hos komplexa system. Simuleringarna går ut på att med hjälp av mängder av slumpantal skapa scenarier för att se vilket som ger upphov till bästa resultat (Rydén & Lindgren, u.å.). För kalibreringen användes likformiga sannolikhetsfördelningar för de parametrar som skulle kalibreras.

För att utvärdera parametrarna användes Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient (NSE). NSE är ett vanligt förekommande sätt att utvärdera hydrologiska modeller och räknas ut enligt

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{m,t} - Q_{o,t})^2}{\sum_{t=1}^n (Q_{o,t} - \bar{Q}_o)^2} \quad (9)$$

i vilken n är det totala antalet tidssteg, $Q_{m,t}$ är det modellerade flödet vid tidssteget t , $Q_{o,t}$ är det observerade flödet vid tidssteget t , och \bar{Q}_o är medelvärdet av det observerade flödet. NSE är dimensionslöst och anges på en skala mellan $-\infty$ och 1. Om NSE är mindre än 0 anger det att det är bättre att använda ett medelvärde av de observerade flödesvärdena för att förutspå flödet än att använda modellen (Gupta et al. 2009).

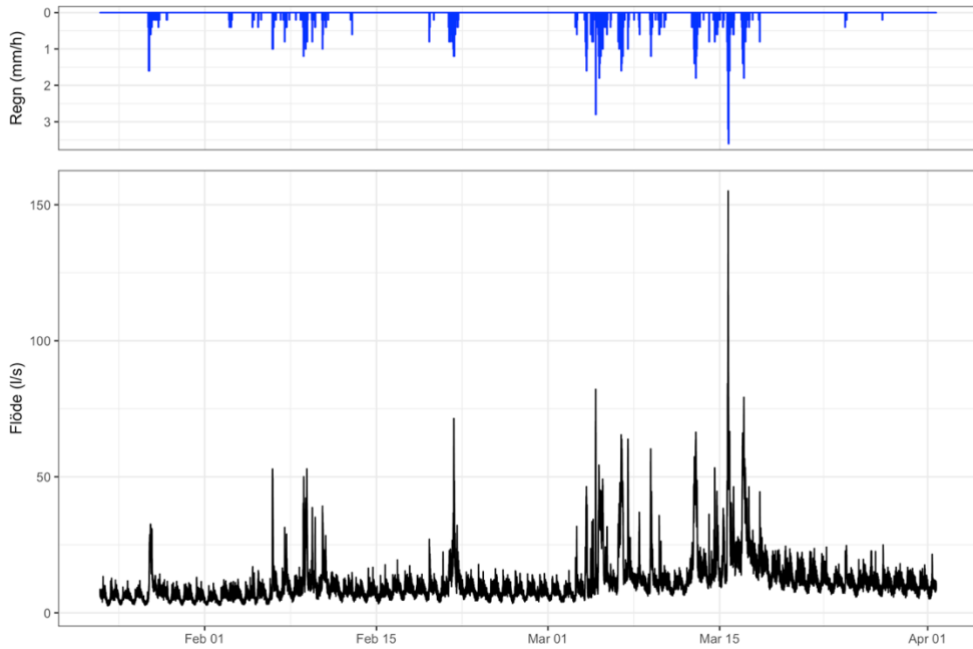
För varje Monte Carlo-simulering sparades de parametrar som gav upphov till det högsta NSE-värdet. Varje Monte Carlo-simulering gjordes med 1000 upprepningar. Det sparade resultatet från NSE-utvärderingen bedömdes

ockulärt efter varje Monte Carlo-simulering. Vid kalibreringens start användes stora intervall för parametrarna som smalnades av baserat på vilka parametrar som gett upphov till bäst resultat. Se bilaga I för utdrag ur kalibreringskod. Detta upprepades tills dess att alla parametrar var fastställda. Eftersom syftet med modelleringen var att avgöra vilka regnmängder som ger upphov till bräddningar, låg högst prioritet i att de högsta flödestopparna skulle överensstämma för det uppmätta och det modellerade flödet, vilket inte endast kalibrering utefter NSE-värde kunde åstadkomma.

Vid jämförelse av regndata och flödesdata upptäcktes ett antal toppar i flödesmätningarna vid tillfällena då det inte regnat. Detta kan till exempel bero av utsläpp av vatten från någon av industrierna i området. För att detta inte skulle påverka kalibreringen plockades dessa händelser ut från kalibreringen och NSE-uträkningarna. Dessa perioder finns listade i bilaga II.

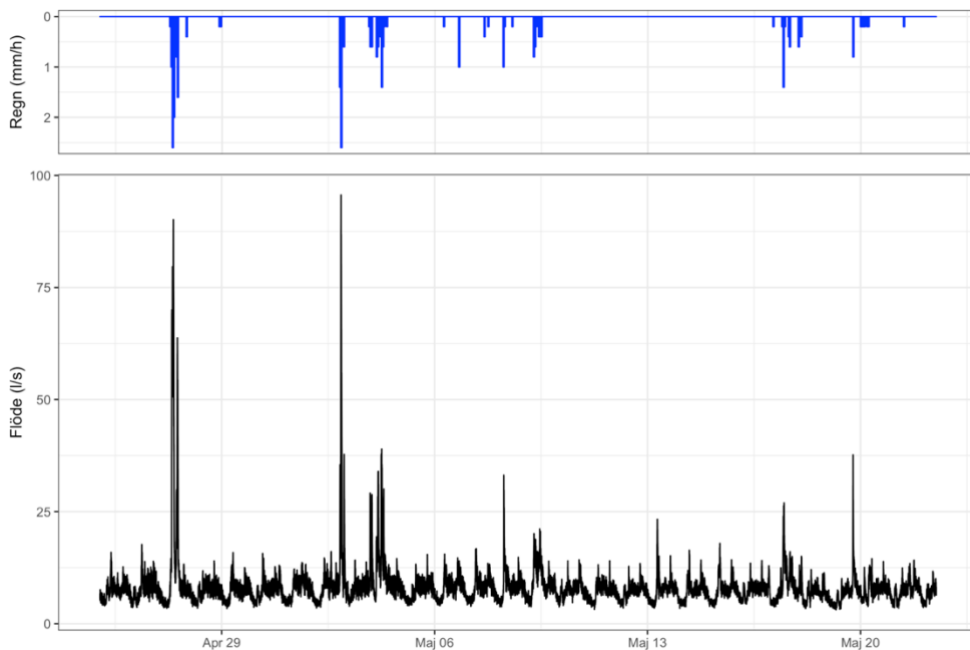
4.5.1 Miatorp

Kalibreringsperioden för Miatorp valdes till 2019-01-27 till 2019-04-01 och dess regn- och flödesdata visas i hydrografen i figur 14.



Figur 14. Hydrograf för perioden 23 januari till 1 april 2019, vilket användes som kalibreringsperiod för modellen.

Valideringsperioden för Miatorp var 2019-04-25 till 2019-05-22 och dess regn- och flödesdata visas i hydrografen i figur 15. Perioden mellan kalibreringen och valideringen utslöts eftersom ingen stor regnhändelse registrerades under perioden. Variablerna S och Q_0 hade sina ursprungsvärden, 0, vid valideringens start.



Figur 15. Hydrograf för perioden 25 april till 22 maj, vilket användes som valideringsperiod för modellen.

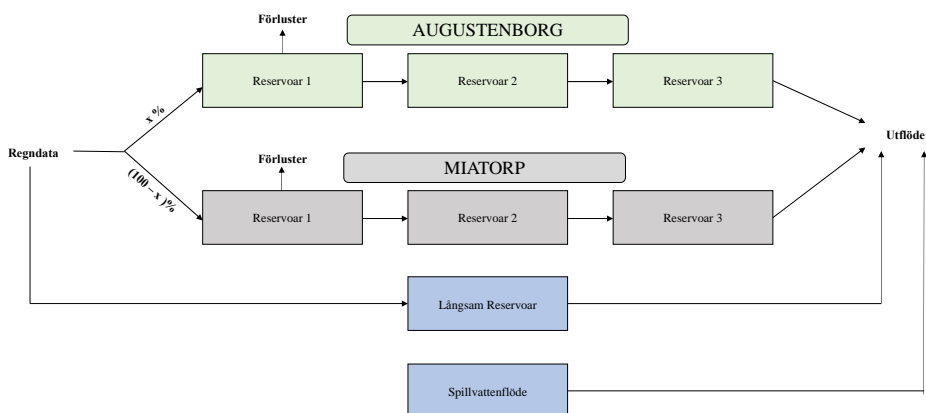
4.5.2 Augustenborg

Alla sju händelser valdes att användas för kalibrering för den blågröna modellen. Validering gjordes inte på grund av begränsade mätdata och för att regnhändelserna skiljde sig mycket ifrån varandra.

4.6 Kombinerad modell

En slutgiltig modell skapades, där modellerna för Miatorp och Augustenborg kombinerades. Denna modell användes för att avgöra effekten av blågrön infrastruktur i Miatorp. Modellerna för Miatorp respektive Augustenborg med kalibrerade parametrar (för parametervärden, se tabell 3 i kapitel 5) användes. För att avgöra effekten av blågrön infrastruktur i Miatorp användes parametrarna från Augustenborg på Miatorps avrinningsarea. Indata, dvs regnmängd, till modellerna delades upp baserat på area, enligt figur 16. Detta kräver att modellen för Augustenborg och dess parametrar är areaoberoende

eftersom arean på avrinningsområdet i Augustenborg inte användes i den kombinerade modellen. Utflöden från de två modellerna adderades ihop med utflödet från den långsamma reservoaren samt spillvattenflödet. Tre olika regnserier användes under simuleringen; hela regnserien från Miatorp presenterad i figur 7, ett designregn (10-årsregn med 15 minuters varaktighet) och en uppmätt regnserie från 2017 i Helsingborg (Dunkerska Huset).



Figur 16. Strukturen för den kombinerade modellen. Inflödet (regndata) till de tre på varandra följande reservoarerna delas upp baserat på area mellan en modell för Miatorp och en modell för Augustenborg. X anger hur stor procent av regndata som blir indata till modellen över Augustenborg. Utflödet från de två modellerna tillsammans med utflödet från en långsam reservoar och ett spillvattenflöde resulterar i ett modellerat flöde för Miatorp med X % blågrön infrastruktur.

5 Resultat

Resultatet från kalibreringen presenteras i tabell 3. Parametrarna n_1 , n_2 och n_3 bestämdes till värdet 1 efter kalibreringen för de båda modellerna, vilket betyder att reservoarerna är linjära. Liknande resultat från kalibrering av icke-linjära reservoarer presenteras i Haghigatafshar & Yamanee-Nolin & Larson (2019). Ytterligare kalibrering gjordes efter det att n_1 , n_2 och n_3 faststälts, för att närmare bestämma resterande parametrar.

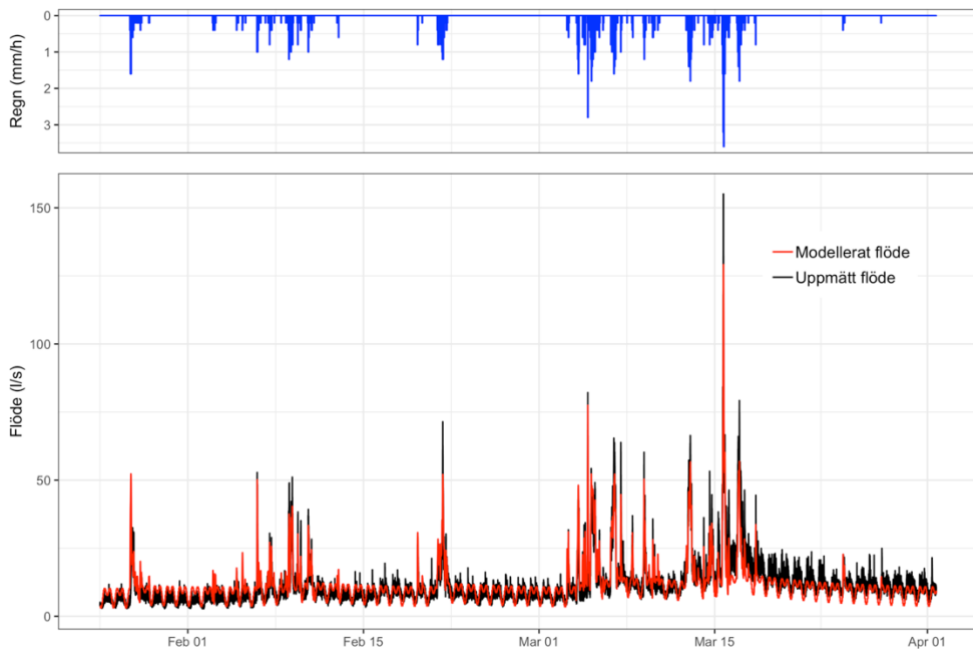
Tabell 3. Värdet på modellens parametrar efter kalibrering, för Miatorp och Augustenborg.

<i>Parameter</i>	<i>Beskrivning</i>	<i>Miatorp</i>	<i>Augustenborg</i>
n_1	Reservoarkoefficient – Reservoar 1	1	1
n_2	Reservoarkoefficient – Reservoar 2	1	1
n_3	Reservoarkoefficient – Reservoar 3	1	1
a_1	Reservoarkoefficient – Reservoar 1	0,11 (s-1)	0,0038 (s-1)
a_2	Reservoarkoefficient – Reservoar 2	0,11 (s-1)	0,50 (s-1)
a_3	Reservoarkoefficient – Reservoar 3	0,11 (s-1)	0,24 (s-1)
m	Reservoarkoefficient – Förluster	0,14	1
b	Reservoarkoefficient – Förluster	0,0039 (s-1)	0,0075 (s-1)
Sc	Kritisk reservoarvolym	490 (l)	2900 (l)
ns	Långsam reservoar-koefficient	0,935	-
as	Långsam reservoar-koefficient	0,00041 (s-1)	-
$frac$	Andel av regndata som den långsamma reservoaren tar hänsyn till	0,764	-

5.1 Modell: Miatorp

5.1.1 Kalibrering

NSE-värdet för kalibreringsperioden med parametrarna i tabell 3 är 0,86. Ett NSE-värde över 0 innebär att modellen är bättre än om ett medelvärde hade använts, maxvärdet för NSE är 1. Se figur 17 för modellerat samt uppmätt flöde under kalibreringsperioden.

