

KANDIDATARBETE 2024 ACEX11-VT24-72



Klimatanpassning och dagvattenhantering

- en studie om smarta fördröjningsmagasin för återbruk
och fördröjning av dagvatten i Sverige

Alice Enbom
Betty Mattsson
Ida Rastin

Institutionen Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelning Vatten Miljö Teknik

ACEX11-VT24-72

CHALMERS TEKNISKA UNIVERSITET

Göteborg, Sverige 2024



© Alice Enbom, Betty Mattsson & Ida Rastin, 2024.

Handledare: Jesper Knutsson, Forskare vid avdelningen för Vatten Miljö Teknik, Chalmers

Examinator: Thomas Pettersson, Biträdande professor i Dricksvattenteknik vid avdelningen för Vatten Teknik Miljö, Chalmers

Kandidatarbete 2024

Institutionen Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelning Vatten Miljö Teknik

ACEX11-VT24-72

CHALMERS TEKNISKA UNIVERSITET

SE-412 96 Gothenburg

Framsida: Ett flerfamiljshus med ett grönt tak och en synlig regnträdgård.
Skapad med generativ AI i Adobe Firefly.

Typeset in L^AT_EX

Printed by Chalmers Reproservice

Gothenburg, Sweden 2024

Sammandrag

I samband med klimatförändringar och förändrade regnmönster är utvecklingen av ett resilient dagvattensystem avgörande för att säkerställa hållbara samhällen. I denna rapport utreds behov, potential och nytta av smarta fördröjningsmagasin för magasinering och återbruk av dagvatten i Sverige. Syftet med rapporten är att undersöka om smarta fördröjningsmagasin är praktiskt implementerbara i Sverige.

Studien bygger på en omfattande litteraturstudie över Sveriges lagar och regler, dagens dagvattenhanteringstekniker och forskning avseende smarta fördröjningsmagasin. För att behandla rapportens syfte utreds två svenska städer, Göteborg och Västervik, vad gäller bland annat nederbördsmonster, vattenresurser och kommunala föreskrifter. För att vidare utvärdera implementerbarheten modellerades ett smart fördröjningsmagasin och ett konventionellt magasin utan smart teknik i de valda städerna. Genom att granska ett nutidsscenario och ett framtidsscenario utforskas möjligheten för smarta fördröjningsmagasin som en lösning på dagens dagvattenproblematik. Utredningen möjliggör en extrapolering av smarta fördröjningsmagasins för- och nackdelar i Sverige. Allmänhetens attityder kring återanvändningen av dagvatten undersöks med hjälp av en enkät.

Enkätens resultat påvisar att allmänheten generellt sett är positiva till återanvändningen av dagvatten. Ur modelleringen gavs resultatet att det smarta fördröjningsmagasinet kan fördröja och möjliggöra återanvändning av dagvattnet som når fastigheten. Det gör att flödestopparna minskar. Studien visar att tekniken är fördelaktigt implementerbar i både Sveriges nederbördsrika och nederbördsfattiga regioner. Tekniken tar itu med såväl översvämningss- som vattenförsörjningsproblematik. Studien påvisar att det bräddas mer för det smarta fördröjningsmagasinet än för det konventionella. Det anses dock vara en nödvändig kompromiss med magasinets huvudfunktion, att fördröja vattnet, för att minska toppflöden från fastigheten och utnyttja dagvattnet som en resurs.

Rapporten betonar att en utveckling av det nuvarande dagvattensystemet krävs för att möta framtidens utmaningar och att smarta fördröjningsmagasin är en väsentlig del av utvecklingen och lösningen. Det krävs dock en fortsatt forskning för att fullt ut realisera systemens potential. Framtida forskning kan med fördel fokusera på kombinatoriska lösningar mellan smart teknik och grön infrastruktur samt en dynamisk avtappning för att återanvända dagvattnet till fullo samtidigt som bräddning motarbetas.

Abstract

In the context of climate change and altered rainfall patterns, the development of a resilient stormwater system is crucial to ensure sustainable communities. This report investigates the need, potential, and benefits of smart detention basins for storage and reuse of stormwater in Sweden. The purpose of the report is to examine whether smart detention basins are practically implementable in Sweden.

The study is based on an extensive literature review of Sweden's laws and regulations, current stormwater management techniques, and research regarding smart detention basins. To address the report's purpose, two Swedish cities, Gothenburg and Västervik, are examined, regarding rain patterns, water resources, and municipal regulations, among other factors. To further evaluate implementability, a smart detention basin and a conventional basin without smart technology were modeled in the selected cities. By examining a present-day scenario and a future scenario, the possibility of smart detention basins as a solution to current stormwater issues is explored. The investigation enables extrapolation of the advantages and disadvantages of smart detention basins in Sweden. Public attitudes towards the reuse of stormwater are examined through a survey.

The survey indicated that the attitude is generally positive towards the reuse of stormwater. The modeling results showed that the smart detention basin can delay and enable reuse of the stormwater reaching the property, thereby reducing peak flows. The study demonstrated that the technology is advantageously implementable in both precipitation-rich and precipitation-poor regions of Sweden. The technology addresses both flooding and water supply issues. The study showed that the smart detention basin overflows more than the conventional one. This is considered a necessary compromise with the basin's main function, to delay the water, in order to reduce peak flows from the property and utilize stormwater as a resource.

The report emphasizes that the development of the current stormwater system is required to meet future challenges and that smart detention basins are an essential part of the development and solution. However, further research is needed to fully realize the potential of the systems. Future research could focus on dynamic drainage to fully reuse stormwater while mitigating overflow and on combined solutions between smart technology and green infrastructure.

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Avgränsningar	3
2	Teori	4
2.1	Lagar och direktiv för dagvattenhantering	4
2.1.1	Lagen om allmänna vattentjänster	4
2.1.2	Miljöbalken	5
2.1.3	Plan- och bygglagen	5
2.1.4	Tekniskt vatten	5
2.1.5	Ansvar för dagvatten i detaljplan	6
2.1.6	Traditionell dagvattenplanering	6
2.2	Dagvattenhanteringstekniker	7
2.2.1	Gröna tak	8
2.2.2	Regnträdgårdar	9
2.2.3	Avsättnings- och perkolationsmagasin	10
2.2.4	Avlopp- och dagvattenledningar	11
2.3	Smarta fördröjningsmagasin	12
2.3.1	Real-tidskontrollerade system	13
2.3.2	Återbruk av dagvatten	15
2.3.3	Integrering av smart teknik i grön och grå infrastruktur	15
2.3.4	Hinder och utmaningar	16
3	Metod	18
3.1	Enkätundersökning	18
3.2	Fallstudie	19
3.3	Modellering	19
3.4	SWOT-analys	19
3.5	Metodens begränsningar	20
4	Fallstudie	21
4.1	Extremväder	21
4.2	Nederbördsmönster	22
4.3	Grundvattenförhållanden	22
4.4	Vattenförsörjning	24
4.5	Urbanisering och stadsbild	26
4.6	Städernas dagvattenhantering	27
4.7	Kommunala föreskrifter	28
5	Modellering av smarta fördröjningsmagasin	29
5.1	Metod och utförande	29

5.1.1	Indata	29
5.1.2	Arbetsprocess för ett smart fördröjningsmagasin . . .	30
5.1.3	Arbetsprocess för ett konventionellt fördröjningsmagasin	32
5.1.4	Framtidsscenario	32
5.2	Antaganden och förenklingar	33
6	Resultat	36
7	Diskussion	48
8	Slutsats	54
	Referenser	55
	Bilagor	61

1 Inledning

Globala målen för hållbar utveckling - en agenda som 2015 antogs av världens stats- och regeringschefer med en mer hållbar värld som målbild (Svenska FN-förbundet, 2023). Med klimatförändringar som utlösare och katalysator står världen inför en mängd utmaningar, däribland utmaningar som kopplar till dagvatten. En av klimatförändringarnas konsekvenser är nämligen förändrade nederbördsmönster (Mainali & Sharma, 2023). Ett ändrat mönster i nederbörd kan innebära dels mer eller mindre frekventa nederbördstillfällen, dels kraftigare nederbördstillfällen. En ökad mängd nederbörd leder till översvämningar i naturliga vattendrag, som flodar och sjöar, men även i stadsmiljöer (Matsa & Mupepi, 2021). Stadsöversvämningar sker när dräneringssystemets kapacitet för att infiltrera eller föra bort vattnet inte räcker för den mängd vatten som ackumuleras. Det kan medföra förstörelse på infrastruktur och mänskliga skador. Förändrade regnmönster medför dessutom en osäkerhet vad gäller vattentillgång (Europeiska kommissionen, u.å.). I torra perioder utan nederbörd kan vattentillgången vara temporärt låg vilket äventyrar jordbrukets verksamhet, energiresurser samt vattenförsörjning i drabbade områden. Klimatförändringarna innebär sålunda utmaningar för samhällen avseende såväl överskott som underskott av vatten. För att kunna uppnå två av de globala målen *Rent vatten och sanitet för alla* och *Hållbara städer och samhällen* krävs en hantering av och lösningar till vattenproblematiken.

Klimatförändringens effekter på de nordiska länderna medför ett intresse för frågor som översvämningar, fysisk planering och dammsäkerhet (Bergström m. fl., 2001). Klimatförändringar tillsammans med en ökad urbanisering kommer sannolikt öka flödestoppar och behovet av avrinning av vatten i urbana miljöer (Khan m. fl., 2022). Med urbanisering och exploatering av mark följer en ökad mängd hårdgjord yta utan naturlig infiltration, vilket genererar ett överskott av dagvatten till omgivande miljöer.

För att minska risken för översvämningar och vattenbrist som följd av ändrade nederbördsmönster krävs en hållbar dagvattenhantering. En kombinatorisk lösning för både problematiken med översvämningar och vattenbrist är smart magasinering av vatten där teknik reglerar in- och utflöde i magasinerna, samtidigt som en efterföljande rening kan medföra återbruk av insamlat vatten.

1.1 Bakgrund

Dagens system för hantering av dagvatten är generellt utformade baserat på historisk nederbördsdata med antagandet om klimatstationaritet (Hathaway m. fl., 2024). På grund av urbanisering och klimatförändringar är antagandet dock inte längre rimligt. Vid ökade flöden av dagvatten har den konventionella infrastrukturen, bestående av avloppsrör, inte någon möjlighet

att anpassa sig till ändrade förhållanden. Det innebär i sin tur att det uppstår en kunskapslucka om hur en säker dagvattenhantering, utan risk för egendomsskador, mänsklig hälsa eller miljö, ska säkerställas samt hur den konventionella infrastrukturen ska uppfylla en önskad servicenivå under sin tekniska livslängd.

En implementering av grön infrastruktur, bestående av naturliga avrinningsområden, innebär en möjlighet till anpassning vid ökade dagvattenflöden (Hathaway m. fl., 2024). Det beror på förmågan att effektivt öka befintlig flödeskapacitet, vilket konventionell dagvattenhantering saknar. Naturliga avrinningsområden kan dessutom återställa och främja ekosystemtjänster samtidigt som de hanterar dagvatten (Khan m. fl., 2022).

För att skapa hållbara och motståndskraftiga samhällen har senare forskning inom hållbar dagvattenhantering studerat smarta fördröjningsmagasin som använder sig av realtidskontrollerade system (W. D. Xu m. fl., 2022). Realtidskontrollerade system är konstruerade för att släppa ut vatten innan en nederbördshändelse och på så sätt skapa tillräcklig kapacitet för förutsedda inflöden. Regnskörd har också studerats, vilket är ett koncept som ska möjliggöra återanvändning av vatten som samlas upp från hårdgjord yta (Quon & Jiang, 2023).

Denna rapport undersöker om de nya teknikerna är applicerbara i Sverige och huruvida de kan rusta upp det svenska samhället inför kommande klimatförändringar. Det undersöks om smarta tekniker kan minska flödestoppar och förhindra översvämningar, samt motverka otillräcklig vattenförsörjning genom att bistå samhället med vatten vid torrperioder. Trots att senare forskning visat på framsteg vad gäller minimering av mänsklig och ekonomisk sårbarhet vid översvämningar krävs det att arbetet fortsätter (Bubeck m. fl., 2024). Översvämningar påverkar inte bara ekologiska system utan även socioekonomiska (Mugisho m. fl., 2024). Genom bland annat lokala skador på egendom, transportstörningar och hinder för livsmedelsförsörjning kan dagvattenproblematik utgöra en stor risk för samhällen i såväl ekologisk bemärkelse som ekonomisk och social. Det är viktigt att beakta samtliga hållbarhetsaspekter vid en effektiv dagvattenhantering.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att utreda behov, potential och nytta för smarta fördröjningsmagasin för magasinering och återbruk av dagvatten i Sverige. Ett stort fokus ligger på att analysera både aktuella och framtida väderförhållanden, med hänsyn till klimatförändringarnas konsekvenser.

Studien behandlar hur smarta fördröjningsmagasin kan implementeras och utvecklas med hänsyn till regelverk och lagar, nuvarande kommunala lagrings- och fördröjningskrav, allmänhetens attityder, samhällsnytta och framtidens klimatutmaningar, för framtida projekt och befintlig bebyggelse. Det resulterar i en kartläggning av teknikens för- och nackdelar ur ett

ekologiskt, ekonomiskt och socialt perspektiv.

1.3 Avgränsningar

För att utföra studien krävs flera avgränsningar. Studien utvärderar inte tekniska lösningar för reningsprocesser utan konstaterar endast behovet av rening. Studien behandlar inte heller möjligheten att använda regnskorpen som livsmedel på grund av höga reningskrav på dricksvattenberedning som medför svårigheter att småskaligt rena vattnet.

Studien är geografiskt begränsad till två typfall i Sverige vad gäller nederbörd och vattentillgång, i syfte att begränsa arbetets omfattning. Begränsningen möjliggör en mer djupgående analys och jämförelse mellan de valda städerna.

Slutligen begränsas rapporten till att endast studera fastigheter med en dagvattenmagasinerings som minst uppfyller befintliga krav. Begränsningen görs då studien fokuserar på framtida bebyggelser och fastigheter som uppförts eller genomgått större renovationer sedan kravet om magasinering och fördröjning införts.

2 Teori

Litteraturstudien syftar till att sammanställa tidigare forskning och teorier relaterade till det valda ämnet. Litteraturen, bestående av böcker samt vetenskapliga rapporter och artiklar, har noga valts ut för att främja en grundlig förståelse av det aktuella forskningsfältet. För det ändamålet har sökord som *urbanisation*, *stormwater treatment*, *climate change* och *floods* bland andra använts.

I följande kapitel presenteras den nödvändiga teorin och forskningen inom det aktuella fältet. Detta inkluderar en genomgång av gällande lagar och direktiv för dagvattenhantering, olika tekniker för dagvattenhantering samt nutidens och framtidens utveckling med smarta fördröjningsmagasin.

2.1 Lagar och direktiv för dagvattenhantering

För att ta hand om vattenresurser så att vi kan tillfredsställa dagens och framtida generationers tillgång på vatten av bra kvalitet och i tillräcklig mängd har EU tagit fram ett vattendirektiv (Vattenmyndigheterna, u.å.). Syftet är att skapa en liknande och gemensam förvaltning av medlemsländernas vatten. EU:s vattendirektiv har dessutom kompletterats med direktiv om grundvatten, miljögifter och kemiska analyser.

I Sverige utgår dagvattenhantering från lagen om allmänna vattentjänster samt miljöbalken som agerar parallellt med plan- och bygglagen. Dessa lagar ställer krav på vattenkvalitet och anger ansvarsförhållanden i Sveriges dagvattenhantering (Boverket, 2023b).

2.1.1 Lagen om allmänna vattentjänster

Lagen om allmänna vattentjänster, LAV, syftar till att reglera bestämmelser gällande vattenförsörjning och avlopp. Lagen är till för att säkerställa att tjänsterna ordnas i ett större sammanhang och att hänsyn tas till skyddet för människors hälsa eller miljö där det behövs (SFS 2006:412,). Enligt LAV är kommunen skyldig att uppföra och ansvara för allmänna VA-anläggningar så att de tillgodoser vattentjänster till bostadshus eller annan bebyggelse (SFS 2006:412,). Till vattentjänster tillhör att tillhandahålla avlopp vilket definieras som bortledandet av dag- och dränvatten från ett område med samlad bebyggelse. Kommunen är även ansvarig över att bestämma det verksamhetsområdet inom vilket vattentjänsterna behöver ordnas samt se till att behovet snarast, och så länge det finns kvar, tillgodoses. Kommunen är utöver det skyldig att upprätta ett verksamhetsområde för dagvatten om vatten behöver avledas med hänsyn till människors hälsa eller miljön i ett större sammanhang inom befintlig eller blivande bebyggelse (Boverket, 2015).

Vidare är det bestämt enligt LAV (SFS 2006:412,) att varje kommun måste upprätta och underhålla en vattentjänstplan som ska vara aktuell

med hänsyn till behovet av allmänna vattentjänster. Vattentjänstplanen ska innehålla kommunens långsiktiga strategi för att tillgodose behovet av allmänna vattentjänster. De ska även innehålla bedömningar av vilka åtgärder som behöver vidtas för att de allmänna VA-anläggningarna ska fungera även vid en ökad belastning på grund av skyfall. Det är dock viktigt att notera att vattentjänstplanen inte är juridiskt bindande.

2.1.2 Miljöbalken

Miljöbalkens regler och ansvarsförhållanden kring dagvatten gäller om detaljplaneområdet ligger utanför ett verksamhetsområde för dagvatten (Boverket, 2023a). Det innebär enligt miljöbalkens regler att allt dagvatten som avvattnas inom ett detaljplaneområde betraktas som avloppsvatten (Boverket, 2023b). Det avloppsvattnet ska avledas och renas eller på annat sätt tas hand om så att det inte orsakar några skadliga effekter för människors hälsa eller miljön (SFS 1998:808,). Det ska göras genom lämpliga avloppsanordningar eller andra inrättningar. Dagvattnet klassificeras även som miljöfarlig verksamhet vilket medför att lagen ställer krav på verksamhetsutövaren (Boverket, 2023a).

2.1.3 Plan- och bygglagen

Plan- och bygglagen, PBL, ger kommunen de planinstrument som behövs för att reglera de fysiska förutsättningarna för att hantera dagvatten (Boverket, 2023b). Översiktsplan och detaljplan uppförs enligt PBL med syfte att ge vägledning för hur mark- och vattenområden ska användas. Vidare fastslås det i PBL att kommuner i en detaljplan får avsätta markreservat för anläggningar och anordningar som behövs för allmänna ändamål. Vattenanvändning och dagvattenhantering är således frågor som på olika vis är lämpliga att behandla vidare i planläggningen eftersom vattenförhållandena på flera sätt utgör förutsättningar för markanvändning och exploatering.

2.1.4 Tekniskt vatten

Tekniskt vatten används som ett samlingsbegrepp för att benämna vatten som erbjuds till kunder eller används inom den egna VA-verksamheten men som inte uppfyller dricksvattenkvalitet (Johansson m. fl., 2022). Det innebär att tekniskt vatten kan komma från många olika källor och det är därmed viktigt att specificera dess ursprung samt tilltänkta användningsområden. Tekniskt vatten omfattas inte av lagen om allmänna vattentjänster och är inte heller tydligt definierat av andra lagar eller regelverk, dessutom definieras tekniskt vatten olika enligt olika lagar. Om lagen om allmänna vattentjänster reviderade sin formulering kring "vatten lämpligt för normal hushållsanvändning" hade tekniskt vatten kunnat inkluderas i lagen som en vattentjänst.

Trots att det inte finns någon lagstiftning som förhindrar användandet av tekniskt vatten är lagarna för användningen av tekniskt vatten otillräckliga då det saknas kvalitetskrav och ansvarsfrågan är oklar (Johansson m. fl., 2022). Det får som konsekvens att många projekt som försöker applicera återvinning av vatten stöter på problem hos miljömyndigheter. Brist på lagstiftning innebär därmed ett hinder för innovativa återvinningsmöjligheter.

2.1.5 Ansvar för dagvatten i detaljplan

Inom en detaljplaneläggning ska kommunen ha försäkrat sig om att dagvattenhanteringen går att lösa samt redovisa de lösningar som kan komma att tillämpas (Boverket, 2023a). VA-huvudmannen ska därigenom ha goda förutsättningar för en hantering av dagvattnet.

Ansvarsfördelningen för dagvattenhantering varierar beroende på om det detaljplanelagda området ingår i ett verksamhetsområde för dagvatten eller inte (Boverket, 2023a). För ett detaljplanelagt område som ingår i ett verksamhetsområde för dagvatten är det fastighetsägaren och huvudmannen för den allmänna platsen som ansvarar för avvattning av kvartersmark och allmänna platser. Vatten som inte kan infiltrera i marken ska avvattnas till en gräns mellan en allmän VA-anläggning och en VA-installation. Gränsen kallas för en förbindelsepunkt och kan exempelvis vara ett öppet dike. Skulle det däremot vara så att det krävs tekniska anläggningar för att ta hand om/leda bort dagvatten, ligger ansvaret åter på VA-huvudmannen att denna installation verkliggörs och fungerar. En sådan installation kan vara ett fördröjningsmagasin.

För detaljplaneområden utanför verksamhetsområde för dagvatten regleras ansvarsförhållandena via miljöbalkens regler (Boverket, 2023a). Enligt miljöbalken har fastighetsägaren ett ansvar över sin verksamhet inom fastigheten och ett ansvar för potentiella risker och/eller miljöpåverkan som verksamheten kan innebära. Kommunens ansvar över dagvattenhanteringen är dock likadant som för detaljplanelagt område inom verksamhetsområde för dagvatten. Kommunen behöver fastslå att det finns lösningar för dagvattenhanteringen.

2.1.6 Traditionell dagvattenplanering

Traditionell planering av dagvatten har byggts på synen av att dagvatten är ett kvittblivningsproblem där dagvatten skulle ledas till närmsta recipient (Svenskt Vatten, 2011). Den traditionella planeringen ledde till att begreppet lokalt omhändertagande av dagvatten skapades under 1970-talet där fokuset i dagvattenplaneringen skulle ligga på infiltration av dagvatten. Denna metod var dock alldeles för begränsande att använda på egen hand. Behovet av andra metoder att hantera dagvatten samt en ökad medvetenhet om dagvattnets föroreningshåll ledde till att synen på den traditionella dagvatten-

planeringen började ändras för att minska utsläpp av dagvattenföroreningar (Svenskt Vatten, 2016).

Under 1990-talet utvecklades dagvattenplaneringen ytterligare, från att hantera kvantitet och kvalitet till att även se på dagvatten som en resurs för samhällenas gestaltning (Svenskt Vatten, 2016). Denna insikt ledde till att det blev vanligare att synliggöra dagvattnet med avsikt att skapa en behagligare och grönare samhällsmiljö.

Nästa steg i hanteringen av dagvatten, som numera dominerar dagens dagvattenplanering, är begreppet hållbar dagvattenhantering som växte fram under början av 2000-talet (Svenskt Vatten, 2016). Målet med den nya dagvattenplaneringen var att dagvattenhanteringen skulle efterlika naturens sätt att hantera nederbörd, från att regnet träffar marken tills att det når recipienten. Förutom att efterlika naturens egna sätt att hantera nederbörd tar hållbar dagvattenhantering även hänsyn till fem av åtta utmaningar utsedda av vattenmyndigheterna (Svenskt Vatten, 2011). Dessa utmaningar är minskad övergödning, minska effekterna av klimatförändringar, skydd av grundvatten, förebygga översvämningar samt minska utsläpp av giftiga ämnen.

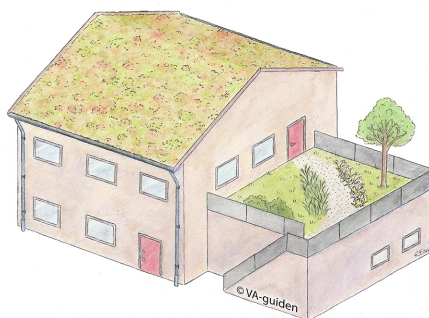
2.2 Dagvattenhanteringstekniker

År 2007 publicerades regeringens klimat- och sårbarhetsutredning, vilket ökade medvetenheten om vårt samhälles utsatthet för extrema väderhändelser, både i det nuvarande klimatet och de förändringar som förväntas i framtiden (Holgersson m. fl., 2007). Denna ökade medvetenhet har lett till större krav på en hållbar vattenhantering för att hantera samhällets sårbarhet, vilket innebär att samhällena måste bli mer motståndskraftiga mot översvämningar och minska dagvattnets påverkan på klimatet (Svenskt Vatten, 2016). Genom att inkludera hållbar dagvattenhantering från början och ta hänsyn till dagvattenfrågan tidigt i samhällsplaneringen kan kostnaderna hållas rimliga. Genom detta tillvägagångssätt kan man även fastställa säkra höjdnivåer för byggnader i förhållande till omgivande gator och mark, främja möjligheter till fördröjning och infiltration av dagvatten, avsätta ytor för att hantera stora mängder dagvatten samt skapa gröna samhällen.

I dagsläget existerar flera tekniker för att säkerställa ett resilient samhälle gällande hantering av dagvatten. Följande delkapitel avhandlar utformningen, funktionaliteten och reningseffekterna av ett urval av dessa tekniker som har möjlighet att magasinera vatten och kan kombineras med smart teknik.

2.2.1 Gröna tak

Gröna tak är vegetationsbeksädda tak där en av de många fördelarna, och i många fall den primära, är dess förmåga att fördröja och reducera dagvattenvolymer (W. Li & Yeung, 2014). Dess förmåga att reducera och magasinera dagvatten styrs av taklutning, anläggningens mäktighet, vegetation samt sol och skugga. Fördröjningsförmågan varierar mellan 40 % till 60 % för tak med olika typer av vegetation. En annan funktion för gröna tak är dess reningsförmåga (W. Li & Yeung, 2014). Framförallt rensar kväve, bly och zink. För ett tak med tunt jordlager minskar däremot inte koncentrationen tungmetaller genom lagret. Ytterligare en nackdel med gröna tak är att gödningsmedlet kan leda till en ökad koncentration av fosfor i vattnet. Se figur 1 för en övergripande bild av ett grönt tak.

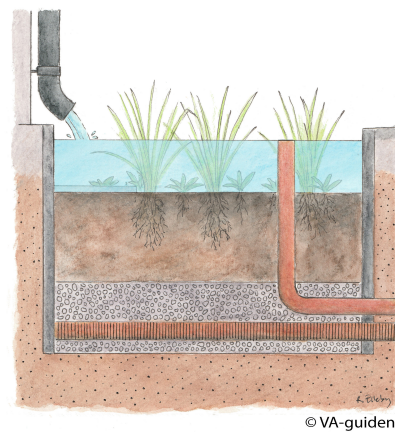


Figur 1: En principiell bild över ett grönt tak. (VA-guiden, u. å-d). Återgiven med tillstånd.

Gröna tak har ett stort mervärde (W. Li & Yeung, 2014). Till exempel bidrar de till den biologiska mångfalden, förbättrar luftkvalitet, reducerar den reflekterade solenergin vilket ger en avkylande effekt samt minskar bullernivåerna och har en potentiell isolerande effekt.

2.2.2 Regnträdgårdar

Regnträdgårdar är planteringsytor som minskar och fördröjer dagvattenflöden samt renar dagvattnet (Kasprzyk m. fl., 2022). Detta sker huvudsakligen via infiltration genom det underliggande filtermaterialet men även genom växtupptag. Vid utformning och implementering av regnträdgårdar bör de integreras med intilliggande hårda och genomsläppliga ytor (Kasprzyk m. fl., 2022). Vid översvämning bör det även finnas möjlighet för överskottsvatten att flöda till någon typ av dränering eller en annan regnträdgård. Regnträdgårdar kan både utformas med infiltration som sitt huvudsakliga syfte eller med intentionen att magasinera dagvattnet. Se figur 2 för hur en regnträdgård kan utformas.



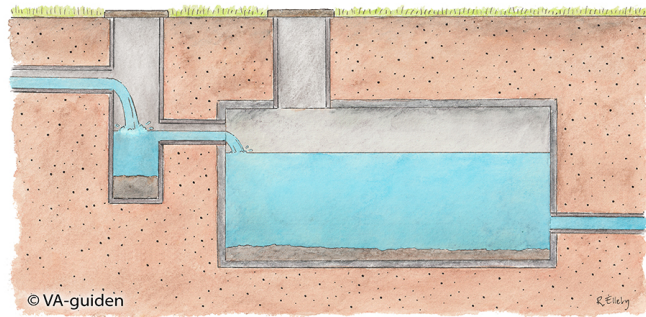
Figur 2: En principiell bild över en regnträdgård. (VA-guiden, u. å-b). Återgiven med tillstånd.

Utöver den renande och fördröjande effekten har regnträdgårdar flera mervärden i form av olika ekosystemtjänster, så som förbättrad livskvaliteten för människor, ökad biologisk mångfald och gröna, estetiska miljöer (Kasprzyk m. fl., 2022).

2.2.3 Avsättnings- och perkolationsmagasin

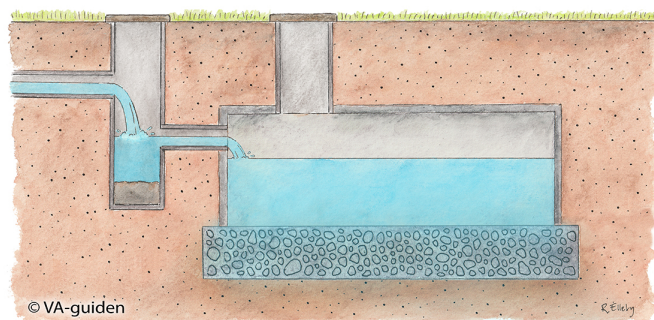
Avsättnings- och perkolationsmagasin är båda anläggningar som anläggs under mark. Underjordiska magasin kan ha relativt dyra anläggningskostnader men kan trots det vara fördelaktiga alternativ när det saknas plats för en öppen dagvattenlösning ovan mark (VA-guiden, u. å-a).

Avsättningsmagasin är utformade med en tät botten, se figur 3. Dagvattnet leds till magasinet via brunnar och olika ledningar där det fördröjs och renas (VA-guiden, u. å-a). Tömning kan ske genom pumpning, överfall eller kontinuerligt genom ett strypt utlopp. Föroreningar avskiljs framförallt genom sedimentation, vilket innebär att reningseffektiviteten ökar ju längre uppehållstid dagvattnet har i magasinet. Framst renas stora partiklar, men även mindre partiklar kan avskiljas. Ett poröst fyllnadsmaterial är att föredra för att öka reningsförmågan.



Figur 3: En principiell bild över ett avsättningsmagasin. (VA-guiden, u. å-a). Återgiven med tillstånd.

Till skillnad från ett avsättningsmagasin har ett perkulationsmagasin en öppen botten och ibland även öppna väggar, se figur 4. Dagvattnet leds till magasinet via perkulationsbrunnar eller ledningar där vattnet både fördröjs och renas (VA-guiden, u. å-c). Reningen sker både genom sedimentation av partikelbundna föroreningar och perkolation till underliggande mark och grundvatten. Detta innebär att denna typ av anläggning även bidrar till den naturliga grundvattenbildningen. Om magasinet är väldimensionerat och allt dagvatten perkuleras ner till grundvattennivån avskiljs partikelbundna föroreningar, kolloider och lösta föroreningar upp till 100 procent. Notera att detta är då inget vatten förs vidare till dagvattensystemen, utan istället perkuleras ner till grundvattnet.



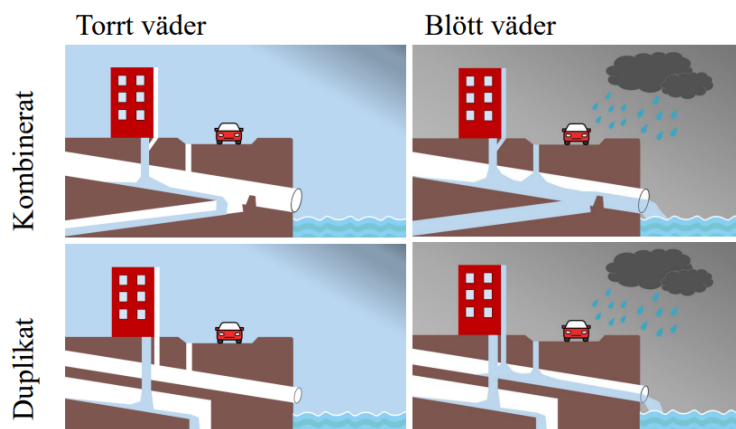
Figur 4: En principiell bild över ett perkulationsmagasin. (VA-guiden, u. å-c). Återgiven med tillstånd.

2.2.4 Avlopp- och dagvattenledningar

Det finns huvudsakligen två olika typer av avloppssystem, duplikata och kombinerade system. I kombinerade system leds både spill- och dagvatten genom samma ledning (De Toffol m. fl., 2007). Dessa system är utformade med en bräddningsfunktion för att förhindra överbelastning på system vid stora vattenflöden till följd av kraftiga regnfall. Det förorenade vattnet bräddas ut i framförallt vattendrag, vilket leder till olika negativa miljöpåverkningar. Tidigare var kombinerade system det vanligaste systemet, men på grund av risken för bräddning och dess negativa miljöpåverkan anläggs numera nästan exklusivt duplikata system. I gamla stadsdelar finns fortfarande kombinerade system på grund av den omfattande kostnaden för att byta ut dem och risken för kontaminering.

I duplikatsystem leds istället spill- och dagvatten i separata ledningar (De Toffol m. fl., 2007). Duplikatsystem är det avloppssystem som anläggs idag, och de har många fördelar gentemot kombinerade system. Till exempel reducerar de riskerna för översvämning på gatan eller i källaren, leder

till ett mindre ekologisk avtryck på närliggande akvatiska habitat och till en minskad spridning av vattenburna sjukdomar till följd av bräddningen. Duplikata avloppssystem släpper dock ut en betydande mängd föroreningar i de mottagande vatten om ingen behandling av dagvatten implementeras. Det är därför viktigt att någon renande teknik implementeras innan vattnet släpps ut. Se figur 5 för en jämförelse mellan kombinerade och duplikata system vid olika väderförhållanden.



Figur 5: Kombinerat och duplikat system funktion vid torra samt blöta väderförhållanden.

2.3 Smarta fördröjningsmagasin

Klimatförändringar förutspås förändra intensiteten och frekvensen av regnhändelser, vilket kan resultera i fler och värre översvämningar (J. Li & Burian, 2023). Det innebär att konventionella urbana dräneringssystem som utformas med hjälp av historisk nederbördsdata kan komma att vara otillräckliga. Framtidens urbana miljöer behöver en motståndskraft och en anpassningsförmåga till ökade flöden av dagvatten för att förhindra översvämningshändelser. Tidigare forskning har i huvudsak fokuserat på omformning och maximering av kapaciteten för redan befintlig dagvatteninfrastruktur. Det gäller planering av grå infrastruktur som rörledningar, pumpstationer och lagringstankar. Implementering av grön dagvatteninfrastruktur, som dagvattendammar, gröna tak och regnträdgårdar, visar sig däremot vara mer kostnadseffektiva än kapacitetsomformning av dagvatteninfrastruktur. Grön infrastruktur visar sig dock endast vara en god lösning för småskalig översvämning (J. Li & Burian, 2023). För att säkerställa en framtid med god dagvattenhantering krävs nya lösningar som överträffar kapaciteten och kostnadseffektiviteten av grå och grön infrastruktur.

Under den senaste tiden har datadrivna tillvägagångssätt som en lösning på dagvattenproblematik varit i rampljuset för forskningsfältet inom dag-

vatten (Sweetapple m. fl., 2023). Realtidskontrollerade system (RTC) är ett smart dagvattensystem som med hjälp av sensorer och väderprognoser kan hantera dagvattenavrinning mer adaptivt och därigenom minska översvämningsvolymerna i samhällen. Principen bygger på att kontrollera intag och uttag av dagvattenflöden med hjälp av prognoser för aktuellt och kommande nederbördsmonster samt hydrologiska tillstånd. Den smarta tekniken implementeras i befintliga system av såväl grå som grön karaktär och kallas då smarta fördröjningsmagasin. Det görs i syfte att uppnå en mer proaktiv hantering av dagvatten. Det minimerar behovet av nybyggnation vilket minskar koldioxidutsläpp och annan negativ miljöpåverkan.

Det finns en möjlighet för RTC-systemet att minimera förekomsten av föroreningar och en installation av en efterliggande rening kan öka möjligheterna för ett återbruk av dagvattnet via regnskörd. Regnskörd är en metod för att säkerställa en tillfredsställande vattenförsörjning (Campasino m. fl., 2017). Syftet är att minska konsumtionen av dricksvatten från centrala källor och därigenom säkra tillgången på vatten.

I dagsläget är implementeringen av och forskningen kring smarta fördröjningsmagasin i ett tidigt utvecklingsstadium (Sweetapple m. fl., 2023). Det finns en rad hinder för tekniken som behöver hanteras för att tekniken ska användas fullskaligt. Teknikens tillförlitlighet och tillgänglighet, brist på kunskap och kostnader är exempel på hinder som kan innebära en långsam utveckling av tekniken. Vid mitten av 2019 var det endast ett fåtal städer i världen som hade kompletterat sitt avloppssystem med RTC-system (Shishegar m. fl., 2019). Det var bland annat Wien, Paris, Bordeaux och Detroit. Där låg fokuset på ett tillägg av RTC-system på kombinerade avloppsnät för att minska bräddning. Ett tillägg av RTC-system på separata avloppssystem och andra dagvattenlösningar hade inte verkliggjorts. Det finns dock ett stort intresse för tekniken och dess möjligheter.

Få studier har gjorts i stor skala för att utvärdera potentialen hos regnskörd för att mildra stadsöversvämning (Rodrigues m. fl., 2023). Vidare har de studier som gjorts fokuserat på regnskörd från tak och endast en undersökning har undersökt regnskörd från uppsamlingsytor som inkluderar terrasser och parkeringsplatser. Det innebär att det finns begränsad kunskap gällande återbruk av dagvatten.

2.3.1 Real-tidskontrollerade system

En implementering av RTC inom dagvattenhanteringssystem innebär en integrering av vattennivåsensorer, flödesensorer, aktuatorer och rörliga grindar i befintliga eller nybyggda dagvattenhanteringssystem för att övervaka och hantera dagvattenflöden i realtid (J. Li & Burian, 2023). Genom att använda flödesensorer och vattennivåsensorer kan systemet kontinuerligt mäta vattenflöden och nivåer på olika platser för att få en ögonblicksbild av systemets tillstånd. Med hjälp av aktuatorer och rörliga grindar kan syste-

met sedan reagera på denna realtidsinformation genom att selektivt justera grindarna för att reglera flödet av dagvatten. Därigenom minskar risken för översvämningar eller hög belastning på avloppssystemet. RTC har förmågan att styra det dynamiska systemet genom att använda prognoser för variabler så som regnintensitet, vattennivåer och regnflöden (Jean m. fl., 2021). Dessa prognoser grundar sig på olika typer av algoritmer, exempelvis metoder som härrör från regelbaserade principer eller mer komplexa optimeringsbaserade strategier. RTC kan antingen reagera enbart på realtidsinformation, enbart på prognoser eller bero på en kombination av båda.

Genom att använda RTC kan man dra användning av dagvattenhanteringsteknikers fulla potential och/eller underutnyttjade lagringskapacitet, i både konventionella magasin och grön infrastruktur, genom möjligheten att selektivt tömma vatten innan nästa stora regnfall (J. Li & Burian, 2023). Detta syftar till att både optimera användningen av vattenresurser samt hantera översvämningensriskerna och belastningar på avloppssystemet. Till skillnad från grön infrastruktur kräver RTC dessutom färre frekventa inspektioner och underhåll på plats (J. Li & Burian, 2023). Grön infrastruktur kräver intensivt underhåll och kan därmed fungera ojämnt över långa perioder då underhåll utelämnas, vilket kan leda till en tidig förlust av systemfunktionalitet.

RTC kan möta utmaningar då två eller flera regnhändelser sker direkt efter varandra (J. Li & Burian, 2023). När det första ovädret har passerat börjar lagringvolymerna tömmas för att ge plats för nya vattenvolymer. Om nästa regnhändelse inträffar medan lagringsvolymerna fortfarande är delvis fyllda, kan den tillgängliga lagringskapaciteten vara otillräcklig för att effektivt hantera och fördröja dagvattenflödet.

I en rapport av J. Li och Burian (2023) undersöktes och jämfördes hur väl grön infrastruktur och RTC kan hantera olika typer av regnhändelser. Resultaten visar att RTC fungerar något sämre än gröna lösningar vid ett 2-års regn med varaktighet på tre timmar, men något bättre för ett 10-års regn. När återkomsttiden ökar till ett 100-års regn visar grön infrastruktur en begränsad möjlighet att minska översvämningar. Detta till skillnad från RTC, som behåller kontrollkapaciteten även då regnintensiteten ökar. Systemet har få förändringar i misslyckandegrad och översvämningar för små som stora regnhändelser. Även när RTC överbelastas under en 100-års händelse, använder den sin tillgängliga lagringskapacitet fullt ut för att behålla den extra vattenvolymen. Det smarta systemet upptäcker avrinningstoppar i förväg så att vattenvolymer kan avledas i tid för att förbereda tillräckligt med lagring för kommande händelser och därmed minimera risken för översvämningar. J. Li och Burian (2023) menar på att RTC:s dynamiska funktion är den främsta anledningen till dess fördel gentemot den statiska prestandan hos grön infrastruktur vid extremt kraftiga regnhändelser.

2.3.2 Återbruk av dagvatten

Återbruk av dagvatten kan implementeras genom regnskörd (Mogano & Okedi, 2023). Regnskörd är en uråldrig metod som används i stor utsträckning i världen för att mildra effekterna av vattenbrist genom att minska användning av dricksvatten. Ett regnskördssystem fångar in regnvatten från tak och andra ytor och lagrar vattnet i magasin (Rodrigues m. fl., 2023). Vattnet kan därefter nyttjas till användningsområden där vatten av dricksvattenkvalitet inte är nödvändigt.

Framtida extrema väderförhållanden ökar sårbarheten för vattentjänster i städer (Rodrigues m. fl., 2023). Genom att nyttja regnskörd för återbruk av dagvatten ökar vattensäkerheten i urbana områden då behovet av den centrala dricksvattenförsörjningen minskar. Det leder till minimerad vattenstress, förbättrad hållbarhet och bidrar till motståndskraften av det centrala systemet. Den mest accepterade tillämpningen för regnvatten var enligt Rodrigues m. fl. (2023) klädtvätt följt av bevattning av trädgårdar. På tredje plats kom extern användning, inklusive bil- och husdjurstvätt samt golvrengöring. Ytterligare en fördel med regnskörd är att det minimerar dagvattenflöden till nedströms dräneringsnät under regnintensiva perioder eftersom det insamlade vattnet används istället för att avtappas (Mogano & Okedi, 2023). Nederbörden är dock oregelbunden vilket kan ha en påverkan på regnskördens positiva effekter.

För att kunna återbruka det insamlade vattnet behöver det renas för det tilltänkta ändamålet (Rodrigues m. fl., 2023). Generellt renas det insamlade vattnet genom mekanisk rening, biologisk rening och/eller kemisk rening. Mekanisk rening eliminerar suspenderade ämnen, vilket förbättrar reningseffekterna av efterföljande behandling. För regnvatten inkluderar den mekaniska behandlingen spolning, ultrafiltrering, aktivt kol och sandfilter samt sedimentationstankar för att nämna några. När det gäller biologisk behandling är den enda rapporterade metoden konstgjorda våtmarker för rening av regnvatten. Den vanligaste typen av kemisk behandling är kemisk desinfektion med klor följt av användningen av ozon och desinfektion med ultraviolett strålning. För lagringsmöjligheterna av det skördade regnvattnet kan det vara nödvändigt att använda sig av en kemisk rening som lämnar kvar kemikalierester för att reducera risken för tillväxt av mikroorganismer. I tidigare forskning har regnvatten genomgått enklare rening för att avlägsna suspenderade ämnen och patogena mikroorganismer.

2.3.3 Integrering av smart teknik i grön och grå infrastruktur

Genom att kombinera RTC med grå infrastruktur som underjordsmagasin kan lagringsvolymen för magasinen minskas (Jean m. fl., 2021). Kombinerat RTC och grön infrastruktur minskar bräddningen. I en studie genomförd i Quebec, Kanada, visade det sig att fördelarna med realtidskontrollerade sy-

stem ökade när tekniken kombinerades med grön infrastruktur (Jean m. fl., 2021). När teknikerna kombinerades kunde både avrinningen på hårdgjord yta och flödestopparna kontrolleras. Det innebar att översvämningar i kombinerade rörsystem minskade. Lösningen visade sig dessutom vara kostnads-effektiv. Bräddningsvolymen minskade med upp till 98 procent när grön infrastruktur kombinerades med RTC. Den gröna infrastrukturens inverkan varierar på grund av designparametrar och mängden grön infrastruktur distribuerade i området, vilket innebär en osäkerhet. När RTC kombinerades med både grön och grå infrastruktur kunde en minimering av översvämningens risk ske till bäst kostnad och på ett tillförlitligt sätt. Systemet visade på högst robusthet. Då minskade bräddningsvolymen med upp till 95 procent. Det billigaste alternativet var att ensamt implementera RTC, men då uppnåddes inte önskad flödesminskning.