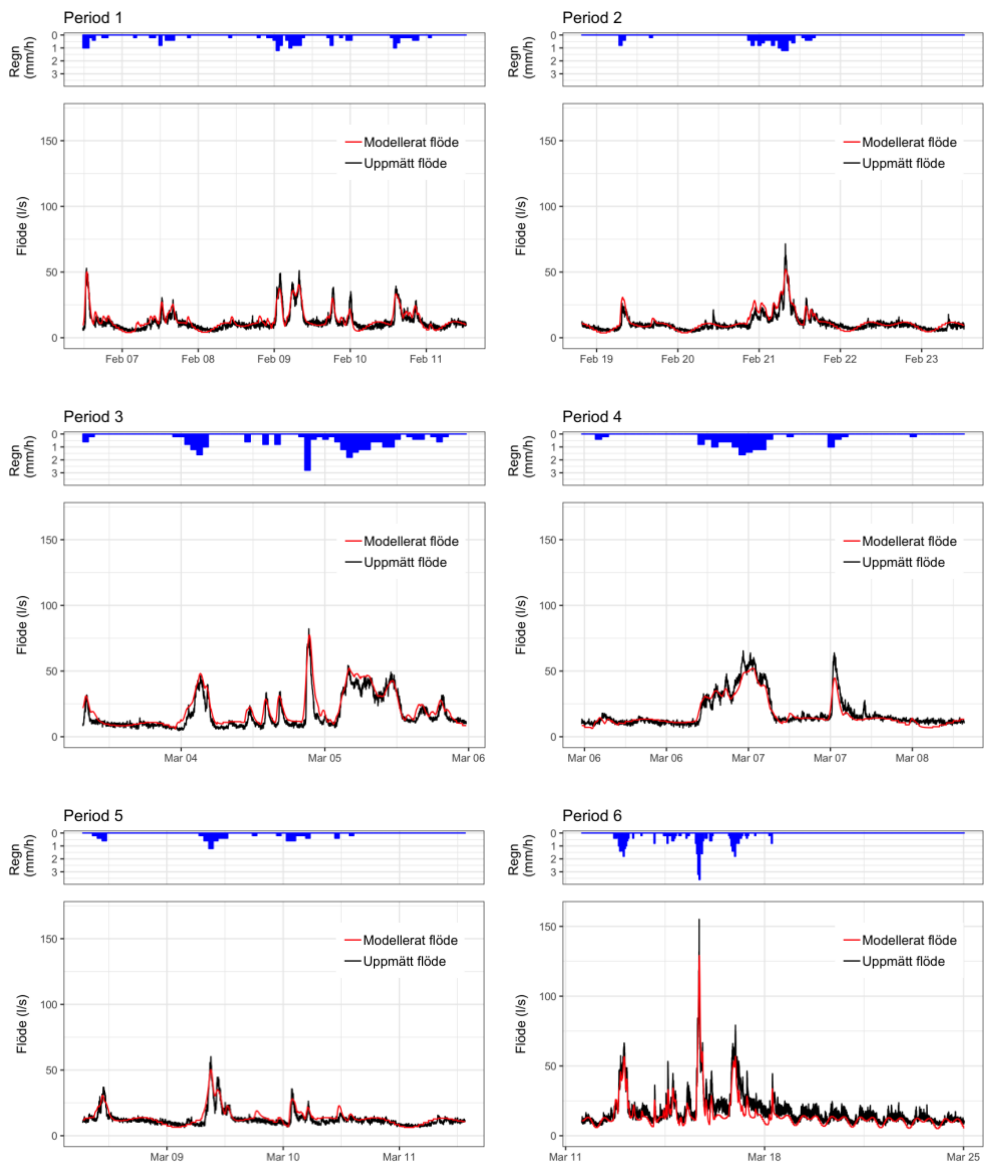


Figur 17. Modellerat samt uppmätt flöde för kalibreringsperioden. $NSE=0,86$.

I tabell 4 samt figur 18 presenteras sex perioder ur kalibreringsperioden. Figur 18 visar att tidpunkterna för flödestopparna stämmer väl överens men att det finns skillnad mellan maxvärdet på de uppmätta och de modellerade flödestopparna.

Tabell 4. Utvalda perioder där regn har registrerats vid mätpunkten samt respektive periods NSE-värde.

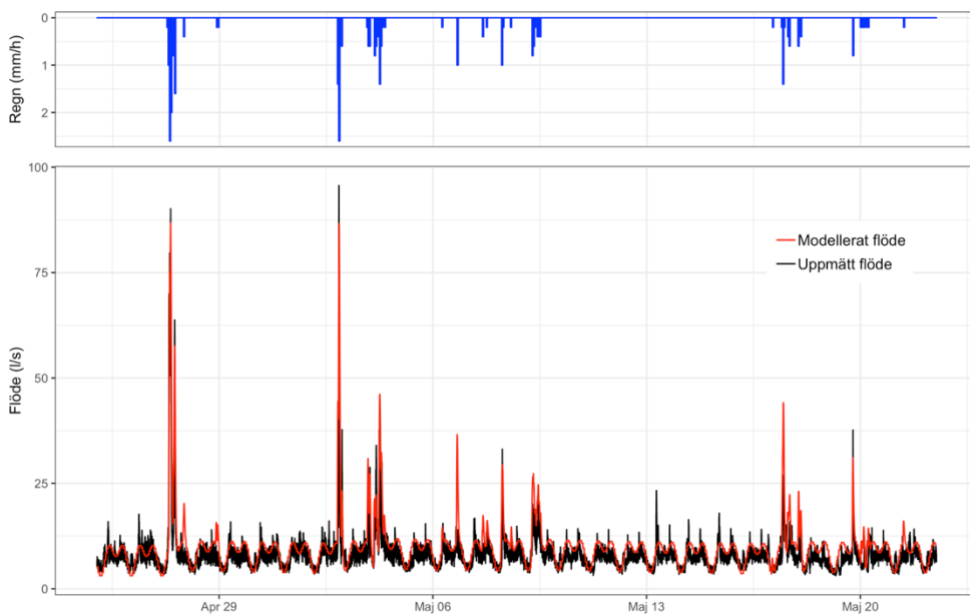
Period	ÅÅÅÅMMDD tt:mm	Periodens längd	NSE
1	20190206 12:00 /20190211 12:00	5 dygn	0,90
2	20190218 20:00 /20190223 12:00	4 dygn, 16 timmar	0,88
3	20190303 07:45 /20190306 00:00	2 dygn, 16 timmar, 15 minuter	0,82
4	20190306 00:00 /20190308 07:00	2 dygn, 7 timmar	0,93
5	20190308 07:00 /20190311 13:30	3 dygn, 6 timmar, 30 minuter	0,75
6	20190311 13:45 /20190325 01:00	13 dygn, 11 timmar, 15 minuter	0,80



Figur 18. Modellerat samt uppmätt flöde under period 1–6 i kalibreringsperioden. Observera att perioderna är olika långa.

5.1.2 Validering

NSE i valideringsperioden med parametervärden enligt tabell 3 är 0,45. Ett NSE-värde över 0 innebär att modellen är bättre än om ett medelvärde hade använts, maxvärdet för NSE är 1. Se figur 19 för modellerat samt uppmätt flöde i valideringsperioden.



Figur 19. Modellerat samt uppmätt flöde för valideringsperioden. $NSE=0,45$.

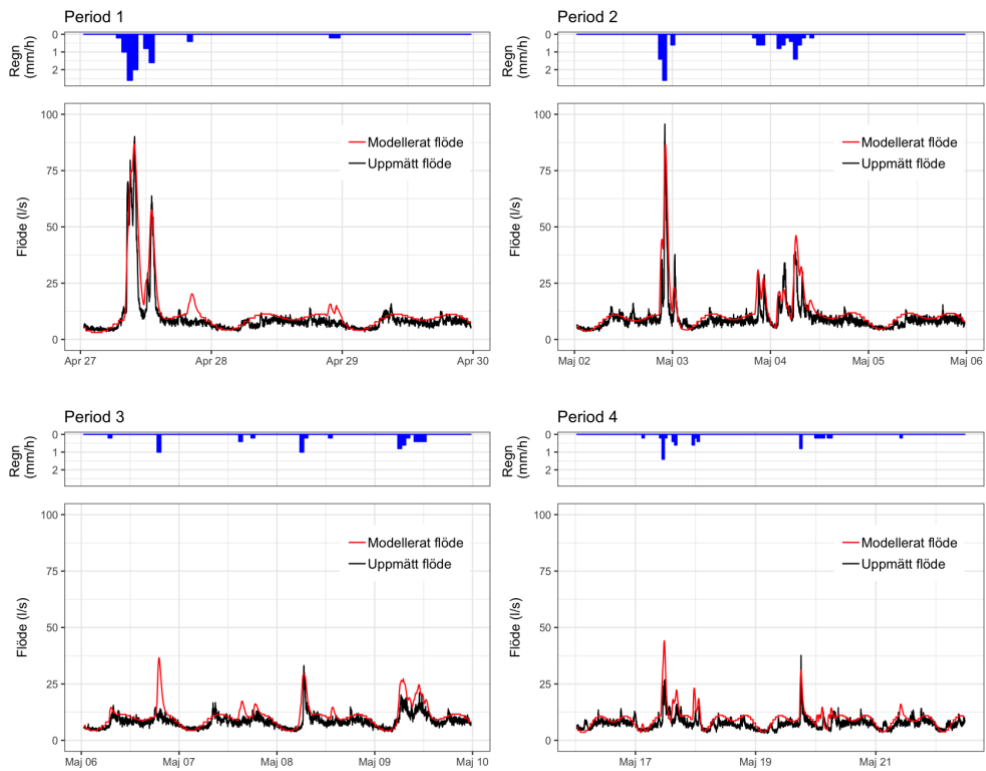
Tabell 5 och figur 20 visar utvalda perioder med regn under valideringsperioden. Period 1 och 2 har ett NSE-värde större än 0 och period 3 och 4 har ett NSE-värde mindre än 0. Enligt definitionen för NSE betyder att det för period 3 och 4 hade det varit bättre att använda ett medelvärde av flödet än att använda modellen för att förutspå flödet. Period 1 och 2 har större regn- och flödesmängder än period 3 och 4. Modellen har den 6 maj i period 3 uppskattat en flödeshöjning på grund av registrerat regn. I flödesmätningar har dock ingen höjning registrerats vilket därmed ger upphov till ett lägre NSE-värde för den perioden. För samtliga perioder bedöms tidpunkt för det modellerade och uppmätta flödet att överensstämma. Flödesskillnaden vid flödestoppen är störst för period 3 och 4. De negativa NSE-värdena i period 3 och 4 kan förklaras av att det modellerade flödet tenderar att ligga något över det uppmätta, vilket ger ett lågt NSE-värde. Vid flera tillfällen överskattar även

modellen flödestopparna. Dock, vid en okulär bedömning anses modellen stämma bra överens med det uppmätta flödet.

En okulär bedömning bör också göras av valideringsperioden i figur 19. En okulär bedömning rättfärdigar modellens tillämpbarhet bättre än dess NSE-värde som påverkas mycket av många sammanlagda överskattade modellerade flöden.

Tabell 5. Utvalda perioder under valideringsperioden med tillhörande NSE-värde.

<i>Period</i>	<i>ÅÅÅÅMMDD tt:mm</i>	<i>Periodens längd</i>	<i>NSE</i>
1	20190427 00:00 /20190430 00:00	3 dygn	0,78
2	20190502 00:00 /20190506 00:00	4 dygn	0,46
3	20190506 00:00 /20190510 00:00	4 dygn	-0,81
4	20190516 00:00 /20190522 11:30	6 dygn, 11 timmar, 30 minuter	-0,87



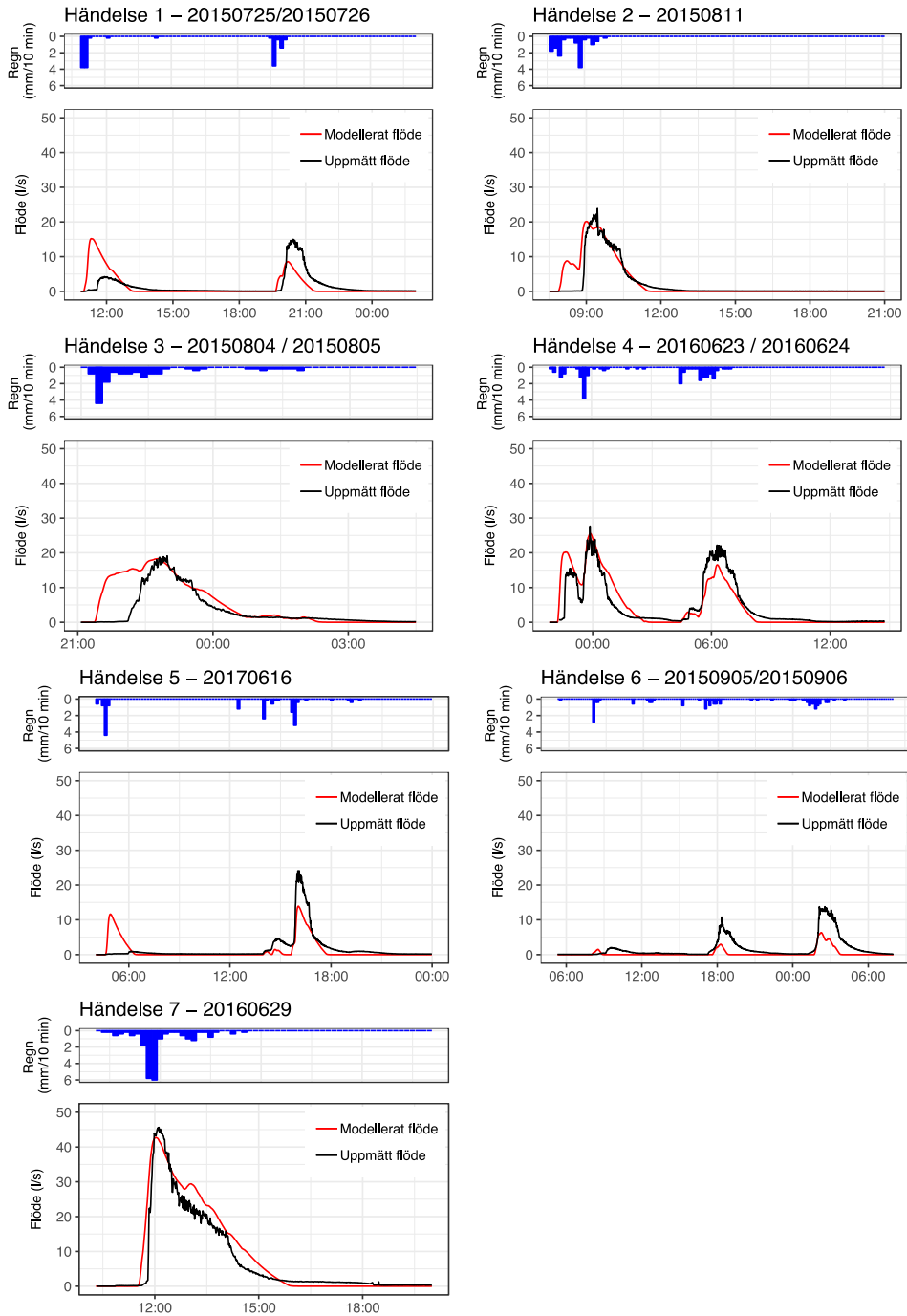
Figur 20. Modellerat samt uppmätt flöde under period 1–4 i valideringsperioden.

5.2 Modell: Augustenborg

Tabell 6 presenterar händelsernas enskilda NSE-värden med parametrarna från tabell 3 och figur 21 visar det modellerade och det uppmätta flödet för att visa modellens precision. NSE för händelse 1 fick ett negativt värde och NSE för händelse 2–7 fick positiva värden. Flödet vid topparna för det modellerade flödet och för det uppmätta flödet stämde bra överens för händelse 2, 3, 4 och 7.

Tabell 6. Regnhändelserna i Augustenborg, dess tidsperiod och tillhörande NSE- värde.

Händelse	ÅÅÅÅMMDD tt:mm	Periodens längd	NSE
1	2015-07-25 10:50/2015-07-26 01:59	15 timmar, 9 minuter	-0,11
2	2015-08-11 07:31/2015-08-11 21:00	13 timmar, 29 minuter	0,76
3	2015-08-04 21:00/2015-08-05 04:30	7 timmar, 30 minuter	0,35
4	2016-06-23 21:49/2016-06-24 14:45	16 timmar, 56 minuter	0,74
5	2017-06-16 04:03/2017-06-16 23:59	19 timmar, 56 minuter	0,52
6	2015-09-05 05:00/2015-09-06 08:00	27 timmar	0,34
7	2016-06-29 10:00/2016-06-29 20:00	10 timmar	0,90



Figur 21. Modellerat samt uppmätt flöde för händelse 1–7 i Augustenborg.

5.3 Kombinerad modell

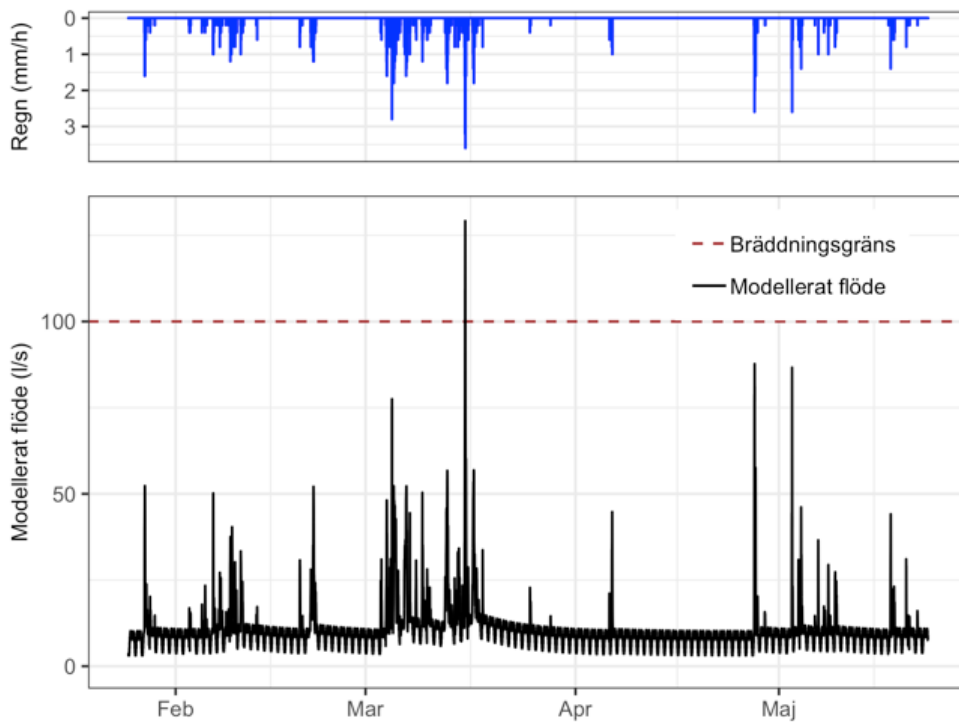
Tre regnserier användes för att avgöra hur mycket blågrön infrastruktur som behövs i Miatorp för att förhindra bräddningar. Flödesgränsen för bräddning i mätpunkten i Miatorp är uppskattad till 100 l/s. De tre regnserierna är:

- Miatorp – 2019-01-23 / 2019-05-22, ungefärlig längsta återkomsttid: knappt 1 månad
- Dunkerska Huset – 2017-07-16 / 2017-09-18, ungefärlig längsta återkomsttid: drygt 11 år
- Designregn – Varaktighet 15 minuter, återkomsttid 10 år

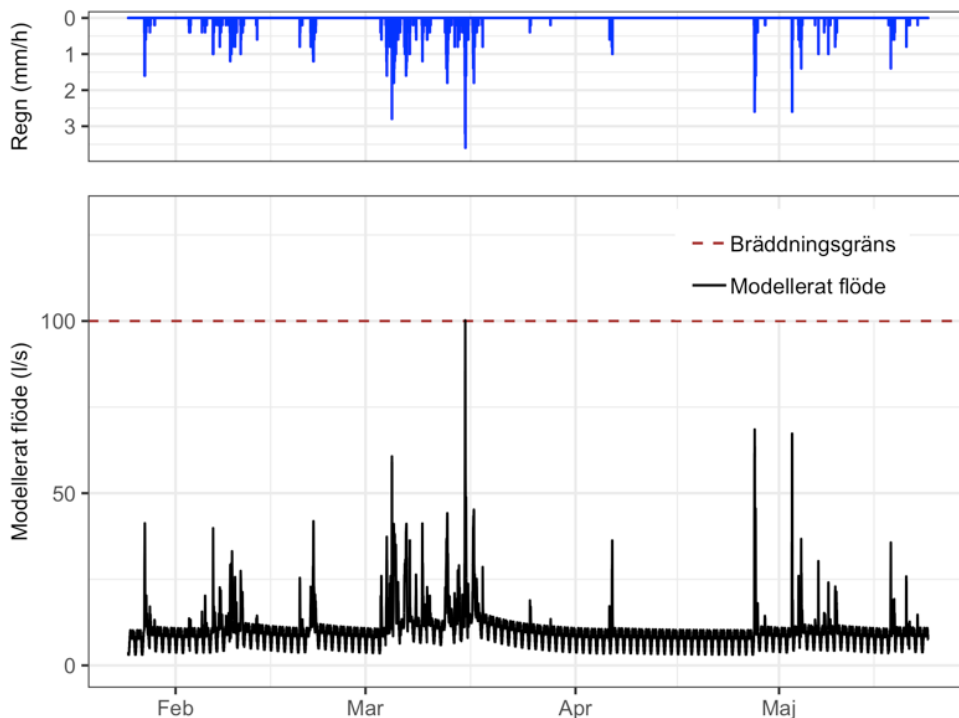
Återkomsttiderna för Miatorp och Dunkerska Huset beräknas enligt Dahlström (110 kap 10.1) där beräkningsmetoderna är tagna från Svenskt Vattens publikation P110 ”Avledning av dag-, drän- och spillvatten”. Återkomsttiderna uppskattades med hjälp av tillgängliga Excel-ark från Svenskt Vattens hemsida och bedöms inte vara exakta utan framtoggs för att ge en uppfattning hur regnhändelserna skiljer sig från varandra och för att göra det enklare att jämföra dem (Svenskt Vatten, 2017).

5.3.1 Miatorp – 2019-01-23 / 2019-05-22

Under regnperioden som användes för kalibrering och validering av modellen över Miatorp, skedde en bräddning. För att reducera bräddningen hade det krävts att 25 % av Miatorps area bestod av Augustenborgsbaserad blågrön infrastruktur. Figur 22 illustrerar hur flödet i ledningsnätet när 0 % blågrön infrastruktur finns i Miatorp. Figur 23 visar scenariot där 25 % av Miatorps area består av blågrön infrastruktur, flödet går aldrig över bräddningsgränsen.



Figur 22. Uppmätt regn (mm/h) och modellerat flöde (l/s) då 0 % av Miatorps area är blågrön, under perioden 2019-01-23 / 2019-05-22. Bräddningsgränsen är markerat med brun streckad linje.



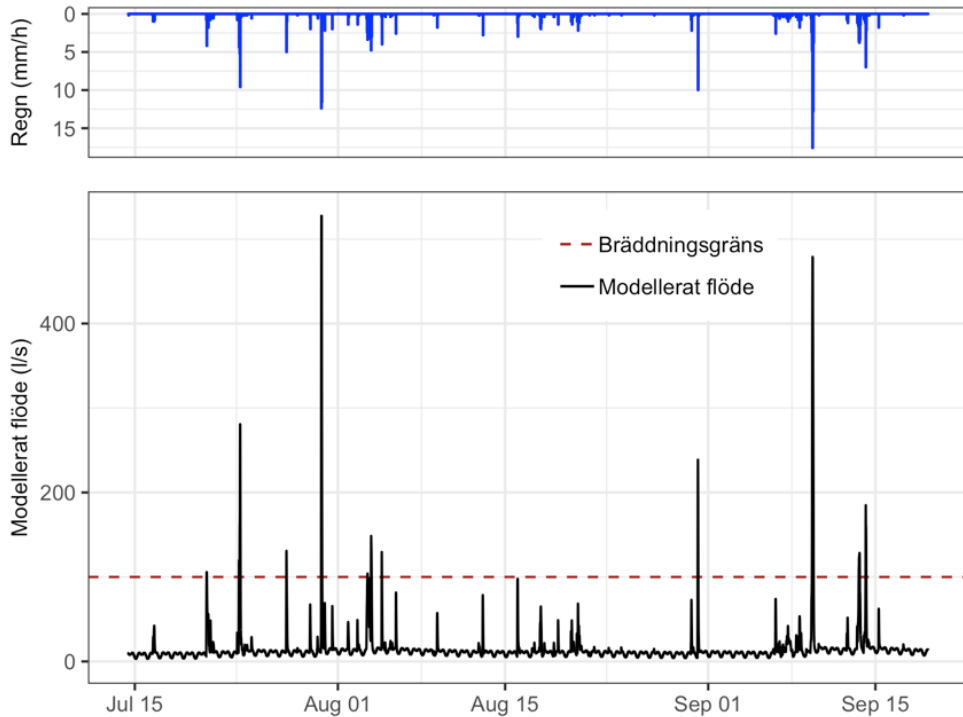
Figur 23. Uppmätt regn (mm/h) och modellerat flöde (l/s) då 25 % av Miatorps area är blågrön, under perioden 2019-01-23 / 2019-05-22. Bräddningsgränsen är markerat med brun streckad linje.

5.3.2 Dunkerska huset – 2017-07-16 / 2017-09-18

En historisk regnserie från Helsingborg används för att representera en kraftigare regnperiod i området. Data erhöles från NSVA och är uppmätt under perioden 2017-07-16 / 2017-09-18. Perioden beskrivs som en väldigt regnig period där det under augusti föll mer regn än normalt och under september föll dubbelt så mycket regn än det brukar göra (SMHI, 2018). Regnserien är uppmätt vid Dunkerska huset i Helsingborg, lokaliserat ungefär 6 km från Miatorp. Under periodens varaktighet uppskattas det största eventet motsvara ett regn med en återkomsttid på 11 år.