PolderRoof är ett exempel på smart teknik kombinerat med grön infrastruktur (Wavin, 2024). Innovationen går ut på att nyttja platta tak till en effektiv dagvattenhanteringslösning. Det bygger alltså på ett grönt tak integrerat med smart teknik för en cirkulär vattenhantering. Systemet kan bestämma hur man på bäst sätt ska hantera dagvattnet. På så vis kan vattnet lagras, nyttjas för växter, kyla byggnaden och återanvändas i fastigheten i tider av vattenbrist.

Genom att integrera RTC med återbruk av dagvatten är syftet att effektivt utnyttja tillgänglig lagringskapacitet och förbättra hanteringen av den befintliga regnskorpen (Mogano & Okedi, 2023). Det kan dessutom förbättra systemens prestanda både gällande vattentillgång och dagvattenretention.

2.3.4 Hinder och utmaningar

Det finns flera anledningar till att smart teknik för dagvattenhantering i form av smarta fördröjningsmagasin ännu inte nyttjas till fullo (Webber m. fl., 2022). Enligt Sweetapple m. fl. (2023) kan hinder för implementeringen av smarta dagvattensystem kategoriseras som tekniska eller socioekonomiska. Många av teknikerna för smarta dagvattensystem, som exempelvis sensorer, finns tillgängliga och är dessutom tillförlitliga. Teknikerna är väl använda och utvecklade inom andra sektorer, som transport- och energisektorn. Problemet är dock att tekniken inte använts i bred utsträckning inom dagvattenhantering. Existerande dagvattenmodeller är generellt sett inte utvecklade för realtidsdata. För att tekniken ska bli bevisad som pålitlig, effektiv och praktiskt användbar, krävs en utbredd implementering. Det finns därtill utmaningar gällande osäkerhet i datan som används för tekniken. Meteorologiska prognoser varierar över tid och det blir speciellt utmanande när det smarta systemet ska inta data över en lång tidsram. Prestandan försämras när framtid nederbörd inte kan förutsägas med säkerhet.

Socioekonomiska hinder för implementeringen av smarta dagvattensystem handlar bland annat om ovanor, bristande förtroende, motstånd mot

förändring, kostnadsfrågor och brist på kunskap (Sweetapple m. fl., 2023). Regleringar och krav ligger som grund för hantering av dagvatten. Det finns däremot inga regleringar och krav för smart hantering av dagvatten utan endast för konventionell hantering. För att teknikerna ska användas storskaligt krävs regulatoriska incitament och lagstiftning. Vid en övergång till smart dagvattenhantering tillkommer dessutom kostnader för smart teknik, drift-hantering och personalresurser. Stora kapitel- och driftskostnader kan i en samhällelig prioriteringsavvägning utgöra ett hinder för en storskalig implementering. Det har däremot visat sig att smarta system för dagvattenhantering resulterar i lägre livscykelkostnader. I två studier i USA innebar installationen av realtidskontrollerade system att livscykelkostnaden blev tre gånger lägre än för tidigare system (W. Xu m. fl., 2021). Det finns dock ett fortsatt behov av ekonomiska incitament och initiativtagare.

Det förekommer hinder för regnskörd integrerat med smarta fördröjningsmagasin (Sweetapple m. fl., 2023). Ett sådant hinder är att teknikerna för dagvattenhanteringen ännu inte lyckats utvecklas lika långt vad gäller kvalitén av vattnet som kvantiteten. Det saknas lösningar på realtidskontrollering och mätning av biologiska och kemiska föroreningar. Det hade sålunda krävts ett separat efterliggande system för det ändamålet. Även den sociala acceptansen för återbruk av dagvatten kan utgöra ett potentiellt hinder för implementeringen (Rodrigues m. fl., 2023). En acceptans kommer att vara avgörande för att säkerställa vetenskaplig spridning och skapandet av en plattform för dialog mellan forskare, beslutsfattare, företag och samhället. Vidare så utgör den generella brisen på regler och standarder en utmaning för återbruk av dagvatten. Ytterligare en utmaning som har hittats i tidigare forskning är att storlek på magasineringstank kommer att begränsa besparingen av dricksvatten (Rodrigues m. fl., 2023). Det gör dessutom att utbredda torrperioder kan leda till en reducerad prestanda från magasinen. Om magasinen under en längre period inte bidrar med någon nytta kommer det dessutom påverka återbetalningstiden på investeringen.

3 Metod

Nedan presenteras de metodiska tillvägagångssätt som användes för att genomföra studien. Det inkluderar metoder gällande val och insamling av data och information samt analys av insamlat material. Varje metod har valts med hänsyn till dess lämplighet för att besvara forskningsfrågan och bidra till en fördjupad förståelse av ämnet. En kort utvärdering av metoden ges i diskussionen.

3.1 Enkätundersökning

I detta arbete genomfördes en enkätundersökning. Syftet med enkäten var att erhålla en förståelse kring samhällets attityder till återanvändning av dagvatten och dess möjliga tillämpningsområden. Det är viktigt då tekniken till stor del väntas användas av allmänheten vilket samverkar med behov, nytta och potential av smarta fördröjningsmagasin.

Vid utformning av enkäten konstruerades frågor med fördefinierade svarsalternativ. Det inkluderar frågor om könstillhörighet, ålder, eftergymnasial utbildning, inkomst och boendeform för att möjliggöra en analys av hur olika demografiska och socioekonomiska faktorer kan påverka respondenternas svar. Även frågor så som

- Jag är ... att använda dagvatten som spolvatten (vatten i toaletten).
- Jag är ... att använda dagvatten för att vattna blommor, gräsmatta, grönsaker eller liknande.
- Jag är ... att använda dagvatten för att tvätta bilen.
- Jag är ... att använda dagvatten som duschvatten.
- Jag är ... att använda dagvatten i tvättmaskinen.
- Jag är ... att använda dagvatten i diskmaskinen.

inkluderades där respondenterna svarade utifrån deras inställning från ”starkt emot” till ”starkt för” för varje påstående. Anonymitet garanterades för respondenterna och eventuellt identifierande frågor behandlades enligt GDPR. Se bilaga A för enkätens utformning. Enkäten delades på olika sociala medier.

Innan enkäten distribuerades utfördes en testomgång med en representativ testgrupp. Det gjordes för att säkerställa att given bakgrundsinformation var tillräcklig för att respondenterna skulle kunna ta ställning. Det var även viktigt att frågorna var opartiskt ställda. Åsikter från testgruppen angående enkäten samlades in och utvärderades. Efter tillägg och omformuleringar kunde enkäten delas ut till allmänheten.

3.2 Fallstudie

För att begränsa rapportens omfattning genomfördes en fallstudie i två representativa svenska städer. Den ena staden representerar en av Sveriges städer med blötare klimat vilket innebär större regnmassor och längre regnperioder. Den andra staden representerar en av Sveriges städer med torrare klimat vilket innebär mindre regnmassor och längre torrperioder. De två städerna som valdes var Göteborg och Västervik.

I fallstudien undersöktes extremväder, regnmönster, grundvattentillgångar, urbanisering och typbebyggelser, kommunala krav och föreskrifter samt vattentillgångar i de två valda städerna. Undersökningen bygger på data som samlas in från SMHI, SGU och kommunala dokument, bestående av vattentjänstplaner, dagvattenstrategier och andra riktlinjer för fördröjning av dagvatten. Den insamlade informationen användes i jämförelsen av de två valda städerna för att kunna dra slutsatser om behov, potential och nytta av smarta fördröjningsmagasin i Sverige.

3.3 Modellering

För att undersöka hur ett potentiellt smart magasin skulle prestera genomfördes en modellering av tekniken för fallstudiens två städer. I modelleringen beräknades avrunnen volym, vattenbehov, avtappad volym, bräddad volym samt återanvänt dagvatten. Det gjordes för en fastighet i Göteborg och en i Västervik. Modelleringen genomfördes för ett nutidsscenario och för ett framtidsscenario. Vidare gjordes en modellering av avtappning och bräddning för ett konventionellt magasin utan smart teknik. Det genomfördes i syftet att kunna jämföra prestandan och framtagna parametrar mellan det smarta systemet och det konventionella systemet. Det gav möjlighet till en sammanställning av för- och nackdelar hos tekniken.

I modelleringen användes nederbördsdata från SMHI från år 2023. Behovet för återanvänt dagvatten i fastigheten beräknades endast för tvättmaskin samt toalett. Indatan till behovet är baserad på användningsdata från HSB living lab. Modelleringen gjordes i Excel och är baserad på om-satser.

3.4 SWOT-analys

I syfte att analysera och utvärdera potentialen hos smarta fördröjningsmagasin genomfördes en SWOT-analys. Den baserades på data insamlad i fallstudien, litteraturstudien, modelleringen samt enkätundersökningen. Denna metodik innebar att smarta fördröjningsmagasin systematiskt granskades utifrån fyra aspekter: Strengths (Styrkor), Weaknesses (Svagheter), Opportunities (Möjligheter) och Threats (Hot). Genom denna strukturerade analys gavs en övergripande bild av teknikens för- och nackdelar. Det bidrog till att en diskussion kunde sammanställas.

3.5 Metodens begränsningar

Begränsningar för studien kartlades inför arbetet. Två specifika begränsningar var utformning och distribution av enkäten. Det var av stor vikt att formulera enkätens frågor på ett objektiva och sakligt sätt, utan att vara ledande. Dessutom var det betydelsefullt att noga överväga vilken bakgrundsinformation som tillhandahålls, då detta påverkar respondenternas möjlighet att forma en åsikt. En hög grad av tydlighet och enkelhet i frågeformuleringen var även central för att undvika missförstånd. För att hantera dessa begränsningar genomfördes en första utvärdering med hjälp av en testgrupp. Enkäten delades ut på olika sociala medier. Baserat på målgrupp för kanalerna kan finnas risk för en snedvridning i datainsamlingen. Då enkäten bland annat delades ut i en kanal för samhällsbyggare på Chalmers samt LinkedIn, riskerar delar av svaren att representera en målgrupp med god bakgrundsinformation. Det kan leda till en avvikande syn på ny teknik i jämfört med majoriteten. För att hantera det inkluderades en fråga om 'eftergymnasial utbildning'.

En tredje begränsning relaterar till studiens omfattning. Brist på tid och resurser gjorde det omöjligt att undersöka samtliga städer i Sverige i den djupgående omfattning som vore önskvärd. Av den anledningen har två representativa städer valts. Det var dessutom inte möjligt att hantera allt tryckt material som finns tillgängligt kopplat till dagvattenhantering.

Vad gäller metoden för modelleringen gjordes flera förenklingar och antaganden som diskuteras vidare i kapitel 5.2.

4 Fallstudie

I syfte att utvärdera behovsbilden för smarta fördröjningsmagasin med efterföljande återbruk i Sverige har två representativa städer, Göteborg och Västervik, valts ut för en fallstudie. Göteborg och Västervik har valts ut som två typfall med olika utmaningar beträffande väder, urbanisering och stadsutveckling. Utvärderingen av två städers förutsättningar och möjligheter för implementeringen av smarta fördröjningsmagasin möjliggör en extrapolering av resultatet till stora delar av Sverige. Städerna ska vidare analyseras med hänsyn till nutidens och framtidens utmaningar kopplat till nederbördsmonster, grundvattenförhållanden, vattenanvändning, urbanisering och kommunala föreskrifter.

4.1 Extremväder

Extrema tvådygnsregn med areell utbredning beskrivs som Sveriges värsta nederbördstillfällen (Olsson m. fl., 2017). För att ett regn ska klassas som ett tvådygnsregn med areell utbredning ska regnet ha föregått i två dygn efter varandra och flera stationer i ett område ska ha drabbats av stora mängder vatten. Mer precist ska området vara av storleksordningen 1000 km^2 eller större. I majoriteten av fallen orsakar sådana regn översvämningar och stor skada. Mellan 1960 och 2017 har det skett en ökning av antal fall extrema tvådygnsregn, trots att antalet mätstationer har minskat med åren. Majoriteten av dessa extremregn sker under juli-september, med en topp i augusti. Det finns däremot ingen geografisk dominans när det kommer till regnen. Extrema tvådygnsregn har drabbat alla delar av Sverige. Trots att Västra Götaland har störst årsnederbörd i Sverige finns det ingen distinktion mellan sydvästra och sydöstra Sverige vad gäller extrema tvådygnsregn.

Skyfall är en term som vanligen används för extrem korttidsnederbörd (Olsson m. fl., 2017). Tidsintervallet sträcker sig inte längre än 12 timmar. SMHI definierar skyfall som minst 50 mm på en timme eller minst 1 mm på en minut. Det är vanligast att skyfall sker i juli följt av augusti. Varje år skapar skyfall stora kostnader för samhället. Det vanliga är materiella kostnader som resultat av bland annat förstörelse av infrastruktur, trafikstörningar eller källaröversvämningar. Västsverige visar på en större mängd nederbörd än Östsverige under skyfall för samtliga återkomsttider och varaktigheter på regnet. För längre återkomsttider på regnet ökar skillnaden på uppmätt mängd nederbörd mellan Västsverige och Östsverige. Göteborg drabbas sålunda av fler kraftiga skyfallshändelser än Västervik.

Det är viktigt att skapa prognoser för hur klimatförändringar påverkar framtidens skyfall. Planering för städer och samhällen görs ofta över långa tidshorisonter och mycket ska dessutom hålla under en längre tid, som exempelvis infrastruktur. När Olsson m. fl. (2017) skapar en prognos för framtidens skyfall estimeras en procentuell skillnad mellan nederbörd för tre

framtida och en historisk period. Den historiska perioden sträcker sig mellan 1971 och 2000 medan de framtida perioderna är 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100. Forskarna använder sig dessutom av två utsläppsscenarioer där det ena representerar en kraftigare global uppvärmning än det andra. Resultatet visar liten skillnad i procentuell ökning av skyfall mellan de sydvästra regionerna och de sydöstra. För samtliga återkomsttider, 5, 10, 50 och 100 år, ligger ökningen på 10-20 % fram till mitten av århundrandet, för både det mildrare och kraftigare utsläppscenariot. För framtidsperioden 2071-2100 sker dock en stor skillnad där det högre utsläppscenariot går mot 40 % ökning medan det lägre utsläppscenariot ligger kvar på 20 %. Det väntas sålunda ske en ökning av skyfallshändelser över de kommande åren, i ungefärligt samma ökning för både Västervik och Göteborg.

4.2 Nederbördsmönster

Varje år sammanställer SMHI (u.å.-b) statistik över diverse väderfenomen, däribland uppmätt nederbörd i flera av Sveriges städer. År 2023 registrerades 1096 mm nederbörd för Göteborg. Det sätter staden på en fjärdeplats efter Torup, Borås och Varberg i uppmätt mängd nederbörd på ett år. En del län i Sverige har större risk att drabbas av torka och vattenbrist, däribland Kalmar län (Länsstyrelsen Kalmar län, 2023). I juli 2023 införde Västervik kommun, belagt i Kalmar län, ett bevattningsförbud (Västervik Miljö & Energi, u.å.). Förbudet införs endast när en allvarlig brist på vatten förmodas ske och innebär ett kritiskt läge. Västervik hade 2023 en nederbörd på 600-800 mm, medan tidigare år visar värden på 400-600 mm (SMHI, u.å.-a).

Vid beaktning av Göteborgs och Västerviks månadsnederbörd för de senaste fyra normalperioderna, 1961-1990, 1971-2000, 1981-2010 och 1991-2020 märks en stor skillnad mellan städernas normalvärden. Göteborg visar för samtliga normalperioder och månader en betydligt mycket större nederbörd än Västervik. Göteborg visar på nederbörd upp till 110 mm normalvärde för vissa månader, medan Västervik endast kommer upp till 70 mm. Gemensamt för städerna är att slutet på sommaren och den senare delen av året medför större mängd nederbörd än resterande delar av året.

I framtiden väntas en mer intensiv nederbörd (SvensktVatten, 2024). Den blir inte nödvändigtvis mer frekvent, men väntas ske i större mängder. Framtidsscenarioer visar på risker för både översvämningar och torka. De södra delarna av Sverige som omfattar både Västervik och Göteborg väntas få ett varierande klimat mellan väldigt blöta och nederbördsfattiga somrar.

4.3 Grundvattenförhållanden

Gäller låga grundvattennivåer riskerar vattenförsörjningen att bli ansträngd (SGU, 2023). Det är då sannolikt att kommunen uppmanar till vattenbesparande åtgärder, som exempelvis ett bevattningsförbud. Efterföljande pro-

blematik varierar mellan olika kommuner beroende på vattenförsörjningens källa och tillgång till reservvatten. Sveriges kommunala dricksvattenförsörjning baseras ofta på grundvatten från stora magasin (SGU, 2023). Omkring hälften av Sveriges befolkning är anslutna till kommunal vattenförsörjning. Det är därtill drygt en miljon permanentboende personer i Sverige som är beroende av enskild vattenförsörjning från grundvatten (SGU, 2020). Det sker från brunnar och tas i nära till alla fall från små grundvattenmagasin.

I tabell 1 och 2 sammanställs hämtad data från SGU (2024) över grundvattennivåer i stora grundvattenmagasin i Göteborg och Västervik under de senaste fyra åren. Grundvattennivåerna klassas från ovanligt låg till ovanligt hög baserat på samtliga nivåer för perioden 1961 till föregående år. I Västervik har grundvattennivåerna varit låga, där månaderna augusti-december generellt har utmärkt sig. I Göteborg har grundvattennivåerna genomgående varit på den högre sidan. Januari till juni har under flera år visat på höga grundvattennivåer. Göteborg har under de senaste åren inte genomgått perioder med låga grundvattennivåer.

Grundvattennivåerna i sydöstra Sverige förväntas sjunka i framtiden (Vikberg m. fl., 2015). Speciellt under hösten och våren förväntas grundvattennivån sjunka. Det finns då en risk för minskad vattentillgång. Det kan påverka såväl den egna vattenförsörjningen som den allmänna. Höstens sänkning kan förklaras av den ökade avdunstningen som är en följd av högre temperaturer och en förlängd växt- och odlingssäsong. En del vattentäkter har konstgjord grundvattenbildning och för dem kommer behovet av infiltration att öka. Det är speciellt sydöstra Sveriges kustområden, däribland Västervik, som förutspås bli mest drabbade. Det beror på att kuststäderna har en liten magasinvolym och väntas få förlängda sommarperioder utan grundvattenbildning.

För sydvästra Sverige förväntas grundvattnets årsmedelnivå höjas (Vikberg m. fl., 2015). Det gäller särskilt för stora grundvattenmagasin. Högre grundvattennivåer under sommarhalvåret förutspås på grund av fler lågtryck och större regnmängder. För små grundvattenmagasin förväntas grundvattennivåerna vara relativt oförändrade.

Tabell 1: Grundvattennivåer i stora magasin i Västervik under 2020-2023.

Grundvattennivå i stora magasin i Västervik				
Månad/år	2020	2021	2022	2023
Januari	-	Låg	Låg	Låg
Februari	-	Ganska låg	Ganska låg	Ganska låg
Mars	-	Ganska låg	Ganska låg	Ganska låg
April	-	Ganska låg	Ganska låg	Nära medel
Maj	-	Ganska låg	Ganska låg	Nära medel
Juni	Låg	Ganska låg	Låg	Nära medel
Juli	Låg	Ganska låg	Låg	Ganska låg
Augusti	Ovanligt låg	Låg	Ovanligt låg	Låg
September	Ovanligt låg	Låg	Ovanligt låg	Ganska låg
Oktober	Ovanligt låg	Låg	Ovanligt låg	Ganska låg
November	Ovanligt låg	Låg	Ovanligt låg	Nära medel
December	Ovanligt låg	Låg	Ovanligt låg	Nära medel

Tabell 2: Grundvattennivåer i stora magasin i Göteborg under 2020-2023.

Grundvattennivå i stora magasin i Göteborg				
Månad/år	2020	2021	2022	2023
Januari	-	Hög	Hög	Nära medel
Februari	-	Hög	Hög	Ganska hög
Mars	-	Hög	Hög	Ganska hög
April	-	Hög	Hög	Ganska hög
Maj	-	Hög	Hög	Ganska hög
Juni	Hög	Hög	Hög	Ganska hög
Juli	Hög	Hög	Ganska hög	Ganska hög
Augusti	Hög	Ganska hög	Ganska hög	Ganska hög
September	Ganska hög	Ganska hög	Ganska hög	Ganska hög
Oktober	Ganska hög	Ganska hög	Nära medel	Ganska hög
November	Ganska hög	Ganska hög	Nära medel	Ganska hög
December	Ganska hög	Hög	Nära medel	Ganska hög

4.4 Vattenförsörjning

I Sverige förbrukas omkring 140 liter vatten per person och dygn (Svenskt Vatten, 2021). Fördelningen av vattnet ser ut som följande: 60 liter för personlig hygien, 30 liter för toalettspolning, 15 liter för tvätt, 15 liter för disk, 10 liter för mat och dryck samt 10 liter för övrigt. Det är dricksvatten som används även för andra ändamål än dryck. Under de senaste åren har hushållsförbrukningen närmast sig 130 liter per person och dygn (Svenskt Vatten, 2023). Den nedåtgående trenden är dock långsam och varierar mellan kommuner och år. Det gör att värdet på genomsnittlig vattenförbrukning

ännu inte sänkts.

Göteborgsregionens 13 kommuner har sammanslaget 30 kommunala vattenverk för beredning av dricksvatten (Göteborgs regionen, 2020). Av dessa 30 vattenverk baseras 13 på ytvatten, 15 på naturligt grundvatten och resterande 2 på konstgjord infiltration av ytvatten i grundvattenmagasin. Vad gäller Göteborgs stad finns två vattenverk som båda baseras på ytvatten. Vattnet kommer från Göta älv, Delsjöarna och Rådasjön. Vattenverken dominerar starkt vad gäller årlig vattenproduktion i regionen och producerar 62,7 miljoner kubikmeter vatten per år. Göteborgs stads vattenverk har full beredningskapacitet för stadens behov, men brister när det kommer till reservvatten. Reservvattnet tas från Delsjöarna och från Rådasjön, men vid långa avbrott riskerar staden att inte ha tillräckligt med råvatten. Det drabbar inte bara Göteborgs stad, utan även omkringliggande områden då Göteborgs stad säljer och leverar vatten till flera omkringliggande kommuner.

I Västervik baseras vattenförsörjningen till 70 procent på ytvatten och till 30 procent på grundvatten (Västerviks Kommun, 2017). Det beror på att Västervik har ett litet antal stora grundvattenmagasin, medan antalet sjöar är stort. Omkring 85 procent av Västerviks befolkning är anslutna till kommunal vattenförsörjning. Västerviks större tätorter försörjs huvudsakligen med ytvatten medan mindre tätorter med allmänt vatten eller bygghälsor utanför allmänt vattenområde försörjs med grundvatten. Generellt sett är förutsättningarna att försörja många personer med grundvatten dåliga. Det beror dels på klimatet, dels på geologi och jordart. I en risk- och sårbarhetsanalys för Västerviks kommun från 2015 fastställdes det hur den största risken för kommunen är brist på dricksvatten. Sårbarheten bedömdes vara större för ytvattentäkterna än för grundvattnet. Sjöarna som används för vattenuttag för allmänt vatten ingår i vattensystem med relativt små tillrinningsområden. Reservvatten finns endast för en av kommunens vattentäkter och under de senaste åren har behovet av reservvatten ökat. I samband med torrår ställs Västervik därmed inför kapacitetsproblem med vattenförsörjningen.

Västervik har flera områden med fritidshus där turister bor under sommaren (Västerviks Kommun, 2017). Det medför att vattenförbrukningen ökar märkbart under sommaren. Vid flera av de allmänna vattenverken i kommunen ökar vattenuttaget med mer än 30 procent. Vattenuttaget för de med egna brunnar ökar också under sommaren i och med att många fritidsområden har enskilt dricksvatten. I Västervik förväntas vattenförbrukningen öka samtidigt som risken för längre torrperioder under sommartid bedöms bli större. I och med att Göteborg är en betydligt större stad är det svårare att se samma drastiska förändring vid olika säsonger.

4.5 Urbanisering och stadsbild

I Västerviks kommun, som omfattar flera tätorter, bor ungefär 36700 invånare, varav 21800 i centralorten (Västerviks kommun, 2021). Inom de närmsta tio åren väntas befolkningsutvecklingen i Västervik vara relativt stillsam (Fridell, 2022). En urbanisering där unga människor i Västervik söker sig ut ur staden väntas kompenseras av utrikes inflyttning vilket medför att befolkningstillväxten står någorlunda stilla.

Västerviks centralort ligger längs kusten och stadens utbyggnadsförlopp centreras likaså längs kusten (Västerviks kommun, 2016). Centrala Västervik består dels av en tät kvartersstad, dels av ett öppet stadsrum med grönområden, allmännyttiga institutioner och omkringliggande äldre industrimark. Centrala Västervik har en hög andel hårdgjord yta (Västerviks kommun, 2020). Det beror dels på en omkringliggande industrimark, dels kvartersbebyggelsen med omkringliggande asfalt. Större handelsområden i Västervik har även det en stor andel hårdgjord yta. Västervik består av en varierande bebyggelse från flera hundra år tillbaka (Västerviks kommun, 2016). Västerviks stadsbild domineras av villabebyggelser med tillhörande trädgårdar. I sin helhet kan småskaliga villabebyggelser, två- eller trevånings flerfamiljshus, tomter med äldre stugor, stora institutionsbyggnader, radhus, tätt belagda låga hus intill bilfria gång- och cykelbanor med gemensamma stora grönområden, villor med stora trädgårdar och ett fåtal höghus återfinnas i Västervik.

Under 2022 och 2023 hade Göteborg störst tillväxt av alla kommuner i Sverige (Göteborgs Stad, 2023b). I maj 2023 fick Göteborg sin 600 000:e invånare och under endast 15 år lyckades befolkningen öka med 100 000 invånare, detta inkluderar nyinflyttade och nyfödda. Inom de närmsta 15 åren förväntas befolkningen följa den tidigare utvecklingen och komma upp i 700 000 invånare. Under de senaste 15 åren har Göteborg haft ett flyttnetto på 53 400 personer. Det flyttar sålunda betydligt fler till Göteborg, än de som flyttar från Göteborg. Med en ökad folkmängd krävs det att Göteborgs Stad ligger i fas med bostadsutveckling och infrastrukturprojekt.

I Göteborg har utformningen av gaturummen styrts av framkomligheten för bilar (Göteborgs Stad, 2021a). De senaste åren har däremot krav för framkomlighet för andra fordon än bilar ökat samtidigt som urbaniseringen lett till en förtätning av bostäder. I en del områden i Göteborgs stad är andelen hårdgjord yta stor. Det gäller främst för områden med tät bebyggelse på stenmark där all yta utöver bostäder ockuperas av körfält för fordon. På andra ställen i Göteborg, där bostäderna inte är lika tätt placerade, kombineras bostadsytan med en högre andel grönyta. Göteborgs stad har några villaområden omkring stadskärnan med trädgårdsytor och omkringliggande grönområden, men domineras i det stora hela av flerfamiljshus och lägenhetshus. När Göteborg expanderar och byggs ut står villor och småhus för omkring 4 procent, medan resterande utgörs av flerbostadshus

(Göteborgs Stad, 2023a).

4.6 Städernas dagvattenhantering

Västerviks Kommun (2023) och Göteborgs Stad (2023c) har i enlighet med lagen om allmänna vattentjänster uppfört varsin vattentjänstplan. Respektive plan behandlar långsiktiga planer för att tillgodose behovet av allmänna vattentjänster samt åtgärder som behöver vidtas för att den allmänna anläggningen ska fungera vid skyfall.

Städernas föråldrade avloppsnät som består av kombinerade ledningar skapar incitament för en utveckling av dagvattenhanteringen i de valda städerna. I Västervik kommun består en stor del av ledningsystemet av kombinerade ledningar (Västerviks Kommun, 2023). I Göteborg finns det huvudsakligen kombinerade system i innestaden och i delar av mellanstaden (Göteborgs Stad, 2023c). I båda städerna medför skyfall en risk för att anläggningarnas kapacitet överskrids vilket leder till översvämningshot eller att vatten rinner ytleds till lågpunkter. En stor andel kombinerade system gör därmed den allmänna spillvattenledningen sårbar, med risk för bräddning och ökad belastning på reningsverk (Västerviks Kommun, 2023). Genom att ersätta de kombinerade systemen för spillvatten och dagvatten minskar därmed belastningen på reningsverken (Göteborgs Stad, 2021a).

I Göteborg finns ett stort behov av att bygga ut ledningsnätet inom befintliga verksamhetsområdet då det finns många bebyggda områden som inte har någon anslutning till den allmänna dagvattenanläggningen (Göteborgs Stad, 2023c). Framförallt Askimsområdet bedöms ha ett stort behov av utbyggnad då de har befintliga problem med källaröversvämningar, tillskottsvatten och bräddning vid pumpstationer.

Göteborg som dessutom har ett utsatt läge ur ett översvämningsperspektiv är i behov av strategier för att minimera dagslägets och framtidens översvämningsrisker (Göteborgs Stad, 2021a). Eftersom marken i Göteborg till största del består av berg i höjdpartierna och lera med låg permeabilitet i dalgångarna är infiltrationskapaciteten för dagvatten ytterst begränsad. Markförhållandena leder även till snabb avrinning. I Älvstaden finns det möjlighet att avleda dagvatten till älven, detsamma gäller för kanalerna i centrala staden. Behovet av att rena vattnet kvarstår dock och kräver ytor där man kan fördröja dagvatten. Positivt är att gröna och blåa stråk är klassiska inslag i stadsbilen och den typen av dagvattenhantering passar väl in i såväl historiska miljöer som nyare områden.

I Västervik finns ett behov av att utveckla och uppdatera ledningsnätet och andra VA-anläggningar på ett hållbart sätt (Västerviks Kommun, 2023). Vid nyexploatering ska kommunen dessutom förbreda för framtida förhållanden genom att lägga till en klimatfaktor i dimensioneringen. Utöver det lägger Västervik stort fokus vid behovet att minska hårdgjorda ytor och öka lokalt omhändertagande och fördröjning för att stå emot skyfall vid befintlig

bebyggelse. Grönytor för vattenfördröjning i tätorter ska uppmärksammas tidigt i processen vid den fysiska planeringen. Västervik kommun ser dessutom vattenfrågor som högaktuella då deras största tätorter ligger vid kusten och har flera särskilt känsliga vikar och vattenområden (Västerviks kommun, 2020). Kommunen har även en positiv inställning till dagvatten och anser att det är en resurs som kan tillföra en mängd mervärden genom fördröjning och återanvändning.

4.7 Kommunala föreskrifter

Med målet att uppnå en långsiktigt hållbar dagvattenhantering har Västervik kommun antagit en dagvattenstrategi (Västerviks kommun, 2020). I den presenteras mål, principer samt en handlingsplan som ska leda till att dagvattensystemen klarar ett förändrat klimat med större variationer i flöden och intensivare regn. Några av de aspekter som presenteras i Västerviks dagvattenstrategi är att minimera uppkomsten av dagvatten, fördröja och omhänderta dagvattenflöden lokalt samt förhindra förorening av dagvatten och genomföra eventuell rening så nära källan som möjligt. Mer specifika krav har ställts på att 10 mm av varje regn ska kunna fördröjas lokalt på kvartersmark vilket innebär att nödvändiga ytor för en hållbar dagvattenhantering ska reserveras i den fysiska planeringen (Västervik Kommun, 2021). Kraven gäller för ny- och ombyggnation och vid nybyggnation ska dessutom metod och teknik för fördröjning av dagvatten redovisas i bygglovsansökan. Dagvatten ska inte heller tillföras till spillvattennätet och dagvattensystem ska dimensioneras för ett framtida klimat både vid ny bebyggelse och befintlig bebyggelse (Västerviks kommun, 2020). I dagvattenstrategin finns det dessutom riktlinjer för vilka regn som ska kunna tas emot till den allmänna dagvattenledningen (Västerviks Kommun, 2023). Funktionen av den allmänna anläggningen ska kunna upprätthållas vid regn upp till SMHI:s definition av skyfall.

Även Göteborg har fördröjningskrav och krav på rening av dagvatten (Göteborgs Stad, 2021b). Dagvatten från kvartersmark behöver kunna fördröjas med 10 mm och kravet är till för att minska belastningen på det befintliga ledningssystemet som är hårt belastat. Vid rening behöver två krav uppfyllas, att riktvärden och/eller målvärden är uppfyllda och att utsläppsmängderna inte riskerar att påverka miljökvalitetesnormer negativt. Reningen varierar även efter hur känslig recipienten är. I de fall då anläggningar går att använda till både rening och fördröjning är det viktigt att respektive krav är uppfyllda vilket säkerställs genom att dimensionera efter det största behovet.

5 Modellering av smarta fördröjningsmagasin

I syfte att utreda behovet, potentialen och nyttan av smarta fördröjningsmagasin genomfördes en modellering av tekniken. Som en del av fallstudien genomfördes modelleringen på en fastighet i Göteborg, Studio 1, och en fastighet i Västervik, Låringen. På så vis kunde olika behovsbilder täckas och kartläggas. I modelleringen togs bräddad volym, avtappad volym och återanvänd volym fram för varje timma under ett helt år. Modelleringen utfördes på ett nutidsscenario med nederbördsdata från 2023 samt på ett framtidsscenario med alternerad nederbördsdata baserat på meteorologers framtidsspaning. I framtidsscenarioet var även behovsbilden av vatten till fastigheterna ändrad. För att kunna bedöma prestandan av det smarta fördröjningsmagasinet genomfördes en modellering av ett konventionellt magasin utan smart teknik för såväl ett nutidsscenario som ett framtidsscenario. På så vis kunde beräknad bräddning, avtappning och återanvändning jämföras och utvärderas. Vidare presenteras en beskrivning för metoden av modelleringen och hur utförandet gick till väga. Det följes av de antaganden som gjordes i utförandet samt vilka begränsningar modellen har.

5.1 Metod och utförande

Modelleringen genomfördes i Excel. I följande kapitel beskrivs vilken indata som användes och arbetsprocessen för modelleringen av det smarta magasinet och det konventionella magasinet. Det kommer dessutom beskrivas hur modelleringen i ett framtidsscenario genomfördes. I bilaga B och C presenteras utformningen av Excelarket med tillhörande beräkningsformler som använts.

5.1.1 Indata

Modelleringen genomfördes i fallstudiens två städer, Göteborg och Västervik. För respektive stad utvärderades en fastighet. I Göteborg utvärderades en fastighet med redan befintlig dagvattenlösning i form av två regnträdgårdar. Fastigheten som utvärderades var Studio 1 som ägs av HSB. Med hjälp av HSB togs ritningar fram på den befintliga dagvattenlösningen samt ritningar över fastighetens alla ytor. Den totala volymen för regnträdgårdarna var $46,4 \text{ m}^3$ och behandlades under modelleringen som ett fördröjningsmagasin. Baserat på kravet på en fördröjning av de första 10 millimetrarna av regnet, är fastighetens magasin överdimensionerat. På fastigheten Studio 1 finns två flerbostadshus med totalt 59 bostadsrätter och antalet personer som bor i dessa uppskattades till 123 personer. Det gjordes med hjälp av statistik från Statistikmyndigheten (2024). Varje konsument antas nyttja 140 liter vatten per dygn (Svenskt Vatten, 2023). Det gäller för både Göteborg och Västervik. I Västervik togs en fastighet fram med hjälp av kartor. Där hittades en fastighet, Låringen, med fyra större flerbostadshus. Där antogs det bo

399 personer. På grund av en avsaknad av information om fastigheten hade en dagvattenlösning eller inte, antogs ett befintligt fördröjningsmagasin med en volym på 90 m^3 . Antagandet motiveras i kapitel 5.2.

Nederbördsdata laddades ner från SMHI (2024b) för år 2023. Datan visade hur mycket det regnat i millimeter under årets alla timmar. Den närmsta aktiva mätstationen till Västervik låg i Gladhammar 12 km bort. För nederbördsdatan i Göteborg användes en aktiv mätstation centralt i staden.

För att utföra modelleringen behövdes en beräkning av avrinningen under årets alla timmar. Avrinningen beräknades med hjälp av den reducerade arean för fastigheterna. För att beräkna den reducerade arean användes fastighetsritningar för Studio 1 i Göteborg och en fastighetskarta från Lantmäteriet (2024) för Låringen i Västervik. Fastigheterna delades in i ytor som tak, asfalt, gräsytor och permeabel yta. Arealen för respektive yta multiplicerades med en tillhörande avrinningskoefficient från Boverket (2021). För tak är koefficienten 0.9, för asfalt 0.8, för gräsytor 0 och för permeabel yta 0.7. Därefter summerades areorna för ytorna som multiplicerats med avrinningskoefficienten. Den reducerade arean för Studio 1 beräknades till 2863 m^2 och för Låringen 8970 m^2 . Den reducerade arean multiplicerades därefter med nederbörden varje timma för att få fram avrunnen volym.

För att beräkna prognosen för behovet av vatten för toalettspolning och tvättmaskin i flerbostadshuset användes data från HSB Living Lab, se bilaga D. Användningen och därmed behovet av vattnet varierar beroende på vilken månad, vilken dag och vilken tid det gäller. Alla beräkningar i modelleringen gjordes för alla timmar under hela året, vilket innebar att det var viktigt att rätt användning användes för varje timma. Med hjälp av funktionen VLOOKUP i Excel kunde datan kopplas samman för vilken månad, veckodag och timma beräkningen gjordes för.

Den tillåtna avtappningen från magasinet beräknades med hjälp av att ta en kontrollerad avtappning på 1 mm per timma multiplicerat med den hårdgjorda ytan i hektar. Det är en förenkling som motiveras i kapitel 5.2. För Göteborg var den maximala tillåtna avtappningen $2.86 \text{ m}^3/\text{h}$ och för Västervik var den $8.97 \text{ m}^3/\text{h}$.

5.1.2 Arbetsprocess för ett smart fördröjningsmagasin

Efter att all väsentlig indata beräknats och sammanställts i Excel kunde beräkningen inledas med målet att få fram mängd återanvänt vatten, bräddat vatten och avtappat vatten. Inledningsvis gjordes analysen för ett smart magasin i både Göteborg och Västervik.

Tanken med det smarta magasinet är att det ska kunna bevara vatten för en framtid behovsbild samt att det ska kunna släppa ut vatten i förväg inför ett regnfall. I modellen tog det sig i uttryck genom en prognos för regnfallet och en prognos för behovsbilden.

Prognosen för regnfallet togs fram med hjälp av en om-sats och gav endast ett värde för den första timman för varje dygn. Resterande timmars prognos ansattes till noll. För den första timman för varje dygn summerades de kommande 24 timmarnas avrinning. I beräkningen av regnprognosen användes dessutom funktionen NORMINV. Den bidrog till en slumpmässighet i prognosen. Sannolikheten togs fram med hjälp av kommandot Rand() som ger ett slumpmässigt tal mellan 0 och 1. Medelvärdet var summan av de kommande 24 timmars avrinning och värdet kunde avvika med en faktor på 0.1 av summan. I och med att funktionen NORMINV användes kunde ny data fås varje gång arket uppdaterades. Med hänsyn till slumpmässigheten i modellen gjordes tre simuleringar vid analys och behandling av resultatet.

Prognosen för behovet av vatten för bruk i fastigheten togs fram för varje timma. På liknande sätt som för prognosen för nederbörden användes funktionen NORMINV för att få en slumpmässighet i behovet. Sannolikheten togs fram med kommandot Rand() och medelvärdet var summan av de kommande 24 timmars behov. Behovet gällde för vatten för toalettspolning och tvättmaskin. Värdet på prognosen kunde därpå avvika med en faktor på 0.1 av summan av behovet.

För att beräkna avtappning, bräddning och återanvänt dagvatten behövde flera andra parametrar beräknas för varje timma. Parametrarna har till stor del beräknats med hjälp av om-satser i Excel. I första hand beräknades den behövda avtappningen. Det är den avtappning som hade gjorts om det inte fanns en gräns på hastigheten för avtappningen. Om nederbördsprognosen tillsammans med den initiala volymen, subtraherat behovet var större än den effektiva höjden var avtappningen lika med differensen mellan nederbördsprognosen tillsammans med den initiala volymen, och behovet. Om inte, var avtappningen noll. Den initiala volymen beräknades som slutlig volym timman innan adderat med avrinningen samma timma. Den slutliga volymen beräknades som den initiala volymen samma timma subtraherat med den faktiska avtappningen, bräddningen och återanvänt dagvatten. För att veta hur lång tid det skulle ta att tappa av infördes en räknare som tog den behövda avtappningen dividerat med tillåten avtappningshastighet. Det gjordes för den första timman på varje dygn. Vid de följande klockslagen räknades avtappningstiden ner till noll med en mindre timma, per passerad timma. Den faktiska avtappningen ansattes till den tillåtna avtappningshastigheten för de timmar där avtappning krävdes, om ingen avtappning krävdes ansattes den till noll. Om den initiala volymen för varje timma var större än magasinvolymen blev bräddningen lika med differensen mellan dessa. Var den initiala volymen mindre än magasinvolymen skedde ingen bräddning. Mängden vatten som kunde återanvändas inom fastigheten beräknades som summan av behovet för samma timma, om denna var mindre än den initiala volymen. Om den initiala volymen var mindre än behovet, användes hela den initiala volymen för återanvändning.

För att se till att modellen utförts på ett korrekt sätt ställdes en balans upp. Balansen var mellan avrinningen och återanvänt dagvatten, faktisk avtappning, bräddning och kvarliggande vatten i magasinet. Det gjordes för varje timma och blev resultatet noll för varje timma, var analysen korrekt utförd. För modelleringen visades en balans för varje timma och analysen var därmed korrekt utförd.

5.1.3 Arbetsprocess för ett konventionellt fördröjningsmagasin

När analysen för de smarta magasinen för Göteborg och Västervik gjorts skapades en modell för ett konventionellt magasin i respektive stad. Syftet var att kunna jämföra prestandan på ett smart fördröjningsmagasin med ett som inte använde tekniken - ett konventionellt magasin. Analysen för det konventionella magasinet gjordes för samma reducerad area, magasinvolym, tillåten avtappning, nederbördsdata och avrinning som för de smarta magasinen i respektive stad. Skillnaden mellan det smarta magasinet och det konventionella magasinet var att det konventionella magasinet inte arbetar utifrån en prognos för varken nederbörd eller behov. Vattnet återanvänds sålunda inte. Det konventionella magasinet tappar alltid av det vatten som finns i magasinet. Avtappningen är lika stor som den initiala volymen för varje timma, eller lika stor som den tillåtna avtappningen. Den initiala volymen i magasinet är liksom för det smarta magasinet den slutliga volymen timman innan adderat med avrinningen för samma timma. Om den initiala volymen i magasinet överstiger magasinvolymen, blir det bräddning. Bräddningen blir differensen mellan den initiala volymen i magasinet för varje timma och den totala magasinvolymen.

På samma vis som för det smarta magasinet ställdes en balans upp för att kontrollera tillförlitligheten i modellen. Balansen ställdes mellan avrinningen och summan av avtappning, bräddning och kvarliggande vatten för varje timma. Balansen visade för alla timmar ett värde på noll, vilket innebar att modellen utförts rätt.

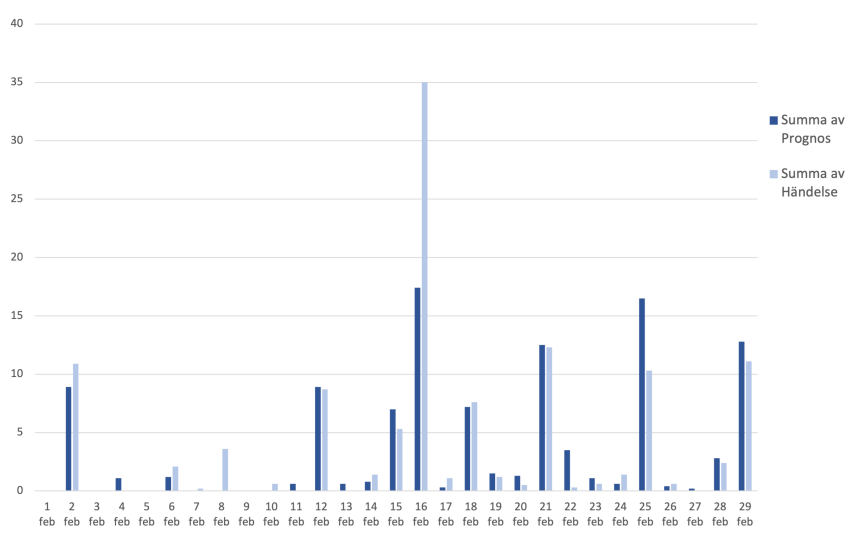
5.1.4 Framtidsscenario

För att kunna bedöma huruvida ett smart fördröjningsmagasin hade varit hållbart och effektivt även i framtiden gjordes modelleringen för ett framtids-scenario. Arbetssättet för modelleringen av ett smart och ett konventionellt fördröjningsmagasin i framtiden var precis likadant som för modelleringen för nutidsscenariot. Det som skiljde modellerna åt var indatan. I framtiden väntades över hela året en nederbördsökning på 10 %. En del månaders nederbördsstatistik visade på en stor nederbörd medan andra hade en mindre nederbörd. För de månader som visade på en stor nederbörd ökades nederbörden med 15 % i framtidsscenariot medan de månader med mindre nederbörd endast ökades med 5 %. Det viktiga var att årsökningen av ne-

derbörd var 10 %. För Västervik ökades januari, maj, augusti, november och decembers nederbörd med 10 %. Februari, april, juni, juli och septembers nederbörd ökades med 5 % och slutligen mars och oktobers med 15 %. För Göteborg ökades januari, februari, mars, april, juni, juli och oktobers nederbörd med 10 %. Maj, september och november nederbörd ökades med 5 % och slutligen augusti och december med 15 %. Behovsbilden ändrades för framtidsscenarioet. Varje person väntas istället bruka 100 liter vatten per dag. När framtidsscenarioet gjordes för det konventionella magasinet var behovsbilden fortfarande exkluderad ur analysen, men nederbördsmönstret ändrades i analogi med det smarta fördröjningsmagasinet.