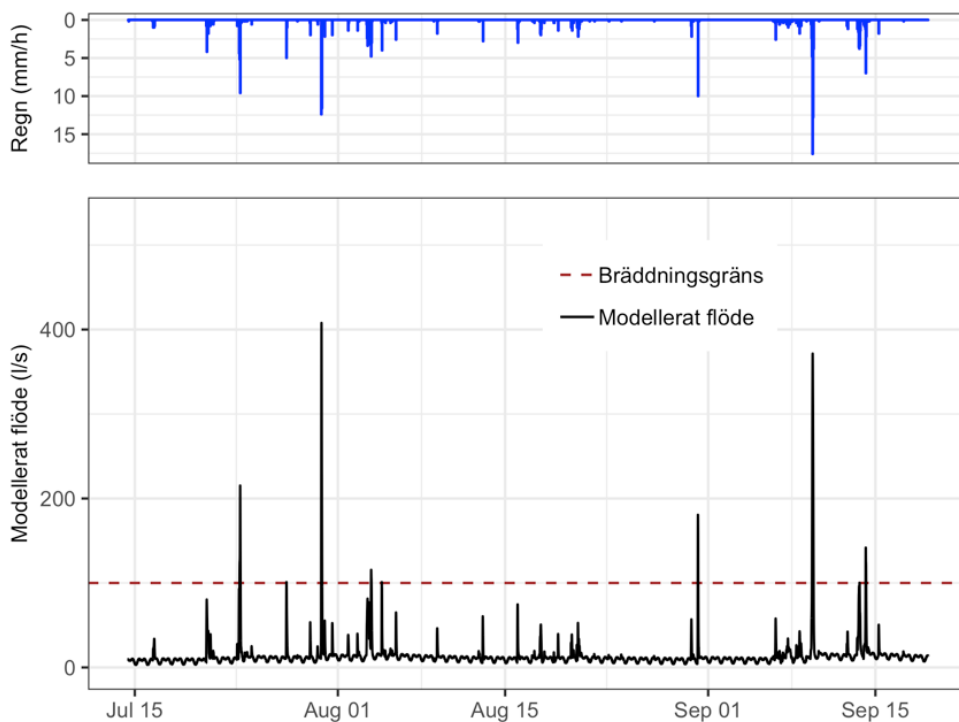
Regnperioden från Dunkerska Huset sattes först in i modellen med 0 % blågröna lösningar för att illustrera hur det nuvarande området skulle påverkas

av en sådan regnperiod enligt den framtagna modellen. Figur 24 visar att regnperioden skulle resultera i ca 10 bräddningar.



Figur 24. Uppmätt regn (mm/h) och modellerat flöde (l/s) då 0 % av Miatorps area är blågrön. Regnserien är uppmätt vid Dunkerska huset i Helsingborg under perioden 2017-07-16 / 2017-09-18. Bräddningsgränsen är markerat med brun streckad linje.

Eftersom det för den första regnserien hade krävts 25 % blågrön area för att helt reducera bräddningar, undersöktes samma area för regnserien från Dunkerska huset. Figur 25 illustrerar hur flödena i ledningsnätet i Miatorp hade minskat vid implementering av 25 % Augustenborgsbaserad blågrön infrastruktur. Implementeringen skulle innebära en toppreducering med ungefär 100 l/s för den högsta toppen under perioden (från drygt 500 l/s till drygt 400 l/s), se figur 24 och 25.



Figur 25. Uppmätt regn (mm/h) och modellerat flöde (l/s) då 25 % av Miatorps area är blågrön. Regnserien är uppmätt vid Dunkerska huset i Helsingborg under en mycket regnrik period uppmätt 2017-07-16 / 2017-09-18. Bräddningsgränsen är markerat med brun streckad linje.

För att reducera alla bräddningar i Miatorp som hade uppstått av en regnhändelse som Dunkerska huset krävs det att 95 % av arean av Miatorp består av blågrön infrastruktur. Figur 26 visar scenariot då 95 % av Miatorps area består av blågrön infrastruktur.

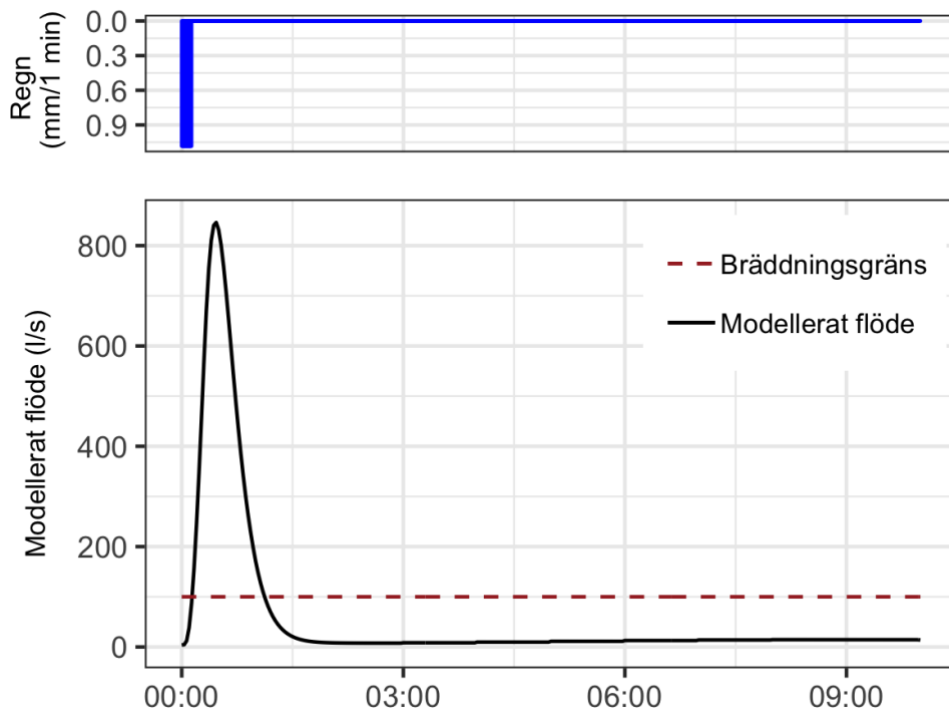


Figur 26. Uppmätt regn (mm/h) och modellerat flöde (l/s) då 95 % av Miatorps area är blågrön. Regnserien är uppmätt vid Dunkerska huset i Helsingborg under en mycket regnrik period uppmätt 2017-07-16 / 2017-09-18. Bräddningsgränsen är markerat med brun streckad linje.

5.3.3 Designregn

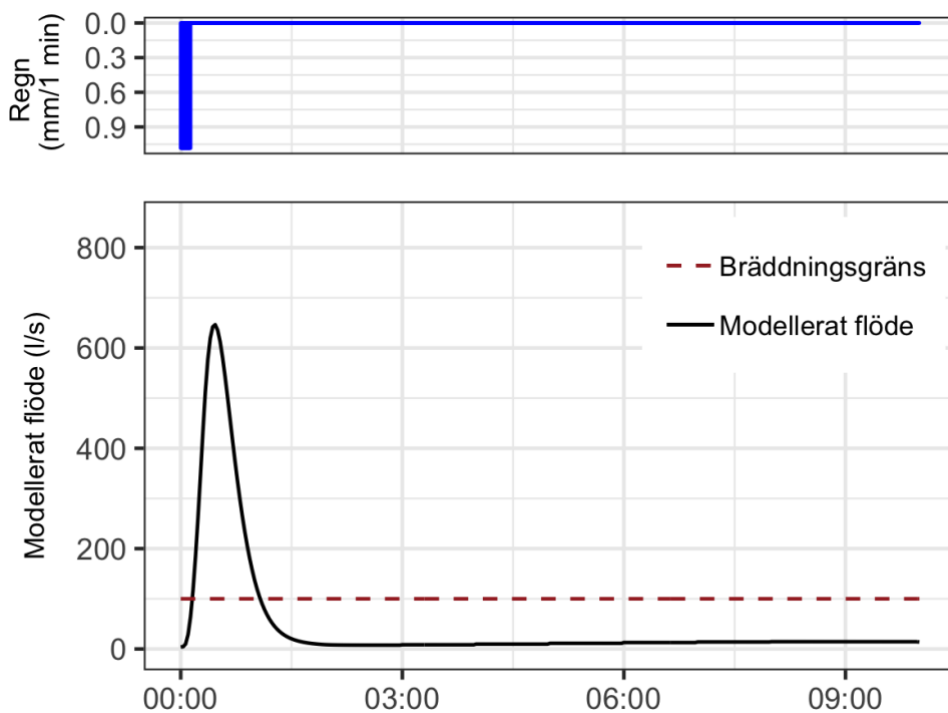
Designregnserien som används togs fram enligt Dahlströms ekvation. Återkomsttid och varaktighet anges för att få fram ett så kallat blockregn med en konstant regnintensitet över hela varaktigheten (Dahlström, 2006). Enligt NSVA bör bräddningspunkten vara designad så att källaröversvämningar undviks. Detta designregn bestäms ha varaktigheten 15 minuter och återkomsttiden 10 år. Dessa värden väljs för att kapaciteten för ledningsnät

designas för att klara ett 10-årsregn med 15 minuters varaktighet utan källaröversvämningar som konsekvens (Dahl, 2019). Figur 27 illustrerar hur Miatorp påverkas av designregnserien. Eftersom regnintensiteten är konstant under den 15 minuter långa varaktigheten blir figurerna för designregnet annorlunda jämfört med för faktiska regnserier och flödet karaktäriseras av en enstaka impuls.



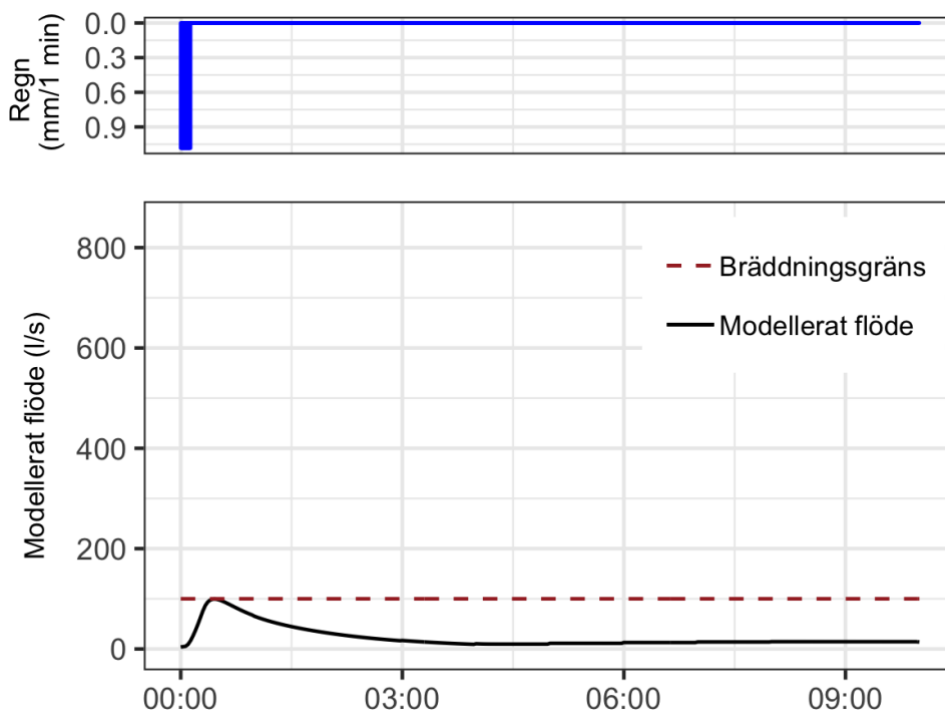
Figur 27. 10-årsregn med 15 minuters varaktighet och modellerat flöde (l/s) då 0 % av Miatorps area är blågrön. Bräddningsgränsen är markerat med brun streckad linje.

Som för de tidigare regnperioderna, undersöks effekten av att göra 25 % av Miatorps area blågrön. Effekten av 25 % blågrön infrastruktur i Miatop för designregnet skulle innebära en toppreducering med ungefär 200 l/s. Figur 28 visar hur flödet i mätpunkten i Miatorp hade minskat vid implementering av 25 % Augustenborgsbaserad blågrön infrastruktur.



Figur 28. 10-årsregn med 15 minuters varaktighet och modellerat flöde (l/s) då 25 % av Miatorps area är blågrön. Bräddningsgränsen är markerat med brun streckad linje.

För att förhindra att bräddning till följd av designregnet, krävs det att 97 % av Miatorps area består av Augustenborgsbaserad blågrön infrastruktur, se figur 29.



Figur 29. 10-årsregn med 15 minuters varaktighet och modellerat flöde (l/s) då 97 % av Miatorps area är blågrön. Bräddningsgränsen är markerat med en brun streckad linje.

5.4 Sammanställning av resultat

I kapitel 5.3 presenterades resultaten av den kombinerade modellen och den effekt som blågröna lösningar, likt de som finns i Augustenborg skulle ha på området. I tabell 7 presenteras en uppskattning av vad dessa resultat hade inneburit i form av blågröna lösningar, se bilaga III för uträkningar till tabellen. För att helt reducera bräddningar i området krävdes att blågröna lösningar implementerades på 25 %, 95 % och 97 % av Miatorps area baserat på de olika regnserierna. För att kunna tolka detta i form av blågröna lösningar gjordes en

uppskattning. Uppskattningen baserades på uppgifter om längd på svackdiken och öppna kanaler (Stahre, 2008, ss 42-60), antal dammar (Sörensen & Emilsson, 2018) samt andel gröna tak (Haghighatafshar & Yamanee-Nolin & Larson, 2019) som finns i det Norra systemet i Augustenborg, se tabell 7. Det är svårt att uppskatta kapaciteten hos de dammar som finns i Augustenborg (Sörensen & Emilsson, 2018), varför antal dammar används i uppskattningen.