5.2 Antaganden och förenklingar

I utformningen av modellen gjordes ett antal antaganden. Utformningen av prognosen för nederbörden gjordes endast för 00.00 varje dygn. Avtappningen börjar dessutom alltid ske 00.00 de dygn då avtappning behöver ske och fortsätter in på dygnet i så många timmar som krävs. Det innebär att en tidshorisont på 24 timmar antogs, inom vilket prognosen var någorlunda tillförlitlig. Dessa antaganden gjordes som nödvändiga förenklingar utifrån begränsningar i Excel. Det var nödvändigt att få till en minnesfunktion i Excel, för att inte ett nytt beslut skulle ske varje timma. På så vis gick modellen ihop och avtappningen kunde fortsätta ske i flera timmar. Att prognosen antogs som någorlunda tillförlitlig är även det en förenkling. I figur 6 åskådliggörs skillnaden i prognos och faktisk händelse för Göteborg i februari 2024.



Figur 6: Prognos [mm] i jämförelse med utfall [mm] för nederbörden i Göteborg i februari 2024.

När den reducerade arean skulle beräknas för respektive fastighet gjordes ett antagande om gräsyntans avrinningskoefficient. Gräsytor har vanligtvis en avrinningskoefficient mellan 0 och 0.1. I detta fall antogs 0 i och med att det inte var någon märkbar lutning på gräsytor som kunde göra att vattnet fördes till en ogenomtränglig yta.

För modelleringen i Västervik valdes en fastighet som passade in på profilen med ett flerbostadshus. En fastighet antogs utifrån kartor. Det gjordes i och med en tidsbrist som gjorde att Västerviks allmännyttan inte kunde kontaktas för att ta del av ett verkligt fall med en befintlig dagvattenlösning på fastigheten. Det antogs en dagvattenlösning i form av ett fördröjningsmagasin på $90 m^3$. Storleken på fördröjningsmagasinet beräknades utifrån kravet att en fastighet ska kunna fördröja de första 10 mm av ett regn. Fastighetens reducerade area multiplicerades med kravet vilket resulterade i en magasinvolym på $90 m^3$.

En tillåten avtappning antogs till 1 mm per timma multiplicerat med den reducerade arean i hektar. I verkligheten är det avrinningen innan exploateringen som styr. När marken exploateras och nyttjas får inte avrinningen försämrats och därmed antas en avtappning som motsvarar hur mycket vattnet lyckades infiltreras innan exploatering. I denna modellering görs en förenkling. Ytterligare en förenkling som gjordes i modelleringen var att ansätta avtappningen till maximalt tillåtet flöde. Det gjordes för det smarta magasinet och för alla fall då en avtappning behövdes.

I modelleringen användes endast användningsområdena tvättmaskin och toalettpolning vid utvärdering av återanvänt dagvatten för fastighetens behov.

Dagvattenlösningen på Studio 1 är en regnträdgård. I modelleringen förenklades dagvattenlösningen till ett underjordiskt magasin. Det togs alltså inte i beaktning att växterna i regnträdgården kan ta upp en del vatten och att flödet ner genom regnträdgården kan vara en långsammare process än flödet ner till ett magasin.

En förenkling i modellen är att den görs för hela timmar. Tidsupplösningen är alltså en timma vilket fungerar någorlunda i denna modellering då den önskade avtappningen är relativt låg. I ett annat fall där en högre avtappning är tillåten kan magasinet tömmas på kortare tid och då hade det varit relevant att ha förslagsvis minuter som tidsupplösning. Trots att det fungerar någorlunda i modelleringens fall är förenklingen en begränsning till modellens tillförlitlighet.

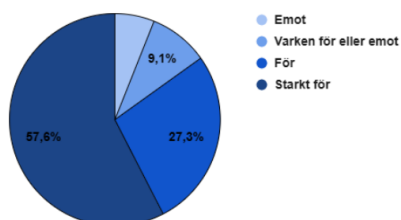
Ett antagande som gjorts i modelleringen är att vattenreningen är 100 % effektiv. Det innebär att det antas att allt dagvatten som tas in för rening efter magasineringen kommer att kunna användas. I verkligheten ligger inte användningsgraden på 100 % utan är ofta lägre.

Vid utformning av framtidsscenarioet gjordes flera antaganden. I första hand antogs en framtid behovsbild som lägre än den nuvarande. Det gjordes på grund av en tro om framtida vattenbesparande åtgärder för att på ett

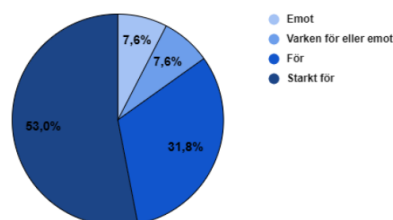
sundare sätt handskas med vattenresurserna. Vattenförbrukningen antogs till 100 liter per person och dag. Utöver vattenförbrukningen ändrades nederbördsmonstret. Det antogs en total ökning på 10 % nederbörd per år. Beroende av hur mycket det regnade under månaderna ökades nederbörden med olika procentsatser. För de månader det regnat mer ökades nederbörden med 15 %, för de där det regnat mindre 5 % och för de som inte utmärkte sig som varken hög eller låg ökades nederbörden med 10 %. Det antogs alltså att månader med mycket nederbörd skulle få en större ökning av nederbörden än månader med mindre nederbörd. Ingen minskning av nederbörden togs med i framtidsscenarioet. Det antogs med hjälp av SMHI (2024a) klimatscenarioetjänst som visade på en ökning av nederbörd för samtliga månader och på en låg ökning av torrperioder.

6 Resultat

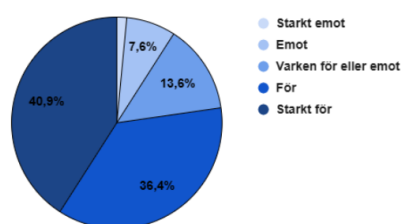
Baserat på de cirka 70 svaren på enkäten har allmänheten generellt sett en positiv inställning till att använda återvunnet dagvatten. Den mest positiva inställningen observerades för användning av dagvatten för toalettspolning, biltvätt och bevattning, där mellan 91-94 % var antingen för eller varken för eller emot, se figur 7, 8 och 9. Ingen av de undersökta användningsområdena hade mer än hälften av deltagarna emot. Dock visade nästan hälften av deltagarna negativ inställning till att använda återanvänt duschvatten, medan ungefär en fjärdedel var för och en fjärdedel var neutrala, som illustreras i figur 10. För användning i tvättmaskiner och diskmaskiner var attityden lite mer positiv. Ungefär 40 % av deltagarna var emot och cirka 60 % som var antingen för eller varken för eller emot, se figur 11 och 12.



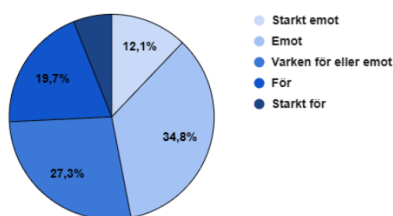
Figur 7: Cirkeldiagram som visar inställning gällande återanvändning av dagvatten i syfte för toalettspolning.



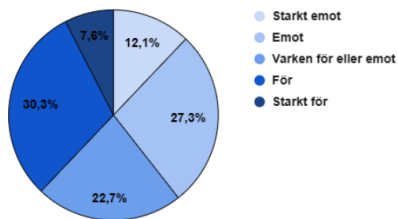
Figur 8: Cirkeldiagram som visar inställning gällande återanvändning av dagvatten i syfte för bevattning.



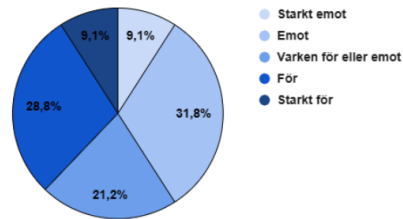
Figur 9: Cirkeldiagram som visar inställning gällande återanvändning av dagvatten i syfte att tvätta bilen.



Figur 10: Cirkeldiagram som visar inställning gällande återanvändning av dagvatten i syfte användas som duschvatten.

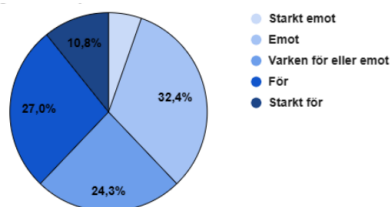


Figur 11: Cirkeldiagram som visar inställning gällande återanvändning av dagvatten i diskmaskinen.

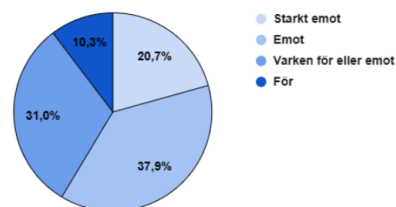


Figur 12: Cirkeldiagram som visar inställning gällande återanvändning av dagvatten i tvättmaskinen.

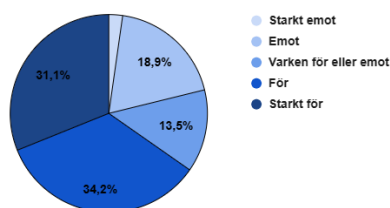
I enkäten ställdes demografiska och socioekonomiska frågor för att se hur dessa faktorer kan påverka respondenternas svar. Resultatet visar på en viss skillnad i inställning mellan det kvinnliga och det manliga könet. Kvinnor var mer positiva än män i alla undersökta användningsområden. Störst skillnad i inställning var för dusch, tvättmaskin och diskmaskin. Nästan 38 % av kvinnorna respektive drygt 10 % av männen var positiva till att använda återvunnet dagvatten som duschvatten, se figur 13 och 14. Vid användningsområdet tvättmaskin och diskmaskin var nästan 50 % av kvinnorna för och runt 30 % emot, se figur 15 och 16. Hos männen var istället runt 25 % för och runt 50 % emot, se figur 17 och 18. Se bilaga E för respondenternas svar.



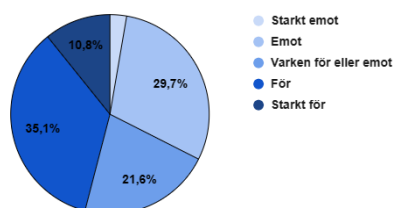
Figur 13: Cirkeldiagram som visar inställning hos kvinnor gällande återanvändning av dagvatten som duschvatten.



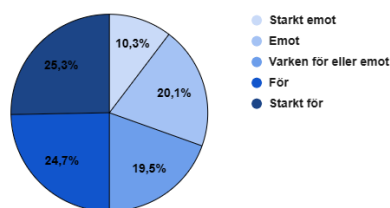
Figur 14: Cirkeldiagram som visar inställning hos män gällande återanvändning av dagvatten som duschvatten.



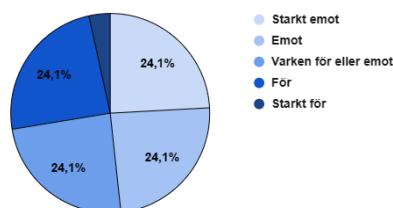
Figur 15: Cirkeldiagram som visar inställning hos kvinnor gällande återanvändning av dagvatten i tvättmaskin.



Figur 16: Cirkeldiagram som visar inställning hos kvinnor gällande återanvändning av dagvatten i diskmaskin.



Figur 17: Cirkeldiagram som visar inställning hos män gällande återanvändning av dagvatten i tvättmaskin.



Figur 18: Cirkeldiagram som visar inställning hos män gällande återanvändning av dagvatten i diskmaskin.

Resultatet för modelleringen gjordes i tre simuleringar på grund av slumpmässigheten i prognosen. Resultatet från modelleringen visar inledningsvis med hjälp av tabell 3 den faktiska avrinningen, behovet, använt dagvatten, bräddningen och den avtappade volymen för Västervik under ett helt år. I tabellen presenteras värdena för både ett nutidsscenario och ett framtidsscenario. I framtiden kan vi se att avrinningen kommer att öka eftersom årsnederbörden antas öka med ungefär 10 %. Att det framtida behovet minskar beror på antagandet som en lägre vattenförbrukning per person och dag.

Tabell 3: Jämförelse mellan nutids- och framtidsscenario för avrinning, behov, använt dagvatten, bräddning och avtappad volym [m^3] på ett år i Västervik.

	Nutidsscenario	Framtidsscenario
Avrinning	6623,4	7308,8
Behov	6711,7	4794,1
Använt dagvatten	3447,8	3041,2
Bräddning	780,6	1058,2
Avtappad volym	2395	3175,4

Bräddningen, för ett nutidsscenario och ett framtidsscenario i Västervik, presenteras i tabell 4 och tabell 5. I tabellerna presenteras bräddningen för varje månad samt för hela året och en jämförelse görs mellan ett maga-

sin med smart teknik och ett magasin utan smart teknik, ett konventionellt magasin. Både för nutidsscenarioet och framtidsscenarioet bräddas det smarta magasinet fler månader och med en större total bräddning. I en jämförelse mellan nutidsscenarioets och framtidsscenarioets värden för bräddning har det konventionella magasinet fortfarande fem månader av bräddning medan de smarta magasinet har ökat till sju-åtta månader bräddning. Jämfört med nutidsscenarioet ökar bräddningen för både magasinet med smart teknik och magasinet utan smart teknik. Ökningen för magasinet med smart magasin varierar mellan 153 till 278 m^3 per år och ökningen för det konventionella magasinet är 169 m^3 per år.

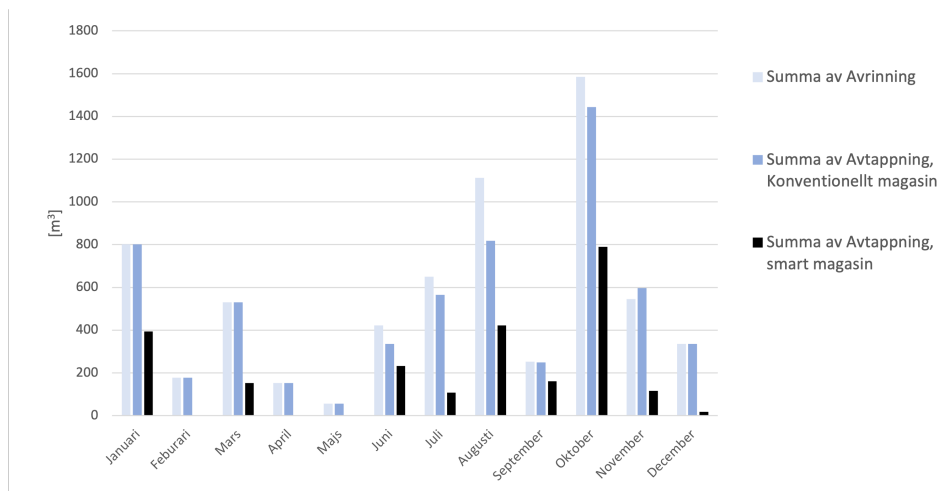
Tabell 4: Jämförelse av bräddning [m^3] för ett smart och ett konventionellt magasin i Västervik för ett nutidsscenario.

Månad	Simulering 1	Simulering 2	Simulering 3	Konventionellt magasin
Januari	24,9	50,3	60,8	0
Februari	0	0	0	0
Mars	0	0	0	0
April	0	0	0	0
Maj	0	0	0	0
Juni	114,9	114,9	114,9	86,4
Juli	111,4	106,2	106,2	85,5
Augusti	326,2	328,3	335,2	293,0
September	7,3	7,3	16,3	6,9
Oktober	195,9	227,3	213,8	92,7
November	0	0	4,1	0
December	0	0	0	0
Årligt	780,6	834, 3	851,3	564,5

Tabell 5: Jämförelse av bräddning [m^3] för ett smart och ett konventionellt magasin i Västervik för ett framtidsscenario.

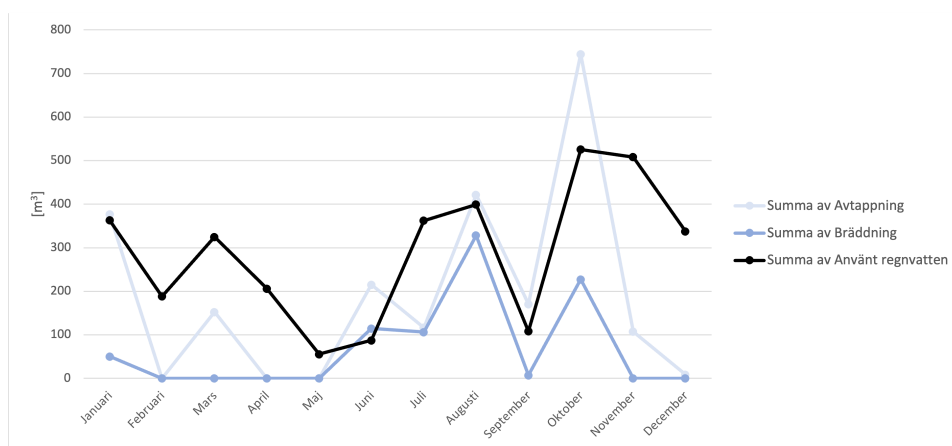
Månad	Simulering 1	Simulering 2	Simulering 3	Konventionellt magasin
Januari	54,7	83,5	79,5	0
Februari	0	0	0	0
Mars	0	0	0	0
April	0	0	0	0
Maj	0	0	0	0
Juni	135,9	135,9	135,9	105,1
Juli	123,0	123,0	126,3	100,1
Augusti	422,5	387,9	395,6	341,2
September	44,7	26,8	35,8	16,7
Oktober	262,9	280,8	227,0	170,6
November	4,7	4,7	4,7	0
December	9,8	0,8	0	0
Årligt	1058,2	1043,2	1004,8	733,6

Att det bräddas mindre för det konventionella magasinet kan förklaras med hjälp av figur 19. Där visas avtappningen för ett smart och ett konventionellt magasin i relation till avrinningen för ett nutidsscenario. Det konventionella magasinet har för varje månad en betydligt mycket större avtappning än det smarta magasinet. Det beror på att det konventionella magasinet har en konstant avtappning, medan det smarta bevarar vatten för användning. Avtappningen för de smarta magasinen i relation till avtappningen för det konventionella magasinet ställer sig i samma storleksordning för framtidsscenarioet som för nutidsscenarioet. I oktober, då differensen i bräddning mellan de smarta magasinen och det konventionella var som störst, sker det en märkbart större avtappning för det konventionella magasinet. I februari, april och maj sker ingen avtappning från det smarta magasinet då vattnet istället brukas. Flödestopparna i flödet ut från fastigheten minskar sålunda för det smarta magasinet. För det konventionella magasinet fördröjs flödet, men kontrolleras inte. Det är dessutom en mindre mängd vatten som lämnar fastigheten och belastar den gråa infrastrukturen för de smarta magasinen. I bilaga F presenteras en motsvarande figur för ett framtidsscenario.



Figur 19: Avrinning i jämförelse med avtappning för ett smart magasin och ett konventionellt magasin för Västervik i ett nutidsscenario.

I figur 20 ställs avtappning, bräddning och återanvänt dagvatten i relation till varandra för ett nutidsscenario. Figuren visar resultatet för simulering ett. I bilaga G, figur 25-26 samt figur 29-31, finns figurer för simulering två och tre samt för framtidsscenario. I figuren går det att se att det för vissa månader varken är någon avtappning eller bräddning, utan att allt vatten som samlas in återanvänds inom fastigheten. Det gäller för februari, april och maj. Det går dessutom att utläsa hur det aldrig bräddas mer än vad som avtappas och återanvänds.



Figur 20: Återanvändning, avtappning och bräddning i relation till varandra för Västervik i ett nutidsscenario.

Jämförs tabell 7 med tabell 6 kan man se att andelen återanvänt vatten av det totala behovet i Västervik generellt ökar och att behovet nästintill

täcks helt i juli och augusti i framtiden. I ett nutidsscenario täcks 51-52 % av behovet av återanvänt dagvatten. För framtidsscenarioet ökar andelen återanvänt vatten med elva till tolv procentenheter till 62-63 % av det totala behovet. Att framtidens behov kan tillgodoses på ett något bättre sätt kan förklaras av att behovet beräknas vara lägre, och tillgången på avrunnet vatten högre.

Tabell 6: Återanvänt vatten i procent [%] av det totala behovet i Västervik för ett nutidsscenario.

Månad	Simulering 1	Simulering 2	Simulering 3
Januari	66	65	66
Februari	40	40	40
Mars	62	62	62
April	46	46	50
Maj	11	11	11
Juni	13	17	15
Juli	84	83	83
Augusti	82	81	82
September	17	16	16
Oktober	71	72	72
November	71	72	73
December	53	54	53
Årligt	51 %	52 %	52 %

Tabell 7: Återanvänt vatten i procent [%] av det totala behovet i Västervik för ett framtidsscenario.

Månad	Simulering 1	Simulering 2	Simulering 3
Januari	74	75	74
Februari	54	54	54
Mars	77	77	77
April	63	58	63
Maj	23	23	23
Juni	15	15	23
Juli	99	99	100
Augusti	97	97	97
September	25	18	18
Oktober	84	82	84
November	87	87	87
December	65	65	65
Årligt	63 %	62 %	63 %

Tabell 8 visar den faktiska avrinningen, behovet, använt dagvatten, bräddningen och den avtappade volymen för Göteborg under ett helt år. I tabellen presenteras värdena för både ett nutidsscenario och ett framtidsscenario. Likt för Västervik kan vi se att avrinningen i framtiden kommer att öka eftersom årsnederbörden antas öka med ungefär 10 %. Att det framtida behovet minskar beror på antagandet som en lägre vattenförbrukning per person och dag.