Tabell 7. En uppskattning av hur mycket blågröna lösningar som hade behövts i Miatorp för att undvika bräddningar. 25 %, 95 % och 97 % av arean presenteras baserat på resultaten från kapitel 5.3.

Blågrön lösning	25 %	95 %	97 %
Svackdiken (m)	200	750	770
Antal dammar	1,6	6,0	6,2
Gröna tak (m ²)	250	950	970
Öppna kanaler (m)	24	90	92

6 Åtgärdsförslag Miatorp

För att minska bräddningar i området krävs en ökning av blågröna ytor i avrinningsområdet. Dessa lösningar hade gett upphov till en ökad infiltration, fördröjning och magasinering av regn i området. I tabell 3 speglas detta i olika parametervärdena för Miatorp respektive Augustenborg där det sistnämnda representerar det blågröna området. Parametrarna m och b ger även en högre infiltrationsvolym. Magasinering representeras av den kritiska reservoarvolymen vilken är högre för de blågröna områdena. Det är alltså detta som ger upphov till de lägre flödena då andelen blågröna ytor ökar i modellen. Det är också detta som lägger grunden till de åtgärdsförslag som nedan framförs.

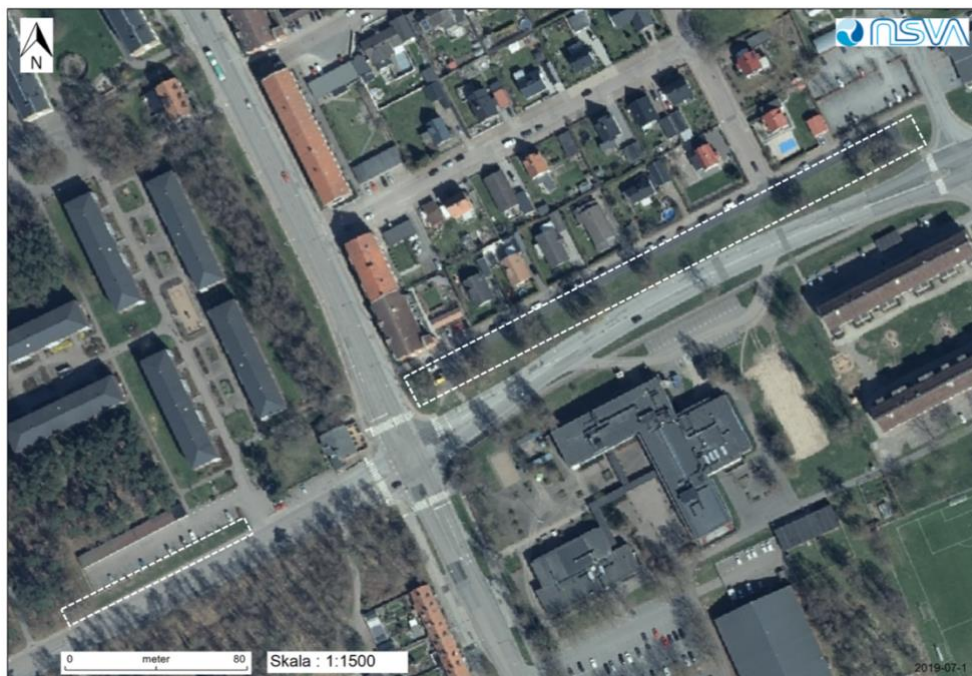
Modelleringens resultat angående hur mycket blågrön infrastruktur som behövs presenteras i tabell 7. Åtgärdsförslagen som presenteras i detta kapitel är baserade på fältobservationer i området och inte på vilken infrastruktur som finns i Augustenborg. Fältobservationer i Miatorp gjordes både i början och i slutet av processen. Nedan presenteras förslag på hur blågrön infrastruktur kan implementeras i den befintliga bebyggelsen i Miatorp.

6.1 Svackdiken

Grunda dräneringsdiken kallas för svackdiken. Svackdiken implementeras fördelaktigt på en gräsmatta som sänks ned och lätt fylls upp av regnvatten. De bidrar med infiltration och fördröjning samt till att dränera närliggande impermeabla ytor genom att transportera bort vattnet. För att förhindra erosion designas dem med en lätt lutning i flödesriktningen där slutet av svackdiket är kopplat till områdets ledningsnät. För att svackdiket ska fungera krävs regelbunden gräsklippning och bortföring av skräp (Stahre, 2006, s. 50 och s. 32).

Längs en del av Rusthållsgatan som sedan övergår till Koppargatan hade ett svackdike kunnat implementeras genom en nedsänkning av den gräsbevuxna ytan som finns bredvid vägen. I figur 30 är areorna för svackdikerna markerade med streckad vit linje, dikena hade varit ungefär 250 m respektive 100 m långa. Just nu ligger vägen längre ner än vad omkringliggande gräsmatta gör,

se figur 31 A och B. Vid stora regnfall hade denna åtgärd bidragit till att flöden förflyttas till svackdiket från bilvägen. Flödet till de dagvattenbrunnar som finns längs med bilvägen hade minskat och därmed hade belastningen på ledningsnätet minskat.



Figur 30. Satellitbild över den del av Rusthållsgatan och Koppargatan där ett svackdike hade kunnat implementeras. De föreslagna areorna är markerade med en vita streckade rektanglar på bilden. (VA-banken, 2019)



Figur 31. A & B. Gräsbevuxen mark bredvid Rusthållsgatan och Koppargatan i Miatorp. Gräsmattan hade kunnat sänkas ned för att skapa ett svackdike. Foto: Lovisa Eriksson, 2019

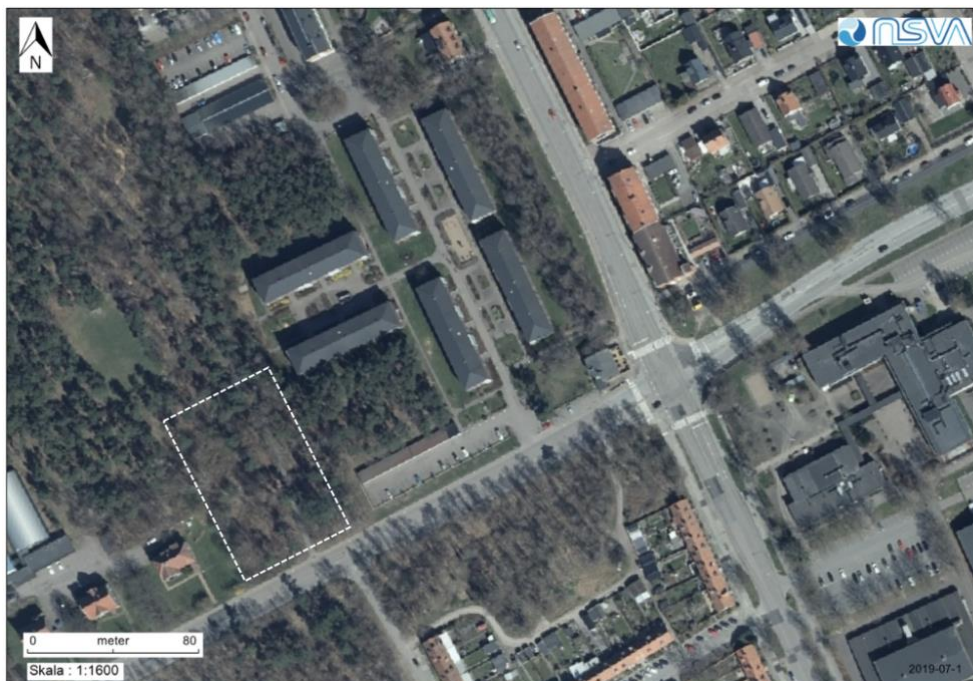
6.2 Våtmark och/ eller damm

Våtmarker kan beskrivas som grunda och vattenfyllda områden där ytvattnet är fyllt av vattenväxter. Stora våtmarker är ofta lokaliserade i utkanten av städer men mindre våtmarker kan implementeras i stadsdelar (Stahre, 2006, s. 64). De renar och fördröjer dagvatten samt bidrar med mervärden som exempelvis ökad biodiversitet och ett grönskande område där invånare kan vistas (Stahre, 2008, s. 19).

I Helsingborgs stadsplanering, Stadsplan 2017, finns ett kunskapsunderlag *Vatten och översvämning*. I kunskapsunderlaget föreslås att en åtgärd för att fördröja flödet uppströms Lussebäcken för att förhindra översvämningar är att implementera översvämningssytor och våtmarker (Helsingborgs Stad, 2016 b).

I Miatorp finns ett skogsområde norr om Koppargatan där en liten våtmark hade kunnat anläggas. Ett annat förslag på en åtgärd i samma område är att

anlägga en damm. Precis som våtmarker så magasineras och rensar dammar dagvatten. Området där en damm eller en våtmark hade kunnat implementeras är markerat med vit streckad linje i figur 32. Flödet från det sydliga svackdiket i figur 30 hade kunnat leda hit.



Figur 32. Satellitbild över området i Miatorp där en våtmark eller damm hade kunnat anläggas. Den föreslagna platsen är markerad med en vit streckad linje. (VA- banken, 2019)

6.3 Öppen dagvattenhantering från stuprör

Längs Landskronavägen ligger en lång byggnad där allt regnvatten från taket leds ner i stuprör som förmodas leda direkt till ledningsnätet. Byggnaden bedöms vara ungefär 200 m lång och 12 m bred och är markerad med en vit streckad linje i figur 33. Det går inte att se om vattnet leds ner i ett kombinerat- eller dagvattenledningsnät. Längs hela västra delen av byggnaden finns en rabatt med grus och växter, se figur 34. Om regnvattnet istället hade runnit ner i grusrabatten och mer vegetation hade införts hade belastningen på ledningsnätet minskat. Då den grusfyllda rabatten redan finns på plats borde

detta vara en relativt simpel åtgärd för att reducera belastningen på ledningsnätet.



Figur 33. Den ungefär 200 m långa byggnaden med stuprör som leder regnvatten direkt till ledningsnätet är markerad med vit streckad linje. (VA- banken, 2019)



Figur 34. Byggnad med stuprör som leder regnvatten ner i ledningsnätet. Foto: Lovisa Eriksson, 2019

6.4 Förändrad parkering

Asfaltsparkeringsplatser är helt impermeabla och bidrar inte med någon infiltration. Det finns exempel på permeabla parkeringsplatser som bidrar med infiltration av dagvatten (Sörensen, 2018). Dessa kan exempelvis vara grusbelagda eller bestå av gatsten. Vegetation på och runt om kring parkeringen avlastar också ledningsnätet vid stora regnhändelser. Vegetationen ska helst vara nedsänkt så att regnvatten rinner dit istället för att rinna ner i dagvattenbrunnar.

Längs Landskronavägen finns en ungefär 400 m lång och 15 m bred parkeringsplats, den är markerad med vit streckad linje i figur 35. Parkeringsplatsen hade kunnat göras mer permeabel genom att sänka ner vegetationen så att mer regnvatten rinner dit istället, alternativt byta ut asfalten mot grus eller gatsten. Figur 36 och 37 visar foton från den befintliga parkeringsplatsen.

Ytterligare en åtgärd som hade reducerat flöden från parkeringsplatsen är att skapa en regnträdgård någonstans längs parkeringsplatsen. En regnträdgård kan beskrivas som en vegetationsfylld nedsänkning i marken som absorberar regn från trottoarer, tak och gator (EPA, u.å) och bidrar med avdunstning, transpiration, infiltration och fördröjning (Sörensen, 2018).



Figur 35. Den vita streckade rektangeln visar arean där den befintliga impermeabla parkeringsplatsen är lokaliserad (VA- banken, 2019)



Figur 36. Parkering längs landskronavägen. Foto: Lovisa Eriksson, 2019



Figur 37. A, B och C. A: Dagvattenbrunn som leder dagvatten från parkeringen ner i ledningsnätet. B och C: Upphöjda gräsmattor mellan parkeringsrader. Foto: Lovisa Eriksson, 2019

6.5 Gröna tak

Gröna tak absorberar små regnfall men vid stora regnfall, när taket är mättat av vatten, är absorberingen försumbar (Stahre, 2006, s. 24). Regnvattnet magasineras i vegetationen på taket och avdunstar och transpirerar sedan, detta istället för att rinna ner i ledningsnätet (Bengtsson & Grahn & Olsson, 2004). En byggnad med gröna tak har krav på att kunna hålla för tyngden av vegetationen och det absorberade vattnet. Taket måste också ha en tillräckligt liten lutning (Stahre, 2006, s. 24). På grund av alla krav som ställs på byggnaderna så rekommenderas det att gröna tak implementeras på framtida nybyggnation i Miatorp.

7 Diskussion

7.1 Modellens tillämpbarhet

Enligt valideringen för modellen över Miatorp går det att dra slutsatsen att modellen stämmer väl överens med verkligheten. Modellen, som är uppbyggd efter regn- och flödesdata från Miatorp, klarar av att förutspå flödestoppar och att efterlikna flödesvolymerna väl. I alla figurer för kalibrering och validering, figur 17–19, går det att se att det finns vissa modellerade flöden som inte stämmer bra överens med verklighetens flöden. Dessa feluppskattningar hade med största sannolikhet blivit färre och mindre om modellen hade baserats på en längre period av data. Ju mer data som modellen är baserad på, desto större chans är det att modellens parametervärden estimeras korrekt. Ett exempel på en period där modellen stämde mindre bra överens med det uppmätta flödet är period 3 i valideringen, se figur 20. I figuren går det att se att det under den 6 maj registrerats regn vid mätpunkten som ger upphov till ett modellerat flöde, men samma flödeshöjning har däremot inte registrerats i det uppmätta flödet. Detta sänker NSE-värdet för perioden. Händelsen är dock relativt liten och eftersom det är de stora flödena, de som ger upphov till bräddningar, som är av störst vikt i vår modell så kan denna feluppskattning av modellen anses mindre väsentlig. Även period 4 har ett lågt NSE-värde men även den perioden kan anses vara av mindre vikt för modellens syfte eftersom det inte registrerats några stora flödestoppar under perioden.