Tabell 8: Jämförelse mellan nutids- och framtidsscenario för avrinning, behov, använt dagvatten, bräddning och avtappad volym [m^3] på ett år i Göteborg.

	Nutidsscenario	Framtidsscenario
Avrinning	3040,5	3361,1
Behov	2079,5	1485,4
Använt dagvatten	1488,8	1172,5
Bräddning	190,8	277,2
Avtappad volym	1325,6	1869,5

Bräddningen, för ett nutidsscenario och ett framtidsscenario i Göteborg, presenteras i tabell 9 och tabell 10. I tabellerna presenteras bräddningen för varje månad samt för hela året och en jämförelse görs mellan ett magasin med smart teknik och ett magasin utan smart teknik. Både för nutidsscenarioet och framtidsscenarioet bräddas det smarta magasinet fler månader och med en större total bräddning. I en jämförelse mellan nutidsscenarioets och framtidsscenarioets värden för bräddning har det konventionella magasinet fortfarande tre månader av bräddning medan det smarta magasinet har ökat till sju-åtta månader bräddning. Jämförs det med nutidsscenarioet så ökar bräddningen för både magasinet med smart teknik och magasinet utan smart teknik. Ökningen för magasinet med smart magasin varierar mellan 86 till 124 m^3 per år och ökningen för det konventionella magasinet är 60 m^3 per år.

Tabell 9: Jämförelse av bräddning [m^3] för ett smart och ett konventionellt magasin i Göteborg för ett nutidsscenario.

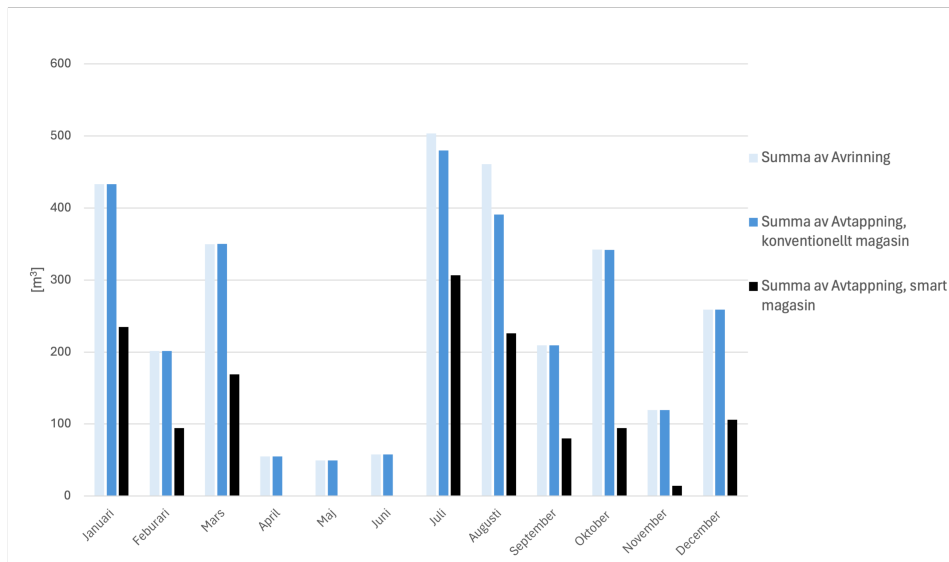
Månad	Simulering 1	Simulering 2	Simulering 3	Konventionellt magasin
Januari	11,9	11,9	17,5	0
Februari	5,3	2,5	0	0
Mars	11,6	4,3	4,7	0
April	0	0	0	0
Maj	0	0	0	0
Juni	0	0	0	0
Juli	60,4	50,2	47,9	23,7
Augusti	79,2	76,3	82,0	69,8
September	7,5	7,5	7,5	0
Oktober	14,9	14,9	14,9	0,8
November	0	0	0	0
December	0	0	0	0
Årligt	190,8	167,6	174,5	94,4

Tabell 10: Jämförelse av bräddning [m^3] för ett smart och ett konventionellt magasin i Göteborg för ett framtidsscenario.

Månad	Simulering 1	Simulering 2	Simulering 3	Konventionellt magasin
Januari	32,1	29,2	29,2	0
Februari	6,3	12	0	0
Mars	18,7	13	30,1	0
April	0	0	0	0
Maj	0	0	0	0
Juni	0	0	0	0
Juli	82,1	90,5	86,0	38,8
Augusti	101,3	101,3	107,0	104,5
September	7,5	7,5	7,1	0
Oktober	25,1	28,7	30,8	10,8
November	0	0	0	0
December	4,1	9,1	1,5	0
Årligt	277,2	291,3	292,7	154,0

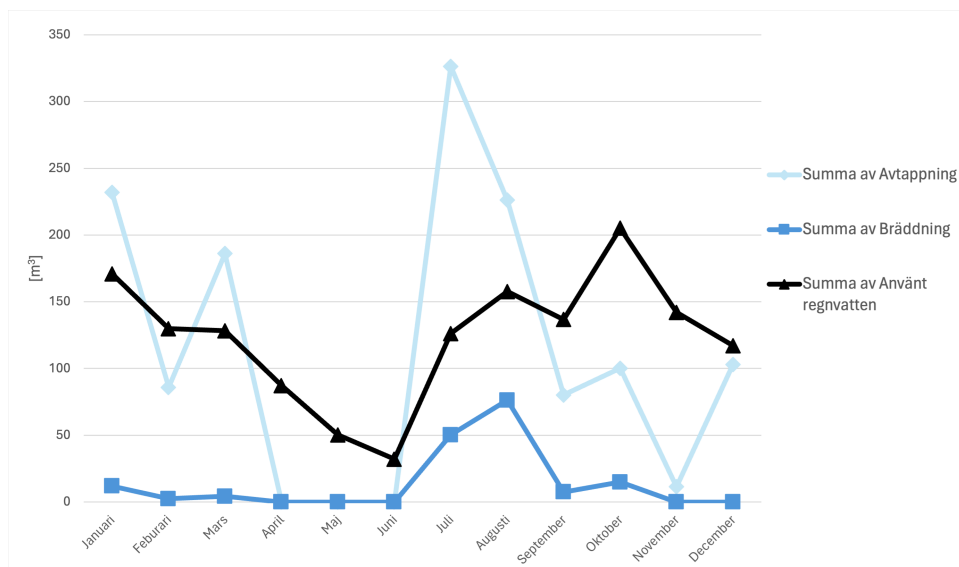
Att bräddningen är mindre för det konventionella magasinet beror på att det har en konstant avtappning. Som man kan se i figur 21 är avtappningen från det konventionella magasinet lika stor som avrinningen från fastigheten nio av tolv månader i ett nutidsscenario. För det smarta magasinet är avtappningen konstant mindre än avrinningen och under tre månader är avtappningen från det smarta magasinet noll. Att det sker en

lägre avtappningen från det smarta magasinet beror på att det insamlade vattnet återanvänds inom fastigheten och ses som en resurs. Vid kraftiga nederbördstillfällen innebär det dock att magasinet med smart teknik har en högre risk för bräddning. I bilaga F presenteras en motsvarande figur för ett framtidsscenario.



Figur 21: Avrinning i jämförelse med avtappning för ett smart magasin och ett konventionellt magasin för Göteborg i ett nutidsscenario.

I figur 22 jämförs avtappning, bräddning och använt dagvatten för magasinet med smart teknik i ett nutidsscenario för simulering ett. I bilaga G, figur 27-29 samt 32-34, finns figurer för simulering två och tre samt för framtidsscenario. I diagrammet framgår det att det varken sker någon avtappning eller bräddning i april, maj och juni utan allt vatten som samlas in återanvänds i fastigheten. Det går dessutom att utläsa hur det aldrig bräddas mer än vad som avtappas eller återanvänds.



Figur 22: Återanvändning, avtappning och bräddning i relation till varandra för Göteborg i ett nutidsscenario.

Tabell 11 presenterar andelen återanvänt vatten av det totala vattenbehovet för fastigheten i Göteborg för ett nutidsscenario. Det årliga behovet för toaspolning och tvättmaskin täcks till 71 % av det insamlade regnvattnet och månader då det regnar mycket, som januari, juli och augusti, kan hela behovet täckas av det insamlade vattnet. Sämst andel återanvändning i Göteborg inträffade i maj och juni men jämför man figur 22 med värdena i tabell 11 så kan man dock konstatera att allt vatten som samlades in gick till återanvändning dessa månader. I tabell 12 presenteras andelen återanvänt dagvatten av det totala behovet i ett framtidsscenario. Jämfört med nutidsscenario, tabell 12, så kommer den årliga andelen återanvänt vatten att öka med sju till åtta procentenheter från 71 % till 78-79 %.

Tabell 11: Återanvänt vatten i procent [%] av det totala behovet i Göteborg för ett nutidsscenario.

Månad	Simulering 1	Simulering 2	Simulering 3
Januari	100	99	100
Februari	80	90	85
Mars	81	82	91
April	68	61	63
Maj	33	33	33
Juni	21	21	21
Juli	99	100	97
Augusti	96	91	90
September	64	64	69
Oktober	92	90	92
November	62	63	53
December	60	60	60
Årligt	71 %	71 %	71 %

I tabell 12 går det även att avläsa att nästan hela behovet för fastigheten täcks av dagvatten fem av tolv månader jämfört med tre av tolv månader i nutidsscenarioet.

Tabell 12: Återanvänt vatten i procent [%] av det totala behovet i Göteborg för ett framtidsscenario.

Månad	Simulering 1	Simulering 2	Simulering 3
Januari	100	100	100
Februari	99	90	93
Mars	86	82	82
April	73	75	81
Maj	41	41	41
Juni	26	26	26
Juli	100	100	99
Augusti	100	100	100
September	79	79	79
Oktober	99	96	99
November	73	75	73
December	67	67	67
Årligt	79 %	78 %	79 %

7 Diskussion

Utifrån teorin och studiens resultat kan man resonera för att det finns ett behov av en utveckling gällande dagvattenhanteringstekniker. Det gäller både för att minska användningen av dricksvatten och för att hantera stora mängder nederbörd. Här har smarta fördröjningsmagasin möjligheten att göra båda.

För att tekniken ska vara intressant ur ett återvinnings syfte måste det finnas en vilja från dem som ska använda det återvunna dagvattnet. Från enkätens resultat kan man se att allmänheten generellt har en positiv inställning till att använda dagvatten, vilket gynnar viljan att implementera tekniken för kommun eller fastighetsägare. Mest positivt står folk till att använda dagvattnet i aktiviteter som inte kommer i kontakt med hud eller som av misstag kan förtäras, så som toalettpolning och biltvätt. Gissningsvis kan detta bero på att man inte vill riskera att få i sig smittoämnen eller andra ämnen som kan påverka hälsan negativt. För att tekniken ska accepteras av en ännu större del av allmänheten måste användarnas hälsa och säkerhet kunna säkerställas genom olika reningstekniker. Det krävs även tydlig information till användarna om teknikens säkerhet samt krav och regler för användningen. För att accelerera utvecklingen av smarta fördröjningsmagasin behöver det finnas en tydlig lagstiftning vad gäller kvalitet på vattnet för olika användningsområden.

Studien visar även att det finns könsspecifika skillnader i attityder gällande återanvändning av dagvatten, där kvinnor generellt är mer positiva än män. Störst skillnad går att se för dusch, diskmaskin och tvättmaskin vilket är de tre användningsområdena som på ett eller annat sätt kommer i kontakt med hud eller av misstag förtäras. Skillnaderna i attityder är en intressant observation och något som bör beaktas för att lyckas ändra attityder och kunna implementera tekniken.

Vem som kan dra nytta av teknikens implementering kopplar starkt till social och ekonomisk hållbarhet. Tekniken medför en installationskostnad för fastighetsägaren som kan medföra en förhöjd boendekostnad. Investeringskostnaden skulle eventuellt kunna tas igen under det smarta fördröjningsmagasinets drifttid i och med att dagvatten återanvänds och inte behöver köpas från kommunen. Om fördröjningsmagasinet inte kan tillgodose behovet för fastigheten alla månader på grund av låg effektivitet eller torrare perioder riskerar återbetalningstiden att bli utdragen. En förbättring av magasinets effektivitet eller utökning av användningsområden kan göra att en större del av behovet tillgodoses och att de boende kan betala mindre för vatten i fastigheten.

Ett decentraliserat system av vattenförsörjning till fastigheten kan bidra med en säkerhet för såväl fastighetsägaren som de boende, vilket kan öka värdet på fastigheten. Ekologiska incitament för att implementera tekniken, som en ökad medvetenhet vad gäller dagvattenhantering, en aktiv

översvämningshantering samt återanvändning av resurser, kan skapa ett värde på fastigheten. Om fastigheten miljöstämplas kan den sociala och ekologiska attraktiviteten öka vilket kan bidra till ekonomiska fördelar ur fastighetsägarens perspektiv. Frågan är dock om det föreligger risk för att personer drivs ur sina bostäder på grund av potentiella stigande kostnader för bostäderna. När incitamentet och satsningen ligger hos fastighetsägaren kan användningen av tekniken bli en klassfråga, vilket är negativt ur ett socialt hållbarhetsperspektiv. För att tekniken ska implementeras kvarstår faktumet att det är viktigt att fastighetsägaren ser ett ekonomiskt värde i implementeringen. Det gäller så länge det inte finns lagdirektiv på att tekniken ska tillämpas. Ur kommunens perspektiv kan implementeringen av smarta fördröjningsmagasin innebära en mer hållbar och effektiv dagvattenhantering och en sundare resursanvändning. Inkluderas en hållbar dagvattenhantering tidigt i planeringen kan kostnader hållas nere.

Ur modelleringen kan flera slutsatser dras om fördelarna med smarta fördröjningsmagasin. Genom att kombinera smart teknik med fördröjningsmagasin ökar möjligheten för en kontrollerad avtappning från fastigheten. Genom att dessutom kombinera den smarta tekniken med möjlighet till återanvändning av dagvattnet minskar den avtappade volymen från fastigheten markant. Att det smarta fördröjningsmagasinet har en dynamisk avtappning innebär att flödestopparna nedströms minskar och att översvämningsrisker kan förebyggas. Det ger i sin tur en mindre påverkan på den gråa infrastrukturen. Ur resultatet för modelleringen kan man dock utläsa att de konventionella magasinen ledde till en mindre total bräddning under ett år än magasinet med smart teknik. Detta stämde för både Göteborg och Västerviks nutids- och framtidsprognos. Magasinen utan smart teknik kan dock enbart fördröja flödet en kortare stund då det är modellerat med en konstant avtappning. Det ger en mindre kontroll på avtappningen än vid implementering av smart teknik. För ett nutidsscenario i Göteborg för ett smart fördröjningsmagasin är den avtappade volymen på ett år tillsammans med bräddningen enbart 1525 m^3 av den totala avrinningen som är 3041 m^3 . Det innebär att bara hälften av det dagvatten som når fastigheten kommer att belasta den gråa infrastrukturen utanför fastigheten. Mängden som lämnar det konventionella magasinet är lika stor som avrinningen, alltså 3041 m^3 per år. Även för Västervik innebär det smarta magasinet ungefär halvering av flödet som lämnar fastigheten per år. Jämför man avtappning och bräddning för ett konventionellt magasin med ett smart magasin så blir det tydligt att mer vatten kommer att lämna det konventionella magasinet, även om bräddningen är mindre.

Som nämntes i kapitel 5.2 sker avtappningen från det smarta magasinet i maximalt flöde varje gång en avtappning krävs. Det är en förenkling i modellen som påverkar hur mycket av behovet som kan tillgodoses. För flera månader i såväl Västervik som Göteborg är avtappningen större än återanvändningen, trots att behovet för vardera månad inte tillgodoses. Det

gäller främst för de månader med mycket nederbörd där magasinet behöver förbereda sig på kraftiga regnfall. Det gör att magasinet töms, trots att ett behov finns.

I tabell 13 och tabell 14 presenteras bräddning, använt dagvatten och avtappning som en procentsats av den totala avrinningen. Dessa värden presenteras för respektive fastighet i Västervik och Göteborg och visas för både ett nutids- och framtidsscenario och är bearbetade från det tidigare presenterade resultatet.

Tabell 13: Jämförelse mellan nutidsscenario för Göteborg och Västervik gällande bräddning, använt dagvatten och avtappning i förhållande till avrinning.

	Göteborg	Västervik
Bräddning	6,3 %	11,8 %
Använt dagvatten	49,0 %	52,1 %
Avtappning	43,6 %	36,2 %

Tabell 14: Jämförelse mellan framtidsscenario för Göteborg och Västervik gällande bräddning, använt dagvatten och avtappning i förhållande till avrinning.

	Göteborg	Västervik
Bräddning	8,2 %	14,5 %
Använt dagvatten	34,9 %	41,6 %
Avtappning	55,6 %	43,4 %

För en stad som Västervik som riskerar kapacitetsproblem i vattenförsörjningen vid torrperioder så innebär en återanvändning av dagvatten en avlastning för den centrala dricksvattenförsörjningen. Möjligheten att använda det insamlade dagvattnet blir därmed den största nyttan från smarta fördröjningsmagasin. Ur tabell 13 och tabell 14 kan man utläsa att bräddningen tillsammans med avtappningen är 48 % för nutid respektive 58 % för framtid av den årliga avrinningen för de smarta fördröjningsmagasinen. Samtidigt så är den årliga täckningsgraden av behovet för Västervik 51-52 % för nutid och 62-63 % för framtid. Det indikerar en tydlig potential för att vidare utveckla den smarta tekniken för att möjliggöra en större nytta vid användning av smarta fördröjningsmagasin på torrare platser som Västervik. Att Västervik får en betydligt större procentuell bräddning än Göteborg beror på att Göteborgs magasin är överdimensionerat medans Västerviks magasin är dimensionerat för att precis klara fördröjningskravet på 10 mm.

Ett sätt att öka andelen använt dagvatten är att utöka användningsområden för det insamlade regnvattnet. Genom att även inkludera exempelvis dusch ökar efterfrågan på det insamlade regnvattnet vilket medför att avtappningen och bräddningen från det smarta magasinet troligtvis hade minskat. Samtidigt hade användningen av dricksvatten minskat. I framtid-

den när förbrukningen väntas minska samtidigt som nederbörden väntas öka kan utökningen av användningsområden bli speciellt relevant. Framtidsprognosen bidrar till att andelen bräddning och avtappning ökar medan återanvänt vatten minskar. Det åskådliggörs i tabell 13 och tabell 14. Kan vattnet nyttjas för flera ändamål finns potential för att minska bräddningen och avtappningen.

Västervik kan även dra nytta av tekniken ur ett översvämningssperspektiv. Så som beskrevs under kapitel 4.1 kan extrema tvådygnsregn drabba torrare delar av Sverige med samma sannolikhet som för de generellt sett mer regndrabbade delarna. Vid kraftiga regn, alternativt långa ihärdiga regn, kan framkomligheten för utryckningsfordon äventyras och det kan ske skador på infrastrukturen. Det innebär stora kostnader för samhället som en investering i smarta fördröjningsmagasin kan komma att förebygga. Det är därtill av stor relevans att förbereda även Västervik på en framtida ökning av extrema tvådygnsregn.

Göteborg står inte inför samma problematik med dricksvattensförsörjning som Västervik, men framtidens irreguljära nederbördshändelser kan innebära längre torrperioder även i Göteborg. Torrperioderna kan innebära låga grundvattennivåer i omkringliggande kommuner som Göteborg säljer vatten till från sina ytvattenverk. Ansträngs vattenförsörjningen i omkringliggande kommuner, kan Göteborg stads vattenförsörjning komma att påverkas. Därtill har smarta fördröjningsmagasin med möjlighet till återanvändning av dagvatten även en funktion i Göteborg. Det mer aktuella problemet som smarta fördröjningsmagasin kan hantera i Göteborg är reducering av flödestoppar och minskning av översvämningar. Ur tabell 13 och tabell 14 kan man utläsa att bräddningen tillsammans med avtappningen är 50 % för nutid respektive 64 % för framtid av den årliga avrinningen för de smarta fördröjningsmagasinen. Det innebär att det använda dagvattnet är 49 % för nutid respektive 35 % för framtid av den årliga avrinningen. Samtidigt så är den årliga täckningsgraden av behovet för Göteborg 71 % för nutid och 78-79 % för framtid. För att vidare utveckla de smarta magasinens potential behöver avtappningen och bräddningen minskas ytterligare. För att handskas med detta kan man utöka användningsområdena för att öka efterfrågan på det insamlade dagvattnet. Det kan dessutom vara aktuellt för en blötare stad som Göteborg att titta vidare på ytterligare lösningar för att reducera flödestoppar. Att implementera smart teknik på även den gråa infrastrukturen och utöka mängden grön infrastruktur kan vara ett sätt att hantera framtida ökade flöden som nämnt i kapitel 2.3.3.

Städernas stadsbild påverkar även nyttan av och möjligheten för smarta fördröjningsmagasin. När Göteborgs stad expanderar sker det som tidigare nämnts främst genom bebyggelse av flerbostadshus och höghus. Exploateringen av marken skapar en dagvattenproblematik som smarta fördröjningsmagasin kan vara lösningen på. Modelleringen utfördes för flerbostadshus med en fastighetsägare som tillgodoser de boende med vatten. I Göteborg

speglar detta till mångt och mycket hur invånarna bor, medan det i Västervik ser annorlunda ut. I Västervik bestod stadsbilden till stora delar av villabyggelse med trädgårdar. Huruvida samordningen med ett smart fördröjningsmagasin ska ske, när de flesta bor i ägda villor, behöver utredas vidare.

Oavsett om en stad har torrproblem eller översvämningsproblem har smarta fördröjningsmagasin med möjlighet till återanvändning av dagvatten en nytta. Att minimera dricksvattenförbrukningen är fördelaktigt oavsett om staden lider av torka eller inte. Extrema regnhändelser kan drabba alla Sveriges städer och det är därmed av stor relevans att förbereda staden på stora regnmassor genom smart fördröjningsteknik. Modelleringen har visat att det smarta fördröjningsmagasinet har kapacitet att fördröja och/eller möjliggöra återanvändning mellan 88-94 % av det vatten som når fastigheten enligt nutidens nederbördsmonster och 85-92 % enligt den antagna nederbörden för framtiden. På så sätt minskar flödestopparna från nederbörd vid en implementering av smart teknik.

Modelleringsens svaghet ligger i de förenklingar som var nödvändiga för att Excel skulle kunna hantera datan. Förenklingarna bidrar till en mindre tillförlitlighet till resultatet och gör att modelleringen inte helt kan spegla ett verkligt fall där tekniken är smartare. Det kan vara en anledning till att modelleringen i vissa aspekter gav ett annat resultat än vad tidigare studier, som nämns i kapitel 2.3, resulterade i. De tidigare studierna utvärderade dessutom ett smart fördröjningsmagasin utan möjlighet till återanvändning av dagvatten, vilket kan ha bidragit till skillnaden i resultat mellan denna studie och andra. Framtid forskning hade behövt vidare fokusera på potentialen att återbruka dagvattnet med smarta fördröjningsmagasin. Det hade därtill krävts färre antaganden, som exempelvis befintlig dagvattenlösning och antal boende i fastigheterna, som gör att modellen blir mer tillförlitlig.

En förbättring av modellen som kan göras framåt är en mer dynamisk hantering av avtappningen. Hade avtappningen kunnat ske kontrollerat och i mindre mängder över längre tid, kanske återanvändningsgraden hade blivit större samtidigt som risken för bräddning inte ökar. Värt att nämna är också att det smarta magasinet aldrig kommer att vara smartare än prognosen. Som diagrammet i kapitel 5.2 visar stämmer prognosen sällan helt överens med det faktiska utfallet. Det bidrar till att bräddning kan ske trots att magasinet förberett sig på ett kraftigt regnfall. Tidsupplösningen som i modelleringen var timvis bidrar också till en osäkerhet i prognosen. Kan tekniken möjliggöra en kortare tidsupplösning hade prognosen gissningsvis kunnat stämma bättre överens med faktiskt utfall och behovet till fastigheten hade kunnat tillgodoseas på ett effektivare sätt.

Denna studie har undersökt hur mycket av behovet som ett magasin med smart teknik skulle kunna tillgodose. Studien har inte undersökt reningen efter uppsamling, varken hur det skulle gå till eller hur mycket det skulle behöva renas för att säkerställa användarnas goda hälsa. Det är något som kommande forskning skulle behöva undersöka. Om rening inte kan ske på ett

säkert och kostnadseffektivt sätt förlorar de smarta magasinen en del av sin potential. Förslagsvis kan det vara intressant att undersöka en kombination mellan en grön infrastruktur, så som regnträdgård, och magasin med smart teknik. Regnträdgården kan delvis rena dagvattnet innan magasinering genom sedimentation och växtupptag. Det krävs då en mindre omfattande rening efter magasinering, vilket eventuellt kan minska kostnader. Det finns goda förutsättningar för fortsatt forskning inom effektiv dagvattenhantering som kan möjliggöra en god implementering av smarta fördröjningsmagasin.

8 Slutsats

Studien påvisar att smarta fördröjningsmagasin erbjuder betydande potential och nytta samt har möjlighet att täcka delar av städernas dagvattenhanterings- och vattenförsörjningsbehov. Det gäller särskilt i ljuset av förändrade regnmönster. Resultaten från enkäten understryker en övergripande positiv inställning hos allmänheten till användningen av återvunnet dagvatten, där upp till 94 % var för. Modelleringen visar att det smarta fördröjningsmagasinet kan fördröja och/eller möjliggöra återanvändning av upp till 94 % av det dagvatten som når fastigheten per år enligt nutidens nederbördsmönster och upp till 92 % enligt den antagna nederbörden för framtiden. På så sätt minskar flödestopparna från nederbörd vid en implementering av smart teknik. I torrperioder kan smarta fördröjningsmagasin bistå samhället med dagvatten som kan återanvändas inom fastigheter. I ett nutidsscenario är täckningsgraden 52 % per år för Västervik och 71 % per år för Göteborg. Störst andel använt dagvatten återfinns i de mer regnintensiva delarna av året. För framtidsscenarioet, då en ökning av årsnederbörden och en minskning av den dagliga vattenförbrukningen antogs, var täckningsgraden 63 % per år för Västervik och 79 % per år för Göteborg.

Ur resultatet dras slutsatsen att smarta fördröjningsmagasin med möjlighet för återbruk av dagvatten är med fördel implementerbara i både nederbördsrika och nederbördsfattiga regioner i Sverige, både för hantering av vattenförsörjnings- och översvämningssproblematik. För två användningsområden bräddas det mer för det smarta magasinet än för det konventionella. Det anses dock vara en nödvändig kompromiss för att hantera toppflöden och vattenbehov. Ännu större nytta är möjlig vid ett tillägg av fler användningsområden för det insamlade vattnet då risken för bräddning och onödig avtappning sannolikt minskas. Det möjliggör en implementering av smarta fördröjningsmagasin med återanvändning av dagvatten utan att kompromissa med magasinets huvudfunktion, att fördröja dagvatten.

För att förstå den fullständiga potentialen av smarta fördröjningsmagasin krävs en mer omfattande forskning. För översvämningssdrabbade områden kan det vara av intresse att studera vidare kombinatoriska lösningar som använder sig av grön infrastruktur och smart teknik där det insamlade vattnet ses som en nödvändig resurs. Studiens modellering, begränsad av tillgängliga förutsättningar, indikerar behovet av mer detaljerade studier. Forskningen kan med fördel fokusera på en förbättrad tidsupplösning som bidrar till en mer tillförlitlig prognos, fler användningsområden för återvunnet dagvatten samt en dynamisk avtappning för att återanvända dagvattnet till fullo samtidigt som bräddning motarbetas.

Referenser

- Bergström, S., Carlsson, B., Gardelin, M., Lindström, G., Pettersson, A., & Rummukainen, M. (2001). Climate change impacts on runoff in Sweden — assessments by global climate models, dynamical downscaling and hydrological modelling. *Climate Research*, *16*, 101–112. <https://doi.org/10.3354/cr016101>
- Boverket. (2015). *Lagen om allmänna vattentjänster*. Hämtad 2024, från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/temadelar-detaljplan/dagvatten-i-detaljplan/flera-lagar-reglerar-dagvatten/lagen-om-allmanna-vattentjanster/>
- Boverket. (2021). *Fördröjning och minskning av dagvatten*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/verktyg/rakna/dagvattenhantering/>
- Boverket. (2023a). *Ansvar för dagvatten i detaljplan*. Hämtad 2024, från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/temadelar-detaljplan/dagvatten-i-detaljplan/ansvar-for-dagvatten-i-detaljplan/>
- Boverket. (2023b). *Flera lagar reglerar dagvatten*. Hämtad 2024, från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/temadelar-detaljplan/dagvatten-i-detaljplan/flera-lagar-reglerar-dagvatten/>
- Bubeck, P., Dieu My Pham, T., Nhat Anh Nguyen, T., & Hudson, P. (2024). Disaster risk reduction on stage: An empirical evaluation of community-based theatre as risk communication tool for coastal risk mitigation and ecosystem-based adaption. *Progress in Disaster Science*, *22*. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2024.100323>
- Campasino, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M., Friedler, E., DeBusk, K., Fisher-Jeffes, L., Ghisi, E., Rahman, A., Furumai, H., & Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water Research*, *115*, 195–209. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>
- De Toffol, S., Engelhart, C., & Rauch, W. (2007). Combined sewer system versus separate system - A comparison of ecological and economical performance indicators. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, *55*, 255–264. <https://doi.org/10.2166/wst.2007.116>
- Europeiska kommissionen. (u.å.). *Klimatförändringarnas konsekvenser*. Hämtad 2024, från https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_sv
- Fridell, M. (2022). *Befolkningsprognos Västerviks kommun 2022-2032*. Västerviks kommun. <https://www.vastervik.se/globalassets/kommun-och->

- politik/kommunfakta/befolkning/befolkningsprognos-for-vasterviks-kommun-2022.pdf
- Göteborgs regionen. (2020). *Vattenförsörjningsplan för Göteborgsregionen*. <https://goteborgsregionen.se/download/18.22a3cc881780d1faddf36b0/1615554177804/Vattenf%C3%B6rs%C3%B6rjningsplan%20f%C3%B6r%20G%C3%B6teborgsregionen%202020.pdf>
- Göteborgs Stad. (2021a). *Göteborg när det regnar*. https://www.samhallsbyggnaderna.goteborg.se/media/635983/go-teborg-na-r-det-regnar-en-exempel-och-inspirationsbok-fo-r-god-dagvattenhantering_2018-04.pdf
- Göteborgs Stad. (2021b). *Reningskrav för dagvatten*. <https://goteborg.se/wps/wcm/connect/2997f065-9532-4a05-9812-c0336237292e/Reningskrav+dagvatten+2021-03-11.pdf?MOD=AJPERES>
- Göteborgs Stad. (2023a). *Bostadsbyggandet i Göteborg 2023*. https://goteborg.se/wps/wcm/connect/c1b571c8-2d13-4972-8b9a-b2c6979%20059f6/Bostadsbyggandet+i+G%C3%B6teborg+2023kv4_Gbg.pdf?MOD=AJPERES
- Göteborgs Stad. (2023b). *Demografisk analys - Göteborg 600 000*. <https://goteborg.se/wps/wcm/connect/36af4598-359f-4cba-ab6c-707d5f173292/G%C3%B6teborg+600+000.pdf?MOD=AJPERES>
- Göteborgs Stad. (2023c). *Vattentjänstplan 2024-2027*. <https://goteborg.se/wps/wcm/connect/a26bfa87-65ef-462e-916e-4c412f4deaf2/Vattentj%C3%A4nstplan+f%C3%B6r+G%C3%B6teborgs+Stad+2024-2027.pdf?MOD=AJPERES>
- Hathaway, J., Bean, E., Bernagros, J., Christian, D., Davani, H., Ebrahimian, A., Fairbaugh, C., Gulliver, J., McPhillips, L., Palino, G., Strecker, E., Tirpak, R., Van Duin, B., Weinstein, N., & Winston, R. (2024). A Synthesis of Climate Change Impacts on Stormwater Management Systems: Designing for Resiliency and Future Challenges. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, 10(2). <https://doi.org/10.1061/JSWBAY.SWENG-533>
- Holgersson, B., Hedlund, T., Ahlroth, S., Frost, C., Rosenqvist, P., & Thörn, P. (2007). *Till statsrådet och chefen för Miljödepartementet*. Regeringen. <https://www.regeringen.se/contentassets/94b5ab7c66604cd0%20b8842fd6510b42c9/sverige-infor-klimatforandringarna---hot-och-mojligheter-missiv-kapitel-1-3-sou-200760/>
- Jean, M.-È., Morin, C., Duchesne, S., Pelletier, G., & Pleau, M. (2021). Optimization of Real-Time Control With Green and Gray Infrastructure Design for a Cost-Effective Mitigation of Combined Sewer Overflows. *Water Resources Research*, 57(12), e2021WR030282. <https://doi.org/10.1029/2021WR030282>
- Johansson, M., Albinsson, M., & Regnell, F. (2022). *Juridiska utmaningar när avloppsvatten blir tekniskt vatten* (tekn. rapport). Svenskt Vatten.

- Kasprzyk, M., Szpakowski, W., Poznańska, E., Boogaard, F. C., Bobkowska, K., & Gajewska, M. (2022). Technical solutions and benefits of introducing rain gardens – Gdańsk case study. *Science of The Total Environment*, *835*, 155487. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155487>
- Khan, M. P., Hubacek, K., Brubaker, K. L., Sun, L., & Moglen, G. E. (2022). Stormwater Management Adaptation Pathways under Climate Change and Urbanization. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, *8*(4). <https://doi.org/10.1061/JSWBAY.0000992>
- Lantmäteriet. (2024). *Min karta*. <https://www.lantmateriet.se/sv/kartor/vara-karttjanster/min-karta/>
- Li, J., & Burian, S. (2023). Evaluating real-time control of stormwater drainage network and green stormwater infrastructure for enhancing flooding resilience under future rainfall projections. *Resources, Conservation and Recycling*, *198*, 107123. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107123>
- Li, W., & Yeung, K. (2014). A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment*, *3*(1), 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2014.05.001>
- Länsstyrelsen Kalmar län. (2023). *Vattenläget i länet*. Hämtad 2024, från <https://www.lansstyrelsen.se/kalmar/miljo-och-vatten/vatten--och-avloppsforsorjning/vattenlaget-i-lanet.html>
- Mainali, S., & Sharma, S. (2023). Climate Change Effects on Rainfall Intensity–Duration–Frequency (IDF) Curves for the Lake Erie Coast Using Various Climate Models. *Water* *2023*, *15*(23), 1–22. <https://doi.org/10.3390/w15234063>
- Matsa, M., & Mupepi, O. (2021). Flood risk and damage analysis in urban areas of Zimbabwe. A case of 2020/21 rain season floods in the city of Gweru. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *67*, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102638>
- Mogano, M. M., & Okedi, J. (2023). Assessing the benefits of real-time control to enhance rainwater harvesting at a building in Cape Town, South Africa. *Water SA*, *49*(3), 273–281. <https://doi.org/10.17159/wsa/2023.v49.i3.3907>
- Mugisho, G. M., Swedi, D. P., Enoch, P. M., Kalembu, M. I., Lukeba, F. N., & Ngezirabona, S. V. (2024). Urban anthropization: community vulnerability and resilience to flood hazards in eastern Democratic Republic of Congo. *Environmental Research Communications*, *6*. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad23f3>
- Olsson, J., Berg, P., Eronn, A., Simonsson, L., Södling, J., & Yang, W. (2017). *Extremregn i nuvarande och framtida klimat - Analyser av observationer och framtidsscenarier*. https://www.smhi.se/polopoly_

- fs/1.165084!/Klimatologi_47%20Extremregn%20i%20nuvarande%20och%20framtida%20klimat%20Analyser%20av%20observationer%20och%20framtidsscenarier.pdf
- Quon, H., & Jiang, S. (2023). Decision making for implementing non-traditional water sources: a review of challenges and potential solutions. *npj Clean Water*, 6,56. <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00273-7>
- Rodrigues, A., Formiga, K., & Milograna, J. (2023). Integrated systems for rainwater harvesting and greywater reuse: a systematic review of urban water management strategies. *Water Supply*, 23(10), 4112–4125. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.240>
- SFS 1998:808. (). *Miljöbalk (1998:808)*. Klimat- och näringslivsdepartementet, Stockholm.
- SFS 2006:412. (). *Lag (2006:412) om allmänna vattentjänster*. Klimat- och näringslivsdepartementet, Stockholm.
- SGU. (2020). *Små och stora grundvattenmagasin*. Hämtad 2024, från <https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/om-grundvattennivaer/stora-och-sma-grundvattenmagasin/>
- SGU. (2023). *Risk för vattenbrist*. Hämtad 2024, från <https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/risk-for-vattenbrist/>
- SGU. (2024). *Tidigare grundvattennivåer*. Hämtad 2024, från <https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/tidigare-grundvattennivaer/>
- Shishegar, S., Duchesne, S., & Pelletier, G. (2019). An integrated optimization and rule-based approach for predictive real time control of urban stormwater management systems. *Journal of Hydrology*, 577, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124000>
- SMHI. (2024a). *Enkel klimatscenariotjänst*. https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/enkel-scenariotjanst/kalmar_lan/medelnederbord/rcp85/2071-2100
- SMHI. (2024b). *Ladda ner meteorologiska observationer*. <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer#param=precipitationHourlySum,stations=core,stationid=71420>
- SMHI. (u.å.-a). *Månads-, årstids- och årskartor*. Hämtad 2024, från <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/manadens-vader-och-vatten-sverige/manadens-vader-i-sverige/ars-och-manadsstatistik>
- SMHI. (u.å.-b). *Års- och månadsstatistik*. Hämtad 2024, från <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/manadens-vader-och-vatten-sverige/manadens-vader-i-sverige/ars-och-manadsstatistik>
- Statistikmyndigheten. (2024). *Befolkningsstatistik*. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/befolkning/befolkningens-sammansattning/befolkningsstatistik/>
- Sweetapple, C., Webber, J., Hastings, A., & Melville-Shreeve, P. (2023). Realising smarter stormwater management: A review of the barriers and a roadmap for real world application. *Water Research*, 244, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120505>

- Svenska FN-förbundet. (2023). *Globala målen för hållbar utveckling*. Hämtad 2024, från <https://fn.se/globala-malen-for-hallbar-utveckling/>
- Svenskt Vatten. (2011). *Hållbar dag- och dränvattenhantering* (tekn. rapport). Svenskt Vatten.
- Svenskt Vatten. (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten* (tekn. rapport). Svenskt Vatten.
- Svenskt Vatten. (2021). *Dricksvattenfakta*. Hämtad 2024, från <https://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/dricksvattenfakta/>
- Svenskt Vatten. (2023). *Vattenförbrukning i hushåll*. Hämtad 2024, från <https://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/dricksvattenfakta/140-liter-per-person-och-dygn/>
- Svenskt Vatten. (2024). *Ökad och mer intensiv nederbörd att vänta*. Hämtad 2024, från <https://www.svensktvatten.se/om-oss/nyheter-lista/okad-och-mer-intensiv-nederbord-att-vanta/>
- VA-guiden. (u. å-a). *Avsättningsmagasin*. Hämtad 2024, från <https://vaguiden.se/dagvatten/anlaggningswiki/avsattningsmagasin/>
- VA-guiden. (u. å-b). *Nedsänkta regnbäddar*. Hämtad 2024, från <https://vaguiden.se/dagvatten/anlaggningswiki/nedsankt-vaxtbadd/>
- VA-guiden. (u. å-c). *Perkolationsmagasin*. Hämtad 2024, från <https://vaguiden.se/dagvatten/anlaggningswiki/perkolationsmagasin/>
- VA-guiden. (u. å-d). *Vegetationskladda tak*. Hämtad 2024, från <https://vaguiden.se/dagvatten/anlaggningswiki/vegetationskladda-tak/>
- Vattenmyndigheterna. (u.å.). *EU:s vattendirektiv*. Hämtad 2024, från <https://www.vattenmyndigheterna.se/vattenforvaltning/eus-vattendirektiv.html>
- Wavin. (2024). *Smart Blue-Green Roof - Wavin PolderRoof*. <https://solutions.wavin.com/smart-blue-green-roofs>
- Webber, J., Fletcher, T., Farmani, R., Butler, D., & Melville-Shreeve, P. (2022). Moving to a future of smart stormwater management: A review and framework for terminology, research, and future perspectives. *Water Research*, 218, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118409>
- Vikberg, E., Thunholm, B., Thorsbrink, M., & Dahné, J. (2015). *Grundvattennivåer i ett förändrat klimat – nya klimatscenarier* (tekn. rapport). Sveriges geologiska undersökning.
- Västervik Kommun. (2021). *Riktlinjer för fördröjning av dagvatten på kvartersmark och tomtmark*. <https://www.vastervik.se/globalassets/bygga-bo-och-miljo/vatten-och-avlopp/riktlinje-fordrojning-kvartersmark-2021.pdf>
- Västervik Miljö & Energi. (u.å.). *Frågor och svar om bevattningsförbud*. Hämtad 2024, från <https://www.vmeab.se/tjanster/vatten/sparavatten/fragor-och-svar-om-bevattningsforbud/>

- Västerviks Kommun. (2017). *Vattenförsörjningsplan för Västerviks kommun*. <https://www.vastervik.se/globalassets/bygga-bo-och-miljo/nyheter-bygga-bo-miljo/vattenforsorjningsplan-170621.pdf>
- Västerviks Kommun. (2023). *Vattentjänstplan*. <https://www.vastervik.se/globalassets/bygga-bo-och-miljo/vatten-och-avlopp/vattentjanstplan-granskningsversion-20231117.pdf>
- Västerviks kommun. (2016). *Kulturmiljöprogram för Västerviks kommun*. https://www.vastervik.se/globalassets/bygga-bo-och-miljo/kommunens-planarbete/planprogram/m.-kmp-arbetskopia-vasterviks-stad_20161125-lagupplöst.pdf
- Västerviks kommun. (2020). *Dagvattenstrategi för Västerviks kommun med handlingsplan för en långsiktigt hållbar dagvattenhantering*. <https://www.vmeab.se/siteassets/pdf/vatten/vattentjanster/dagvattenstrategi-kf-200525.pdf>
- Västerviks kommun. (2021). *Kommunfakta*. <https://www.vastervik.se/Kommun-och-politik/Kommunfakta/>
- Xu, W., Burns, M., Cherqui, F., & Fletcher, T. (2021). Enchancing stormwater control measures using real-time control technology: a review. *Urban Water Journal*, 18(2), 101–114. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1857797>
- Xu, W. D., Burns, M. J., Cherqui, F., Duchesne, S., Pelletier, G., & Fletcher, T. D. (2022). Real-time controlled rainwater harvesting systems can improve the performance of stormwater networks. *Journal of Hydrology*, 614. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128503>

Bilagor

Bilaga A: Enkätutformning

Nedan återges enkäten som delades på olika sociala medier.

Vad är din inställning gällande återanvändning av magasinerat dagvatten?

Vänligen läs igenom HELA beskrivningen innan du svarar på enkäten!

Enkäten kommer användas i ett kandidatarbete som har till syfte att utreda behov, potential och nytta med smarta fördröjningsmagasin för magasinering och återbruk av dagvatten i Sverige. Enkäten kommer att ligga som grund för att utvärdera allmänhetens inställning till att återanvända dagvatten för olika ändamål. Studien kommer att publiceras på Chalmers biblioteks hemsida senare under våren.

Nedanför ges nödvändig information för att kunna ta ställning till de kommande påståendena:

Dagvatten refererar till regnvatten som uppstår i stadsområden och faller på ytor som asfalt, betong eller byggnader, där vattnet inte kan absorberas på samma sätt som på naturliga markområden. Detta leder till att dagvatten bildas genom avrinning.

Dagvatten innehåller både organiska och oorganiska ämnen med såväl naturlig som mänsklig bakgrund. Några av föroreningarna som kan förekomma är metaller och näringsämnen.

Klimatförändringar har resulterat i förändrade nederbördsmonster vilket innebär utmaningar gällande både överskott och underskott av vatten. Ett överskott kan exempelvis leda till skador på byggnader eller förorena vattendrag och ett underskott kan äventyra våra dricksvattenreservoarer. En potentiell lösning är att återanvända magasinerat dagvatten.

- Enkäten avser inte att undersöka allmänhetens inställning till magasinering utan endast inställningen till att återanvända dagvatten som en resurs. Detta eftersom det redan finns krav på att kunna magasinera dagvatten.

- En förutsättning är att allt dagvatten som eventuellt kommer återanvändas är säkert att brukas. Dock kommer vattnet ej uppfylla dricksvattenkvalitet.

Vänligen välj ett av svarsalternativen till varje påstående som stämmer bäst överens med dina åsikter.