Med samma resonemang kan det sägas att modellen för Augustenborg hade kunnat förbättras om mer data hade funnits tillgängligt. Modellen är endast baserad på sju regnhändelser, och även om dess NSE-värden visar på bra resultat så är det svårt att göra en bedömning över modellens giltighet. Händelserna skiljde sig mycket ifrån varandra i regnmängd, därav de relativt dåliga NSE-värdena för händelse 1, 3 och 6, se tabell 6 och figur 21. Både fler händelser eller längre perioder hade varit önskvärt. Eftersom ingen validering gjorts för den blågröna modellen, är det svårt att avgöra hur giltig modellen och väl den stämmer för andra händelser. Det går inte att utesluta att modellen är överanpassad efter just de händelser som använts till kalibreringen.

Spillvattnet utgör en grundläggande funktion i en lednings flödesmönster. Spillvattenflödet i modellen representeras av en trigonometrisk kurva. Det

finns felkällor hos modellens spillvattenflöde eftersom modellen inte kan ta hänsyn till invånarens vattenanvändning och inte heller årstider. Om en längre tidsperiod hade använts så hade årstidernas påverkan på spillvattenflödet i området kunnat estimeras. I just den här modellen, som undersöker mycket stora flöden, spelar inte spillvattenflödet någon väsentlig roll för resultatet. Det högsta flödet från spillvattnet utgör t.ex. ungefär bara 2 % av flödestoppen i det modellerade flödet för Dunkerska Huset.

Tillämpbarheten för den kombinerade modellen beror till stor del på hur väl utformade de två enskilda modellerna är. En annan faktor som har stor påverkan på modellens resultat är areauppskattningen, eftersom modellen är areaberoende. Storleken på det modellerade flödet är direkt kopplat till storleken på områdets uppskattade avrinningsarea. Även avrinningsarean för Augustenborg har stor betydelse för modellen. Det krävs att de parametrar som kalibrerats fram för Augustenborg är oberoende av area för att de ska vara applicerbara i den kombinerade modellen, eftersom arean på avrinningsområdet i Augustenborg inte används i den kombinerade modellen. Eftersom kunskapen om hur dagvattensystemet i Augustenborg ser ut och är utformat är stor, kan dock denna osäkerhet bedömas vara mindre än den osäkerhet som finns kring arean i Miatorp.

För Miatorp uppskattades en reducerad area eftersom det inte gick att avgöra vilken avrinningsarea som faktiskt var kopplad till ledningen där flödesmätningen gjordes. I ett område med endast ett duplikatsystem hade det varit lättare att uppskatta en avrinningsarea. Det hade också varit lättare att avgöra hur stor mängd regn som aldrig nådde någon ledning under en regnhändelse, på grund av förluster i form av infiltration och avdunstning. Uppskattningen av den reducerade avrinningsarean som användes i modellen baserades på samma regn- och flödesmätningar som användes i modellen. Om en större area hade använts hade modellen kunnat kompensera ett för högt flöde genom att öka förlusterna från den första reservoaren i modellen, vilket hade gjort parametrarna mer lika de från Augustenborg. Detta hade möjligtvis förändrat resultatet från simuleringen på så sätt att en mindre del av arean hade behövt vara blågrön för att åstadkomma samma reduktion i flödet. Eftersom den totala arean hade varit större, behöver dock inte en mindre del av arean betyda att mängden och storleken på de blågröna lösningar hade varit mindre och slutresultatet kanske ändå hade blivit snarlikt det som finns presenterat i tabell 7.

För att representera blågrön infrastruktur under simuleringen användes exempelområdet Augustenborg. Det är inte bara den blågröna infrastrukturen som kan komma att påverka ett avrinningsområdes egenskaper utan också andra aspekter som t.ex. höjdsättning. Det bör alltså tas i beaktande att andra aspekter än de som implementerats i den kombinerade modellen kan leda till reducerad avrinning till ledningsnätet.

Det finns flera exempel på när stadsdelen Augustenborg klarar av att hantera översvämningar bättre än resterande Malmö. En anledning till det, bortsett från dess blågröna infrastruktur, kan vara att det är lokaliserat relativt uppströms jämfört med resterande avloppssystemet i Malmö (Haghighatafshar et al, 2018). Det är svårt att säkerställa om Augustenborgs framgång beror av dess höjdsättning eller dess blågröna infrastruktur. Ett motiv till att höjdsättningen inte spelar en avgörande roll beskrivs i Sörensen & Emilsson (2018) där Augustenborg jämförs med både högre och lägre belägna stadsdelar i Malmö. Stadsdelarna Almhög och Hindby blev hårt drabbade av översvämningar under extremregnet i augusti 2014 trots att de är lokaliserade högre upp än Augustenborg. Däremot blev Södra Sofielund, med låg höjdsättning, väldigt påverkat. Anledningen till det kan dock mer bero på att det är lokaliserat nära en huvudledning (Sörensen & Emilsson, 2018).

I avrinningsområdet i Miatorp finns en stor väg som troligtvis bidrar mycket till den snabba och kraftiga avrinningen i området. Huvudgatan i Augustenborg är inte inkluderad i det öppna dagvattensystemet, utan dräneras med en dagvattenledning. Detta är ytterligare en aspekt som försvårar tolkningen av resultaten från den kombinerade modellen. Eftersom vägar bidrar till snabb avrinning utan infiltration, hade en mindre mängd blågröna lösningar behövts i området ifall den stora vägen dränerades med en dagvattenledning och endast andra områden i avrinningsområdet skulle inkluderas i ett öppet dagvattensystem.

Regnserien och designregnet som användes för att avgöra hur mycket blågrön infrastruktur som behövdes i området gav liknande resultat med den kombinerade modellen, där en area på 95 % respektive 97 % med blågröna lösningar hade gjort att flödet höll sig under 100 l/s och därmed förhindrat bräddningar. Det modellerade flödet med 0 % blågrön area var dock betydligt högre för designregnet än för den historiska tidsserien från Dunkerska huset. Branchstandard är att använda olika typer av designregn vid

kapacitetberäkningar av ledningsnät vid översvämningsärenden mot försäkringsbolag, därför bör resultaten från designregnet anses vara av stor vikt. Dock finns studier som visar på att designregn kan vara missledande vid översvämningsberäkningar eftersom översvämningsrisken ofta överskattas (Thorndal, 2015). Återkomsttiden för det kraftigaste regnet uppmätt vid Dunkerska huset är uppskattat till 11 år, och ger ett flöde på drygt 500 l/s, se figur 24. Det designade 10-årsregnet ger ett flöde på över 800 l/s, se figur 27. Det kan alltså misstänkas att flödet är överskattat för designregnet.

7.2 Åtgärdsförslagen för Miatorp

Enligt modellen krävs det att 95–97 % av området liknar stadsdelen Augustenborg gällande andel blågrön infrastruktur för att förhindra bräddningar i Miatorp. Resultatet baseras på ett designregn och på en historisk händelse. För att förebygga bräddningar under tidsserien från Miatorp 20190123–20190522 krävdes endast en implementering av 25 % Augustenborgsbaserad blågrön infrastruktur, denna tidsserie var dock skonad från riktigt stora regnfall. Eftersom bräddningsgränser är designade att ske vid lägre flöden än vid dämning så bör det belysas att risker för dämning relaterade konsekvenser, som källaröversvämnings, är mycket låga när bräddningsrisker är relativt låga. Dimensioneringskraven för NSVA är att inga översvämnings ska ske vid 10-årsregn. Om Miatorp designas för att undvika bräddningar vid ett 10-årsregn enligt examensarbetets modell innebär det alltså att källaröversvämnings undviks även vid kraftigare regn. Diskussioner bör föras i frågan om det hade varit en möjlighet att brädda någon gång om året, detta för att undvika för stora rekonstruktioner motsvarande 97 %.

Ett mål vid rekonstruering av Miatorp hade kunnat vara att uppnå de 25 % som hade behövts för att undvika bräddningar för tidsserien från Miatorp vinter/vår 2019. Förslagsvis hade dessa åtgärder kunnat kombineras med att konstruera ett duplikatsystem i vissa delar av Miatorp där det i dagsläget finns ett kombinerat system.

Det finns ett flertal åtgärdsförslag på blågrön infrastruktur som hade kunnat implementeras i Miatorp för att reducera volymen dagvatten till ledningsnäten. I Helsingborgs *Stadsplan 2017* (Helsingborgs Stad, 2016 a) beskrivs att staden har som mål att göra alla kombinerade ledningsnät till duplikata, detta för att

minska belastningen på reningsverk, bräddningar och källaröversvämningar. Att bygga om ett ledningsnät från kombinerat till duplikat innebär stora kostnader och stora arbetsinsatser vid uppgrävning av gator. Ett alternativ till att separera ledningsnätet hade varit att istället implementera blågrön infrastruktur för att reducera flödesvolymerna i det kombinerade ledningsnätet. Även att kombinera en del av separeringen med en del blågrön infrastruktur är ett alternativ. Utöver att undvika att gräva upp vägar är ytterligare ett motiv till att använda blågrön infrastruktur framför att separera ledningsnät alla andra fördelar som de tillför.

Att implementera en regnträdgård, att gräva ner vegetationsytorna på parkeringsplatsen samt att leda stuprörsvattnet till rabatter kan ses som småskaliga blågröna lösningar som inte innebär stora ombyggnationer. Att gräva upp parkeringsplatsen och ändra dess fyllnadsmaterial till något mer permeabelt hade inneburit ett större projekt, dock ett mindre projekt än att implementera duplikata ledningar. Varken permeabla parkeringsplatser eller ”öppna” stuprör som leder till rabatter finns listade i tabell 7 men lösningarna valdes att representeras av gröna tak istället. Precis som gröna tak innebär de att impermeabla ytor omvandlas till permeabla ytor som bidrar med bl.a. infiltration och avdunstning. För att Miatorp ska likna Augustenborg till 25 % krävs det 250 m² gröna tak. Parkeringsplatsen och rabatterna hade tillsammans utgjort en area på 8 400 m² vilket t.o.m. högt överstiger ett område som liknar Augustenborg till 100 %. Enligt figur 3 är det mycket troligt att brunnarna på parkeringen leder till en kombinerad ledning. Alltså beräknas de presenterade åtgärdsförslagen rörande industriområdet att bidra med stora reduceringar av volymen vatten som når ledningsnätet.

Samma resonemang som för den permeabla parkeringsplatsen gäller för att skapa ett svackdike, det är ett större projekt som innebär mer kostnader men antagligen inte lika stora utgifter som att separera hela ledningsnätet längs Koppargatan/Rusthållsgatan. Svackdikena som presenteras som åtgärdsförslag i Miatorp är tillsammans 350 m långa, vilket är tillräckligt för att efterlikna Augustenborg med mer än 25 %, enligt tabell 7.

Positivt med en framtida implementering av en damm eller våtmark är att det bidrar med rekreativvärden, något som ofta nämns i samband med blågröna lösningar. Damm och våtmarker ger biodiversitet och vackra vattenstråk där invånare kan njuta av naturen. Det är viktigt att ha i åtanke att inte alla berörda

invånare vill att naturen ska förändras. Idag är det föreslagna skogsområdet fyllt av tät vegetation med mycket snår och buskar. Enligt tabell 7 krävs 1,6 dammar för att återskapa den blågröna infrastruktur som finns i Augustenborg. Åtgärdsförslaget som har presenteras är endast en damm eller en våtmark, alltså inte tillräckligt för att representera Augustenborg. Dock kan en våtmark vara mer effektiv än en damm och storleken på dammen spelar såklart en stor roll.

Det är ofta önskvärt att ha mycket gröna områden i städer men bara för att en stadsdel innehåller mycket vegetations- och vattenytor innebär inte det att översvämningsrisker minskas. Ett exempel på detta är att innan Augustenborg byggdes om, och blågrön infrastruktur implementerades, var stadsdelen redan relativt grön men drabbades trots det av mycket källaröversvämningar. Alltså, blågröna områden behöver inte ha en betydande effekt på flöden till ledningsnät. För att vara säkra på att flödesvolymerna reduceras behöver de blågröna ytorna vara designade och planerade för just dagvattenfördröjning och -utjämning (Sörensen & Emilsson, 2018).

Det går att rada upp ett antal positiva attribut med blågrön infrastruktur men det finns även negativa aspekter med dem. En negativ konsekvens med många blågröna lösningar som t.ex. dammar, våtmarker och svackdiken är att de kräver stora utrymmen. Städer kan ofta vara tätt bebyggda och det är därför ett incitament till att kombinera den blågröna lösningen med någon annan markkrävande bebyggelse som en park. Blågrön infrastruktur i områden innebär också säkerhetsrisker då det ger upphov till många vattenfyllda områden. För att undvika olyckor bör stängsel, skyddsplanteringar och livbojar investeras i. Jämfört med ett ledningsnät så behöver ofta blågrön infrastruktur betydligt mycket mer skötsel. När ett område avlastar sitt ledningsnät med blågrön infrastruktur innebär det därför mer underhållskostnader och tid för underhåll (Bengtsson & Stahre & Villareal, 2004). T.ex. behöver våtmarker rensas och gräset i svackdiken klippas (Stahre, 2006, s. 64 och s. 50).

Sammanfattningsvis, de åtgärdsförslag som föreslagits borde räkna för att spegla Augustenborgs blågröna infrastruktur med minst 25 %. De största osäkerheterna rör till hur stor grad parkeringsplatserna kan liknas vid gröna tak. Eftersom arean av parkeringsplatser samt rabatter är betydligt mycket större än den area av gröna tak som krävs så borde det ändå ge ett sanningsenligt resultat.

7.3 Slutsats och rekommendationer

För att förhindra bräddningar, under regnhändelser motsvarande ett 10-årsregn med varaktighet 15 minuter, i Miatorp krävs att 97 % av avrinningsområdet rekonstrueras för att efterlikna exempelområdet Augustenborg. Förslag på blågrön infrastruktur som kan implementeras i Miatorp för att reducera flödestoppar i ledningsnätet är svackdiken, regnträdgårdar, dammar och våtmarker. Permeabla parkeringsplatser samt omhändertagande av regnvatten genom stuprör är också två åtgärdsförslag framtagna för det specifika området. Rekommendationer för framtida stadsplanering i Miatorp är att implementera gröna tak på nya byggnader. För att reducera flödena tillräckligt hade också en kombination av blågrön infrastruktur samt en rekonstruktion från kombinerade system till duplikatsystem kunnat göras.

För att avgöra vilken effekt blågrön infrastruktur har på dagvattenflödet i ett område kan en modell baserad på regn- och flödesdata från området samt en modell baserad på ett exempelområde med blågrön infrastruktur kombineras. Giltigheten för en sådan kombinerad modell beror av de två enskilda modellernas utformning och hur väl de stämmer överens med verkligheten, vilket kan valideras om tillräckligt med uppmätt data finns. Modellens tillämpbarhet ökar ju mer mätdata som finns för både undersökningsområdet och det blågröna exempelområdet. Att använda simuleringar för att avgöra hur ett områdes avrinningsområde ska byggas om är en fungerande metod. Ett alternativ till den modell som utformats i examensarbetet är en modell där de fysiska egenskaperna hos blågröna lösningar används. På detta sätt hade ett resultat på vilka och hur mycket blågröna lösningar som behövs i Miatorp också kunnat tas fram. En sådan modell hade krävt en fördjupad kunskap inom ett flertal blågröna lösningar och dess egenskaper. Slutligen, inför framtidens urbanisering och klimatförändringar är det av stort intresse med hydrologisk modellering för att optimera vattnets avrinning i stadsmiljö.

Referenser

Bedient, P.B., Huber, W.C., Vieux, B.E. (2008). *Hydrology and floodplain analysis*. 4. uppl. Harlow: Prentice Hall.

Bengtsson, L., Stahre, P., Villarreal-Gonzalez, E. (2004). Öppen dagvattenavledning i Augustenborg. *Vatten: tidskrift för vattenvård /Journal of Water Management and Research*, 61(3), ss. 163-171. Lund 2004

Bengtsson, L., Grahn, L., Olsson, J. (2004). Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden. *Nordic Hydrology*, 36(3) ss. 259–268.

Dahl, S. (2019), NSVA, Handledarmöte juni 2019 Helsingborg.

Dahlström, B. (2006). Regnintensitet i Sverige. *VA-Forsk rapport*, 2006–26. http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk_2006-26.pdf [hämtad 2019-07-03]

EPA (United States Environmental Protection Agency) (u.å.). *Rain Gardens*. <https://www.epa.gov/green-infrastructure/what-green-infrastructure#raingardens> [hämtad 2019-07-03]

Europeiska miljöbyrån (2012). *Vatten i städerna*. <https://www.eea.europa.eu/sv/articles/vatten-i-staderna> [hämtad 2019-06-25]

Europeiska miljöbyrån (2014). *Hur kan man göra städer gröna*. Miljösignaler 2014 <https://www.eea.europa.eu/sv/miljosignaler/signaler-2014/intervju/hur-kan-man-gora-stader-grona> [hämtad: 2019-08-27]

Gupta, H.V., Kling, H., Yilmaz, K.K., Martinez, G.F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, 377(1), ss. 80–91. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.08.003

Haghighatafshar, S., Nordlöf, B., Roldin, M., Gustafsson, L., Jansen, J., Jönsson, K. (2018). Efficiency of blue-green stormwater retrofits for flood mitigation – Conclusions drawn from a case study in Malmö, Sweden. *Journal of Environmental Management*, Volym 207, 1 February 2018, ss. 60-69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.018>

Haghighatafshar, S., Yamanee-Nolin, M., Larson, M. (2019). A physically based model for mesoscale SuDS – an alternative to large-scale urban drainage simulations. *Journal of Environmental Management*, Volym 240 ss. 527-536

Helsingborgs Stad. (2013). *Planteringen Miatorp*. <https://helsingborg.se/bo-bygga-och-miljo/bostader/bostadsomraden-och-samhallen/planteringen-miatorp/>

Helsingborgs Stad. (2016 a). *Stadsplan 2017*. <https://helsingborg.se/trafik-och-stadsplanering/planering-och-utveckling/oversiktsplanering/gallande-oversiktsplaner/stadsplan-2017/> [hämtad 2019-06-28]

Helsingborgs Stad. (2016 b). *Kunskapsunderlag Stadsplan 2017 – underlags-PM Vatten och översvämning*. Helsingborgs stad.

Helsingborgs Stad. (u.å.). *Data - Statistikområden Helsingborg*. <https://helsingborg.opendatasoft.com/explore/dataset/statistikomraden-helsingborg/table/?q=miatorp&location=14,56.02268,12.72225&basemap=ja wg.light&dataChart=eyJxdWVyaWVzIjpbeyJjb25maWciOnsiZGF0YXNldCI6InN0YXRpc3Rpa29tcmFkZW4taGVsc2luZ2JvcmcjLCJvcHRpb25zIjpb7InEiOiJtaWF0b3JwIiwibG9jYXRpb24iOiIxNCw1Ni4wMjI2OCwxMi43MjIyNSIsImJhc2VtYXAiOiJqYXdnLmxcZ2h0In19LCJjaGFydHMtOlt7ImFsaWduTW9udGgiOnRydWUsInR5cGUiOiJjb2x1bW4iLCJmdW5jIjoiQVZHLiwi eUF4aXMiOiJvYmplI3RpbZCIsInNjaWVudGhmaWNEaXNwbGF5Ijpb0cnVlLCJjb2xvciI6Im2NmMyYTUifV0sInhBeGlzIjoib2JqZWNoaWQiLCJtYXhwb2ludHMtOjUwLCJzb3J0Ijoib2JqZWNoaWQiLCJkaXNwbGF5Ijpb0cnVlLCJhbGlnbk1vbnRoIjpb0cnVlQ%3D%3D> [hämtad 2019-07-08]

Hernebring, C., Mårtensson, E. (2013). *Pluviala översvämningar – Konsekvenser vid skyfall över tätorter, en kunskapsöversikt*. Göteborg och Lund: DHI Sverige på begäran av MSB.

<https://www.msb.se/ribdata/filer/pdf/26609.pdf>

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (2013). *Pluviala översvämningar*. Göteborg och Lund: Publikationsnummer MSB567-13 ISBN 978-91-7383-347-9 <https://www.msb.se/ribdata/filer/pdf/26609.pdf> [hämtad 2019-04-09]

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (2017). *Vägledning för skyfallskartering*. Karlstad: Publ.nr MSB1121 - augusti 2017 ISBN 978-91-7383-764-4 <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/28389.pdf>

Nordiska Ministerrådet. (2018). *Grön infrastruktur i Urbana miljöer*. <https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1200650/FULLTEXT02.pdf>

NSVA. (u.å.). *Bräddning och nodutsläpp*. <https://www.nsva.se/var-verksamhet/ledningsnat/braddning-och-nodutslapp/>

Persson, G., Wikberger, C., Amori, J-H. (2018). *Klimatanpassa nordiska städer med grön infrastruktur*. SMHI - KLIMATOLOGI Nr 50, 2018 https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.142912!/Klimatologi_50.pdf

Rydén, T., Lindgren, G. (u.å.). *Om Monte-Carlo-simulering – Utdrag ur kompendiet MARKOVPROCESSER*. LUNDS UNIVERSITET och LUNDS

TEKNISKA HÖGSKOLA Institutionen för matematisk statistik.
<http://www.maths.lth.se/matstat/kurser/fms120/markov.pdf> [hämtad 2019-07-05]

Shaw, E.M., Beven, K.J., Chappell, N.A., Lamb, R. (2011). *Hydrology in Practice*. 4. uppl. London: CRC Press

SMHI. (2013). *Öppen dagvattenhantering i Malmöstadsdelen Augustenborg, fördjupning*. <https://www.smhi.se/klimat/klimatanpassa-samhället/exempel-pa-klimatanpassning/oppen-dagvattenhantering-i-malmo-stadsdelen-augustenborg-fordjupning-1.115721> [hämtad 2019-05-08]

SMHI. (2018). *Augusti 2017 - Regnområdena blev kraftigare*. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/manadens-vader-och-vatten-sverige/manadens-vader-i-sverige/augusti-2017-meteorologi-1.123856> [hämtad 2019-07-17]

SMHI. (2019). *Data - SNÖDJUP (DYGN): ALLA STATIONER*. <https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=snowDepth,stations=all,stationid=62020> [hämtad 2019-03-23]

Stahre, P. (2006). *Sustainability in urban storm drainage – Planning and examples*. Stockholm: Svenskt Vatten

Stahre, P. (2008). *Blue-green fingerprints in the city of Malmö, Sweden: Malmö's way towards a sustainable urban drainage*. Malmö: VA Syd.

Svenskt Vatten. (2017). *Beräkningstips till P110*. Avledning av dag-, drän- och spillvatten: P110 kap 10.1 <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/rornat-och-klimat/klimat-och-dagvatten/berakningstips-p110/>

Söderblom, P. (2004). *Skötsel av det öppna dagvattensystemet i Augustenborg*. Malmö: International green roof institute: Publikation nr 008.

Sörensen, J. (2018). *Urban, pluvial flooding: Blue-green infrastructure as a strategy for resilience*. Lund: Faculty of Engineering (LTH), Lund University.

Sörensen, J., Emilsson, T. (2018). *Evaluating Flood Risk Reduction by Urban Blue-Green Infrastructure Using Insurance Data*. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2019, 145(2): 04018099. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001037

Sörensen, J., Mobini, S. (2017). *Pluvial, urban flood mechanisms and characteristics: Assessment based on insurance claims*. *Journal of Hydrology* 555(2017) 51–67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.039>.

Sörensen, J., Persson, A., Sternudd, C., Aspegren, H., Nilsson, J., Nordström, J., Jönsson, K., Mottaghi, M., Becker, P., Pilesjö, P., Larsson, R.,

Berndtsson, R., Mobini, S. (2016). Re-Thinking Urban Flood Management—Time for a Regime Shift. *Water* **2016**, 8, 332. DOI: <https://doi.org/10.3390/w8080332>

Thorndal, S. (2015). *Opgør med CDS-regn*. Ingeniørforeningen, IDA – Spildevandskomiteen Erfaringsudveksling i Vandmiljøteknikken EVA. Nr. 2 Årgång 28. SSN:1901–3663.

Värmdö Kommun. (2019). *Bräddning*. <http://www.varmdo.se/byggaboochmiljo/vattenochavlopp/kommunaltvattenochavlopp/braddning.4.7f5983ed15bd8f2b821521d6.html> [hämtad 2019-05-22]

Ward, R.C., Robinson, M. (2000). *Principles of hydrology*. 4. uppl. London: McGraw-Hill

Bilaga I

Exempelkod från kalibrering av modellen för Miatorp

```
#data import and conversion
flow_data <- read.csv("flode.csv", header=T, sep=";")
regn_data <- read.csv("regnintensitet.csv", header=T, sep = ";")
base_flow <- read.csv("basflode_cos2xsinx.csv", header = T, sep = ";")

#gör kod för tidszon och tidsformat
t_regn <- as.POSIXct(strptime(regn_data$Index,"%Y-%m-%d %H:%M:%S", tz=""))

#gör basflöde till xts
t_bf <- as.POSIXct(strptime(base_flow$Index,"%Y-%m-%d %H:%M:%S", tz=""))
bf <- xts(x = base_flow$Modell, order.by = t_bf)

##FLÖDESDATA
#gör kod för tidszon och tidsformat
t <- as.POSIXct(strptime(flow_data$Datum,"%Y-%m-%d %H:%M", tz=""))

#Gör en xts-matris
flow <- xts(x= flow_data$Flode, order.by = t)
#flow = flow[period]

#####Skapar xts med ettor och nollor#####
zero <- replicate(length(t), 1)
eliminator <- xts(x = zero , order.by = t)

##lägger till nolla vid "konstigt" event
eliminator['2019-02-20 10:00:00/2019-02-20 12:00:00'] <- 0 #flödet höjs men det
regnar inte under perioden
eliminator['2019-01-27 09:00:00/2019-01-27 21:00:00'] <- 0 #warm up period
eliminator['2019-03-07 09:00:00/2019-03-07 19:00:00'] <- 0 #perioden ger
konstig area vid area kalibrering
eliminator['2019-02-05 00:00:00/2019-02-05 03:00:00'] <- 0 #flödet höjs men det
regnar inte under perioden
eliminator['2019-02-26 07:00:00/2019-02-26 12:00:00'] <- 0 #flödet höjs men det
regnar inte under perioden
eliminator['2019-03-02 16:00:00/2019-03-02 18:00:00'] <- 0 #flödet höjs men det
regnar inte under perioden
eliminator['2019-01-27 21:00:00/2019-02-04 01:00:00'] <- 0

###INSÄTTNING MODELLKOD
A <- 100000 #area
#till NSE-uträkning
max <- -1
I <- xts(x = c(regn_data$acc_tip_matris)*A/120, order.by = t_regn)
##kalibrera for en period (da gar koden snabbare)
#period <- "201903xx/201903xx"
I = I[period]
t_period <- index(I)
```

```

##En reservoar  $ds/dt = q_1 - q_0$ ,  $q_0 = a*s$ 
#montecarlo - k anger antalet loopar, runif innebär en likformig
sannolikhetsfördelning mellan 2 tal, x1 och x2
for (k in 1:1000) {
  a <- runif(1, x1, x2)
  n1 <- runif(1, x1, x2)
  n2 <- runif(1, x1, x2)
  n3 <- runif(1, x1, x2)
  b_inf <- runif(1, x1, x2) #tömningshastighet infiltration
  m_inf <- runif(1, x1, x2) #linjäritet för infiltration, sätt inte till 0
  sc <- runif(1, x1, x2)

  frac <- runif(1, x1, x2)
  as <- runif(1, x1, x2)

  I_s <- I*frac
  I = I-I_s

  ##slow reservoir
  Q_s <- c() # runoff second reservoir
  S_s <- c() #storage second reservoir
  S_s[1] = 0 #storage at time t = 0

  for (i in 1:(length(I) - 1)) {
    Q_s[i] = as*S_s[i]^ n1
    S_s[i + 1] = S_s[i] + I_s[i] - Q_s[i]
  }
  Q_s[length(I)] = as*S_s[length(I)] ^ n1

  ##Första reservoaren
  #storage för varje tiddsteg  $ds/dt = q_1 - q_0$ 
  Q1 <- c() #runoff first reservoir
  S1 <- c() #storage first reservoir
  S1[1] = 0 #storage at time t = 0
  L <- c() #losses at time t = 0

  for (i in 1:(length(I) - 1)) {
    if (S1[i] < 0) {
      S1[i] = 0
    }

    if (S1[i] < sc) {
      Q1[i] = 0
    } else {
      Q1[i] = a*(S1[i] - sc) ^ n1
    }
    L[i] = b_inf*S1[i]^m_inf

    S1[i + 1] = S1[i] + I[i] - Q1[i] - L[i]
  }

  if (S1[length(I)] < sc) {
    Q1[length(I)] = 0
  } else {
    Q1[length(I)] = a*(S1[length(I)]-sc) ^ n1
  }

  ##Andra reservoaren
  Q2 <- c() #runoff second reservoir
  S2 <- c() #storage second reservoir
  S2[1] = 0 #storage at time t = 0

```

```

for (i in 1:(length(I) - 1)) {
  Q2[i] = a*s2[i]^ n1
  S2[i + 1] = S2[i] + Q1[i] - Q2[i]
}
Q2[length(I)] = a*s2[length(I)] ^ n1

##Tredje reservoaren
Q3 <- c() # runoff third reservoir
S3 <- c() #storage third reservoir
S3[1] = 0 #storage at time t = 0

for (i in 1:(length(I) - 1)) {
  Q3[i] = a*s3[i]^ n1
  S3[i + 1] = S3[i] + Q2[i] - Q3[i]
}
Q3[length(I)] = a*s3[length(I)] ^ n1

#gör flödet till xts
##1 reservoar: x = Q1
##2 resrvoarer: x = Q2
##3 reservoarer: x = Q3
Q_xts <- xts(x = Q3, order.by = t_period)
Q_xts[is.na(Q_xts)] <-0

Q_xts_s <- xts(x = Q_s, order.by = t_period)
Q_xts_s[is.na(Q_xts_s)] <- 0

#lägger till basflöde
Q_final <- Q_xts + bf + Q_xts_s

###UTVÄRDERING AV MODELLEN med NSE: Nash-sutcliffe efficiency model
error_mean <- flow - mean(flow)

NSE = 1 - sum(error^2)/sum(error_mean^2) #Nash-sutcliffe efficiency model

if (NSE > max) {
  max = NSE
  a_best <- a
  n1_best <- n1
  n2_best <- n2
  n3_best <- n3
  Sc_best <- Sc
  b_inf_best <- b_inf
  m_inf_best <- m_inf
  frac_best <- frac
  as_best <- as

  Q_cal <- Q_final
  error_cal <- error
}
} ##montecarlo-loop slut

```

Exempelkod från kombinerad modell

```
#Dataimport
#importerar regnserie: designregn eller historiskt event
regn_data <- read.csv("regnintensitet_dunkerskahuset.csv", header=T, sep = ";")
#plockar ut tid, gor om till ratt tidsformat och tidszon
t_regn <- as.POSIXct(strptime(regn_data$Index,"%Y-%m-%d %H:%M:%S", tz=""))
#regn till xts
regn <- xts(x= regn_data$acc_tip_matris, order.by = t_regn)
#importerar uppskattat basflode
base_flow <- read.csv("basflode_cos2xsinx_dunkerskahuset.csv", header = T, sep = ";")
#Basflode
t_bf <- as.POSIXct(strptime(base_flow$Index,"%Y-%m-%d %H:%M:%S", tz=""))
bf <- xts(x = base_flow$Modell, order.by = t_bf)
#Area
A <- 100000 #total reducerad area av område från början
#percentage_bg <- 0
#percentage_bg <- 0.25
#percentage_bg <- 1/2
#percentage_bg <- 0.9
percentage_bg <- 0.95
A_bg <- percentage_bg*A
A_s <- A-A_bg
#tidsintervall regnintensitet
t_i <- 120 #sekunder
#Indata langsam reservoar
I <- regn*A/t_i
#I = I[period]
t_period <- index(I)
#langsam reservoar
frac <- 0.764
as <- 0.00041
ns <- 0.935
I_slow <- I*frac
##langsam reservoar
Q_slow1 <- c() #volume runoff second reservoir
S_slow1 <- c() #storage second reservoir
S_slow1[1] = 0 #storage at time t = 0
for (i in 1:(length(I_slow) - 1)) {
  Q_slow1[i]= as*S_slow1[i]^ ns
  S_slow1[i + 1] = S_slow1[i] + I_slow[i] - Q_slow1[i]
}
Q_slow1[length(I_slow)] = as*S_slow1[length(I_slow)] ^ ns
Q_slow <- xts(x = Q_slow1, order.by = t_period)
Q_slow[is.na(Q_slow)] <-0
```

```

#Indata svart modell
I_s <- regn*A_s/t_i
#I_s <- xts(x = c(regn_data$acc_tip_matris)*A_s/t_i, order.by = t_regn)
#I_s = I_s[period]

##insattning modellkod svart modell
##En reservoar  $ds/dt = q1 - q0$ ,  $q0 = a*s$ 
a1 <- 0.11
a2 <- 0.11
a3 <- 0.11
n1 <- 1
n2 <- 1
n3 <- 1

###Forluster (infiltration)
b_inf <- 0.0039 #tommingshastighet infiltration
m_inf <- 0.14 #linjäritet för infiltration, sätt inte till 0!!!
Sc <- 490
##regn
#konverterar till vektor och gör om från mm/area/2min till l/s

##Första reservoaren
#storage för varje tiddsteg  $ds/dt = q1 - q0$ 
Q1 <- c() #volume runoff first reservoir
S1 <- c() #storage first reservoir
S1[1] = 0 #storage at time t = 0
L <- c() #losses at time t = 0

for (i in 1:(length(I_s) - 1)) {
  if (S1[i] < 0) {
    S1[i] = 0
  }

  if (S1[i] < Sc) {
    Q1[i] = 0
  } else {
    Q1[i] = a1*(S1[i] - Sc)^ n1
  }
  L[i] = b_inf*S1[i]^m_inf

  S1[i + 1] = S1[i] + I_s[i] - Q1[i] - L[i]
}

if (S1[length(I_s)] < Sc) {
  Q1[length(I_s)] = 0
} else {
  Q1[length(I_s)] = a1*(S1[length(I_s)] - Sc) ^ n1
}

##Andra reservoaren
Q2 <- c() #volume runoff second reservoir
S2 <- c() #storage second reservoir
S2[1] = 0 #storage at time t = 0

for (i in 1:(length(I_s) - 1)) {
  Q2[i] = a2*S2[i]^ n2
  S2[i + 1] = S2[i] + Q1[i] - Q2[i]
}
Q2[length(I_s)] = a2*S2[length(I_s)] ^ n2

##Tredje reservoaren
Q3 <- c() #volume runoff third reservoir

```

```

s3 <- c() #storage third reservoir
s3[1] = 0 #storage at time t = 0

for (i in 1:(length(I_s) - 1)) {
  Q3[i] = a3*s3[i]^ n3
  S3[i + 1] = S3[i] + Q2[i] - Q3[i]
}
Q3[length(I_s)] = a3*S3[length(I_s)] ^ n3

#gör flödet till xts
##1 reservoar: x = Q1
##2 reservoarer: x = Q2
##3 reservoarer: x = Q3
Q_s <- xts(x = Q3, order.by = t_period)
Q_s[is.na(Q_s)] <-0

##slut pa modellkod svart modell

#Indata bg-modell
I_bg <- regn*A_bg/t_i
#I_bg <- xts(x = c(regn_data$acc_tip_matris)*A_bg/t_i, order.by = t_regn)
#I_bg = I_bg[period]

##insättning modellkod bg-modell

a1_bg <- 0.0038
a2_bg <- 0.50
a3_bg <- 0.24
n1_bg <- 1

###Forluster (infiltration)
b_inf_bg <- 0.0075 #tomningshastighet infiltration
m_inf_bg <- 1 #linjäritet för infiltration, sätt inte till 0
Sc_bg <- 2900

##Första reservoaren
#storage för varje tiddsteg ds/dt = q1-q0
Q1_bg <- c() #volume runoff first reservoir
S1_bg <- c() #storage first reservoir
S1_bg[1] = 0 #storage at time t = 0
L_bg <- c() #losses at time t = 0

for (i in 1:(length(I_bg) - 1)) {
  if (S1_bg[i] < 0) {
    S1_bg[i] = 0
  }

  if (S1_bg[i] < Sc_bg) {
    Q1_bg[i] = 0
  } else {
    Q1_bg[i] = a1_bg*(S1_bg[i] - Sc_bg)^ n1_bg
  }
  L_bg[i] = b_inf_bg*S1_bg[i]^m_inf_bg

  S1_bg[i + 1] = S1_bg[i] + I_bg[i] - Q1_bg[i] - L_bg[i]
}

if (S1_bg[length(I_bg)] < Sc_bg) {
  Q1_bg[length(I_bg)] = 0
} else {
  Q1_bg[length(I_bg)] = a1_bg*(S1_bg[length(I_bg)]-Sc_bg) ^ n1_bg
}

```



```

##Andra reservoaren
Q2_bg <- c() #volume runoff second reservoir
S2_bg <- c() #storage second reservoir
S2_bg[1] = 0 #storage at time t = 0

for (i in 1:(length(I_bg) - 1)) {
  Q2_bg[i] = a2_bg*S2_bg[i]^ n1_bg
  S2_bg[i + 1] = S2_bg[i] + Q1_bg[i] - Q2_bg[i]
}
Q2_bg[length(I_bg)] = a2_bg*S2_bg[length(I_bg)] ^ n1_bg

##Tredje reservoaren
Q3_bg <- c() #volume runoff third reservoir
S3_bg <- c() #storage third reservoir
S3_bg[1] = 0 #storage at time t = 0

for (i in 1:(length(I_bg) - 1)) {
  Q3_bg[i] = a3_bg*S3_bg[i]^ n1_bg
  S3_bg[i + 1] = S3_bg[i] + Q2_bg[i] - Q3_bg[i]
}
Q3_bg[length(I_bg)] = a3_bg*S3_bg[length(I_bg)] ^ n1_bg

#gör flödet till xts
##1 reservoar: x = Q1
##2 reservoarer: x = Q2
##3 reservoarer: x = Q3

Q_bg <- xts(x = Q3_bg, order.by = t_period)
Q_bg[is.na(Q_bg)] <- 0

##slut pa modellkod bg-modell
Q = bf + Q_s + Q_bg + Q_slow

```

Bilaga II

Perioder som plockats ut från kalibreringen och NSE-uträkningen

period	anledning
2019-01-27 09:00:00/2019-01-27 21:00:00	uppvärmningsperiod
2019-02-20 10:00:00/2019-02-20 12:00:00	flödet höjs men det regnar inte under perioden
2019-03-07 09:00:00/2019-03-07 19:00:00	perioden ger konstig area vid areakalibrering
2019-02-05 00:00:00/2019-02-05 03:00:00	flödet höjs men det regnar inte under perioden
2019-02-26 07:00:00/2019-02-26 12:00:00	flödet höjs men det regnar inte under perioden
2019-03-02 16:00:00/2019-03-02 18:00:00	flödet höjs men det regnar inte under perioden

Bilaga III

Uträkningar till åtgärdsförslag som tabell 7 baseras på.

	Area (ha)				
Miatorp	10				
Norra Augustenborg	6,3				
Andel blågrönt (%)	Area blågrönt i Miatorp (ha)	Representerar andel av Augustenborg (%)			
25	2,5	0,396825397			
95	9,5	1,507936508			
97	9,7	1,53968254			
		Källor till värden	25 %	97 %	95 %
Svackdike (m)	500	Stahre, 2008, ss. 42–60	198,412698	769,84127	753,968254
Antal dammar	4	Sörensen & Emilsson, 2008	1,58730159	6,15873016	6,03174603
Gröna tak (ha)	0,063	Haghighatafshar & Yamanee-Nolin & Larson, 2019	250	970	950
Öppna kanaler (m)	60	Stahre, 2008, ss. 42–60	23,8095238	92,3809524	90,4761905