* Anger obligatorisk fråga

1. Jag är ... att använda dagvatten som spolvatten (vatten i toaletten). *

Markera endast en oval.

- Starkt emot
- Emot
- Varken för eller emot
- För
- Starkt för

2. Jag är ... att använda dagvatten för att vattna blommor, gräsmatta, grönsaker eller liknande. *

Markera endast en oval.

- Starkt emot
- Emot
- Varken för eller emot
- För
- Starkt för

3. Jag är ... att använda dagvatten för att tvätta bilen. *

Markera endast en oval.

- Starkt emot
- Emot
- Varken för eller emot
- För
- Starkt för

4. Jag är ... att använda dagvatten som dusch-vatten. *

Markera endast en oval.

- Starkt emot
- Emot
- Varken för eller emot
- För
- Starkt för

5. Jag är ... att använda dagvatten i tvättmaskinen. *

Markera endast en oval.

- Starkt emot
- Emot
- Varken för eller emot
- För
- Starkt för

6. Jag är ... att använda dagvatten i diskmaskinen. *

Markera endast en oval.

- Starkt emot
- Emot
- Varken för eller emot
- För
- Starkt för

7. Ålder: *

Markera endast en oval.

- 18-24
- 25-34
- 35-54
- 55-74
- 75 eller äldre

8. Könstillhörighet: *

Markera endast en oval.

- Man
- Kvinna
- Annan
- Vill inte svara

9. Månadsinkomst (i kr): *

Markera endast en oval.

- 0-20 000
- 20 000-40 000
- 40 000-60 000
- >60 000

10. Hur bor du idag? *

Markera endast en oval.

- Hyresrätt i form av studentlägenhet
- Hyresrätt
- Bostadsrätt
- Villa
- Radhus
- Annat

11. Jag genomför/har genomfört en eftergymnasial utbildning. *

Markera endast en oval.

- Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
- Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
- Nej

12. Jag godkänner att mina uppgifter behandlas enligt GDPR. *

Markera endast en oval.

- Ja

Det här innehållet har varken skapats eller godkänts av Google.

Google Formulär

Bilaga B: Excelark för modellering av ett smart fördröjningsmagasin

Excelark för modellering av ett smart fördröjningsmagasin i Göteborg med tillhörande formler från rad 11.

	A	B	C	D	E	F
1	Regnträdgård					
2	Reducerad area (m2)	2863				
3	Antal personer	123				
4	Förbrukning (LPD)	140				
5	Dygnsförbrukning snitt totalt (liter)	17220				
6						
7						
8						
9	Datum	Tid	Timestamp	Nederbörd (mm)	Prognos 0-6 (m³3)	Prognos 6-12 (m³3)
10	1/1/2023	12:00:00 fm	2023/01/01 00:00	0,00	14,7	7,2
11	2023-01-01	1:00:00 fm	2023/01/01 01:00	0,00	0,0	0,0
12	2023-01-01	2:00:00	2023/01/01 02:00	0,00	0,0	0,0
13	2023-01-01	3:00:00	2023/01/01 03:00	0,00	0,0	0,0
14	2023-01-01	4:00:00	2023/01/01 04:00	0,00	0,0	0,0
15	2023-01-01	5:00:00	2023/01/01 05:00	0,00	0,0	0,0
16	2023-01-01	6:00:00	2023/01/01 06:00	0,10	0,0	0,0
17	2023-01-01	7:00:00	2023/01/01 07:00	0,20	0,0	0,0
18	2023-01-01	8:00:00	2023/01/01 08:00	0,20	0,0	0,0
19	2023-01-01	9:00:00	2023/01/01 09:00	0,30	0,0	0,0
20	2023-01-01	10:00:00	2023/01/01 10:00	0,20	0,0	0,0
21	2023-01-01	11:00:00	2023/01/01 11:00	1,10	0,0	0,0
22	2023-01-01	12:00:00	2023/01/01 12:00	2,70	0,0	0,0

	G	H	I	J	K	L	M	N
1								
2	Magasinvoly m3	46,4						
3	Tillåten avtappning (l/s)	0,803						
4	Max avtappning (m3/h)	2,863	47,71666667					
5	Avrunnen volym			Totalt behov(m3)			Faktiskt avtappad volym(m3)	
6		3 040,5		2 079,5			1 394,3	
7								
8							0	
9	Avrinning (m³3)	Behov toalett	Behov tvättmaskin (m³3)	Summa behov (m³3)	Prognos behov (m³3)	Initial volym (m³3)	Behövd avtappning (m³3/h)	Räkna
10	0	0,1628	0,000	0,1628	5,2883	0	0,0	0
11	0	0,1085	0,000	0,1085	4,7846	0,0	0,0	0
12	0	0,0904	0,000	0,0904	5,2334	0,0	0,0	0
13	0	0,0723	0,000	0,0723	5,5795	0,0	0,0	0
14	0	0,0543	0,000	0,0543	5,7488	0,0	0,0	0
15	0	0,0723	0,000	0,0723	6,5312	0,0	0,0	0
16	0,2863	0,1266	0,000	0,1266	5,5050	0,3	0,0	0
17	0,5726	0,2351	0,017	0,2519	5,1401	0,7	0,0	0
18	0,5726	0,2713	0,034	0,3049	5,8145	1,1	0,0	0
19	0,8589	0,2532	0,067	0,3204	6,0709	1,6	0,0	0
20	0,5726	0,2713	0,084	0,3553	6,1536	1,9	0,0	0
21	3,1493	0,2351	0,101	0,3359	4,3181	4,7	0,0	0
22	7,7301	0,2351	0,084	0,3191	5,8495	12,0	0,0	0

	O	P	Q	R	S	T	U
1							
2							
3							
4							
5	Total bräddad volym (m ³)	Använt regnvatten totalt (m ³)	DIFFERENS				
6	173,2	1 435,2	37,83	69%			
7							
8							
9	Faktisk avtappning (m ³ /h)	Bräddning (m ³ /h)	Slutlig volym (m ³)	Använt regnvatten (m ³)	Använt dricksvatten	delta magasin	Balans
10	0	0	0,0	0,000	0,163		0,00
11	0	0	0,0	0,000	0,109	0,00	0,00
12	0	0	0,0	0,000	0,090	0,00	0,00
13	0	0	0,0	0,000	0,072	0,00	0,00
14	0	0	0,0	0,000	0,054	0,00	0,00
15	0	0	0,0	0,000	0,072	0,00	0,00
16	0	0	0,2	0,127	0,000	0,16	0,00
17	0	0	0,5	0,252	0,000	0,32	0,00
18	0	0	0,7	0,305	0,000	0,27	0,00
19	0	0	1,3	0,320	0,000	0,54	0,00
20	0	0	1,5	0,355	0,000	0,22	0,00
21	0	0	4,3	0,336	0,000	2,81	0,00
22	0	0	11,7	0,319	0,000	7,41	0,00

Prognos:

=OM(B11=0;OM(SUM(G12:G23)>0;NORM.INV(RAND());SUM(G12:G23);SUM(G12:G23)*0,1);0);0)

=OM(B11=0;OM(SUM(G24:G35)>0;NORM.INV(RAND());SUM(G24:G35);SUM(G24:G35)*0,1);0);0)

Avrinning:

=D11*\$B\$2/1000

Behov toalett:

=VLOOKUP(MONTH(A11);(AC\$8:AG\$19);3)*VLOOKUP(WEEKDAY(A11);(AC\$26:AG\$32);3)*VLOOKUP(TIMME(B11);(AB\$38:AD\$62);3)*B\$5/1000

Behov tvättmaskin:

=VLOOKUP(MONTH(A11); AC\$8:AG\$19;5)*VLOOKUP(WEEKDAY(A11); (AC\$26:AG\$32); 5)*VLOOKUP(TIMME(B11);(AB\$38:AD\$62);2)*B\$5/1000

Summa behov:

=SUM(H11:I11)

Prognos behov:

=NORMINV(RAND());SUM(J12:J35);SUM(J12:J35)*0,1)

Initial volym:

=G11+Q10

Behövd avtappning:

=OM((E11+F11+L11-K11)>H\$2*0,8;MAX(0;(E11+F11-K11)));0)

Räknare:

=OM(B11=0;HELTAL(M11/H\$4);OM(N10>0;N10-1;0))

Faktisk avtappning:

=OM(N11>0;OM(Q10>H\$4;H\$4;0);0)

Bräddning:

=OM(L11>H\$2;L11-H\$2;0)

Slutlig volym:

=L11-O11-P11-R11

Använt regnvatten:

=OM(L11>J11;J11;L11)

Använt dricksvatten:

=J11-R11

Delta magasin:

=Q11-Q10

Balans:

=G11-O11-P11-R11-T11

Bilaga C: Excelark för modellering av ett konventionellt fördröjningsmagasin

Excelark för modellering av ett konventionellt fördröjningsmagasin i Göteborg med tillhörande formler från rad 11.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2	Reducerad area (m²)	2863					Magasinvolym (m³)	46,4			
3							Tillåten avtappning (l/s)	0,803			
4							Max avtappning (m³/h)	2,863			
5											
6											
7											
8											
9	Datum	Tid	Timestamp	Nederbörd	Avrinning	Initial volym (m³)	Faktisk avtappning	Bräddning	Slutlig volym	Delta magasin	Balans
10	1/1/2023	12:00:00 fm	2023/01/01 00:00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
11	2023-01-01	1:00:00 fm	2023/01/01 01:00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
12	2023-01-01	2:00:00	2023/01/01 02:00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
13	2023-01-01	3:00:00	2023/01/01 03:00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
14	2023-01-01	4:00:00	2023/01/01 04:00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
15	2023-01-01	5:00:00	2023/01/01 05:00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
16	2023-01-01	6:00:00	2023/01/01 06:00	0,10	0,2863	0,2863	0,2863	0	0	0	0
17	2023-01-01	7:00:00	2023/01/01 07:00	0,20	0,5726	0,5726	0,5726	0	0	0	0
18	2023-01-01	8:00:00	2023/01/01 08:00	0,20	0,5726	0,5726	0,5726	0	0	0	0
19	2023-01-01	9:00:00	2023/01/01 09:00	0,30	0,8589	0,8589	0,8589	0	0	0	0
20	2023-01-01	10:00:00	2023/01/01 10:00	0,20	0,5726	0,5726	0,5726	0	0	0	0
21	2023-01-01	11:00:00	2023/01/01 11:00	1,10	3,1493	3,1493	2,863	0	0,286	0,286	0,000
22	2023-01-01	12:00:00	2023/01/01 12:00	2,70	7,7301	8,016	2,863	0	5,153	4,867	0,000

Avrinning:

=D11*BS2/1000

Initial volym:

=I10+E11

Faktisk avtappning:

=OM(F11>H\$4; H\$4; F11)

Bräddning:

=OM(F11>H\$2; F11-H\$2; 0)

Slutlig volym:

=F11-G11-H11

Delta magasin:

=I11-I10

Balans:

=E11-G11-H11-J11

Bilaga D: Vattenförbrukningstal, HSB Living Lab

Vattenförbrukningstal från HSB living lab.

Hur mycket kallvatten förbrukas jämfört med snittmanaden

	månad	WC		Tvättmaskin	
		kallvatten	koefficient	kallvatten	koefficient
jan	1	0,019	0,94	0,007	1,08
feb	2	0,019	0,91	0,005	0,87
mar	3	0,019	0,91	0,005	0,88
apr	4	0,017	0,84	0,005	0,77
maj	5	0,018	0,89	0,005	0,86
jun	6	0,019	0,91	0,007	1,09
jul	7	0,015	0,75	0,005	0,78
aug	8	0,020	0,98	0,006	1,01
sep	9	0,026	1,29	0,006	1,02
okt	10	0,027	1,31	0,007	1,17
nov	11	0,026	1,27	0,009	1,47
dec	12	0,023	1,12	0,007	1,17
average		0,021	1,000	0,006	1,00

Hur mycket kallvatten förbrukas jämfört med snittveckodagen

Radetiketter		WC		Tvättmaskin	
		kallvatten	koefficient	kallvatten	koefficient
måndag	1	0,042	1,12	0,01	0,90
tisdag	2	0,037	0,98	0,01	0,90
onsdag	3	0,037	0,98	0,01	0,80
torsdag	4	0,037	0,98	0,01	1,00
fredag	5	0,035	0,93	0,01	0,90
lördag	6	0,035	0,93	0,01	1,20
söndag	7	0,04	1,06	0,01	1,30
average		0,03757142857	1,00	0,010	1,00

Hur mycket kallvatten förbrukas vi en timma jämfört med totalförbrukning

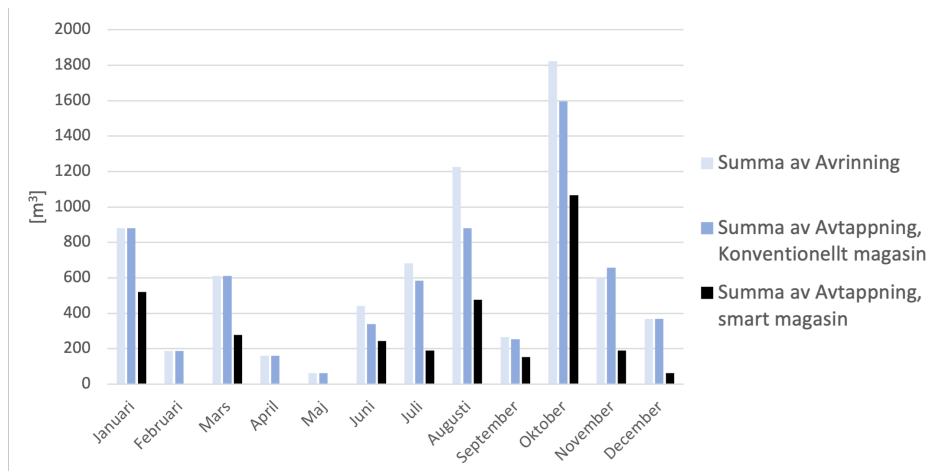
Radetiketter	Vatten	
	Tvättmaskin	Vatten WC stol
	0	0,009
	1	0,006
	2	0,005
	3	0,004
	4	0,003
	5	0,004
	6	0,007
	7	0,001
	8	0,002
	9	0,004
	10	0,005
	11	0,006
	12	0,005
	13	0,005
	14	0,005
	15	0,004
	16	0,005
	17	0,005
	18	0,005
	19	0,005
	20	0,005
	21	0,004
	22	0,002
	23	0,001
	Totalsumma	0,069

Bilaga E: Svar enkät

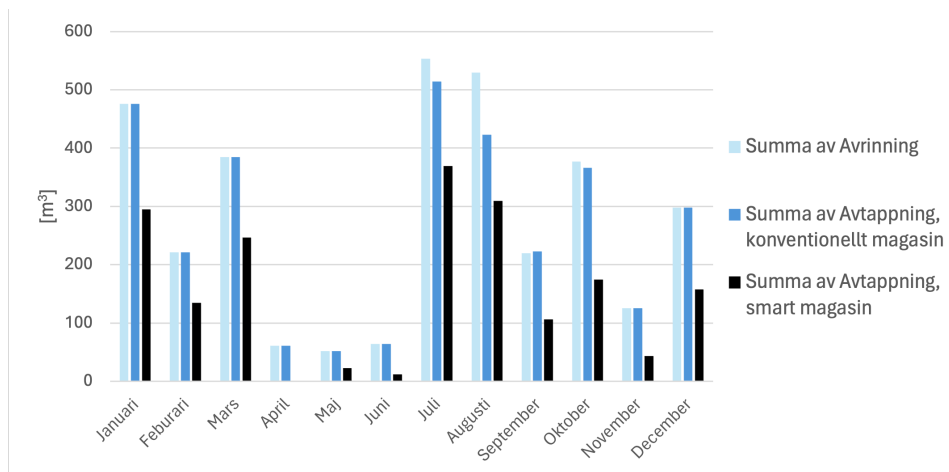
Nedan visas svaren som samlades in från enkäten. Varje rad är svar från en respondent.

Inställning: toalett	Inställning: bevatning	Inställning: tvätta bilen	Inställning: dusch	Inställning: tvättmaskin	Inställning: diskmaskin	Ålder:	Könstillhörighet:	Månadsinkomst (i kr):	Hur bor du idag?	Jag genomförlar genomfört en eftergymnasial utbildning.
För	Starkt för	För	Varken för eller emot	Emot	Varken för eller emot	55-74	Man	20 000-40 000	Villa	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	För	För	Varken för eller emot	För	För	18-24	Kvinna	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Nej
Starkt för	Starkt för	För	För	För	För	18-24	Man	0-20 000	Villa	Nej
Starkt för	För	Starkt för	För	Starkt för	För	35-54	Kvinna	20 000-40 000	Villa	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
För	Starkt för	För	Emot	Emot	Emot	35-54	Man	20 000-40 000	Villa	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	För	För	Varken för eller emot	Varken för eller emot	Varken för eller emot	25-34	Man	20 000-40 000	Bostadsrätt	Nej
För	För	För	För	För	För	18-24	Kvinna	0-20 000	Bostadsrätt	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	Starkt för	För	Varken för eller emot	För	För	25-34	Kvinna	0-20 000	Hyresrätt	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Starkt för	Starkt för	Varken för eller emot	För	Varken för eller emot	Emot	18-24	Kvinna	0-20 000	Bostadsrätt	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Starkt för	Starkt för	Starkt för	Varken för eller emot	Emot	Emot	35-54	Man	>60 000	Radhus	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
För	Emot	Varken för eller emot	Emot	Emot	Emot	25-34	Man	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
För	För	Emot	Emot	Emot	Emot	18-24	Kvinna	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	För	Starkt för	Varken för eller emot	För	För	18-24	Kvinna	0-20 000	Hyresrätt	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
För	Emot	Varken för eller emot	Starkt emot	Starkt emot	Starkt emot	18-24	Man	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	Starkt för	Varken för eller emot	Starkt emot	Varken för eller emot	Starkt för	18-24	Man	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	Starkt för	Starkt för	Starkt för	Starkt för	Starkt för	18-24	Kvinna	0-20 000	Annat	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Varken för eller emot	Varken för eller emot	Varken för eller emot	För	För	För	18-24	Man	0-20 000	Bostadsrätt	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	Starkt för	Starkt för	För	Starkt för	Starkt för	25-34	Kvinna	0-20 000	Bostadsrätt	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Starkt för	Starkt för	Starkt för	För	För	För	25-34	Man	0-20 000	Hyresrätt	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
För	Varken för eller emot	För	Starkt emot	Starkt emot	Starkt emot	35-54	Man	>60 000	Radhus	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
För	För	För	Emot	Varken för eller emot	Varken för eller emot	18-24	Kvinna	0-20 000	Annat	Nej
Emot	Starkt för	Emot	Starkt emot	Starkt emot	Starkt emot	18-24	Man	0-20 000	Radhus	Nej
Starkt för	Starkt för	Starkt för	Emot	Emot	Starkt emot	18-24	Man	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	Starkt för	Starkt för	Emot	Varken för eller emot	Varken för eller emot	18-24	Man	0-20 000	Bostadsrätt	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Starkt för	Starkt för	Starkt för	Starkt för	Starkt för	Starkt för	18-24	Kvinna	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Starkt för	Starkt för	Starkt för	Emot	Varken för eller emot	Varken för eller emot	18-24	Kvinna	0-20 000	Bostadsrätt	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	Varken för eller emot	Starkt för	Emot	Starkt emot	Starkt emot	75 eller äldre	Man	40 000-60 000	Villa	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
För	Varken för eller emot	För	Varken för eller emot	För	För	18-24	Man	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Emot	Starkt för	För	Emot	Emot	Varken för eller emot	18-24	Man	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	Starkt för	För	Emot	För	För	18-24	Man	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Varken för eller emot	Starkt för	Starkt för	Varken för eller emot	Emot	Emot	75 eller äldre	Kvinna	20 000-40 000	Villa	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
För	För	För	Varken för eller emot	Varken för eller emot	Emot	35-54	Man	>60 000	Villa	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Varken för eller emot	För	Varken för eller emot	Varken för eller emot	För	För	18-24	Man	0-20 000	Villa	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	Varken för eller emot	Starkt för	Starkt emot	För	Varken för eller emot	18-24	Kvinna	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	För	För	Emot	För	För	18-24	Man	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	Starkt för	Starkt för	Starkt för	Starkt för	Starkt för	35-54	Kvinna	20 000-40 000	Bostadsrätt	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Varken för eller emot	Emot	Emot	För	Varken för eller emot	Varken för eller emot	75 eller äldre	Man	20 000-40 000	Bostadsrätt	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Emot	Starkt för	Starkt för	Emot	Emot	Varken för eller emot	35-54	Kvinna	40 000-60 000	Bostadsrätt	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Starkt för	Starkt för	För	Emot	Emot	Emot	18-24	Kvinna	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Starkt för	Starkt för	För	Emot	Emot	Emot	18-24	Kvinna	20 000-40 000	Bostadsrätt	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
För	För	För	För	För	För	35-54	Kvinna	40 000-60 000	Villa	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
För	För	För	Varken för eller emot	Varken för eller emot	För	25-34	Kvinna	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
För	För	För	Emot	För	För	35-54	Kvinna	20 000-40 000	Villa	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
För	För	Varken för eller emot	Varken för eller emot	Varken för eller emot	Varken för eller emot	55-74	Kvinna	0-20 000	Hyresrätt	Nej
Starkt för	För	Starkt för	För	För	Varken för eller emot	55-74	Kvinna	20 000-40 000	Villa	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	Starkt för	Starkt för	Emot	För	Varken för eller emot	18-24	Kvinna	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Varken för eller emot	Starkt för	Emot	För	Emot	Emot	18-24	Kvinna	0-20 000	Hyresrätt	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
För	För	Varken för eller emot	Starkt emot	Starkt emot	Starkt emot	18-24	Man	0-20 000	Villa	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Starkt för	Starkt för	För	Starkt emot	Emot	Emot	18-24	Man	20 000-40 000	Bostadsrätt	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
För	Starkt för	För	Starkt emot	Starkt emot	Starkt emot	18-24	Kvinna	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Starkt för	För	Starkt för	Emot	Emot	Starkt emot	18-24	Man	0-20 000	Radhus	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Starkt för	Starkt för	Starkt för	För	För	För	18-24	Kvinna	20 000-40 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
För	För	Starkt för	Varken för eller emot	Varken för eller emot	Varken för eller emot	18-24	Kvinna	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Starkt för	Starkt för	Varken för eller emot	Emot	Emot	Emot	18-24	Kvinna	0-20 000	Bostadsrätt	Nej
Starkt för	För	Starkt för	Varken för eller emot	För	För	18-24	Kvinna	0-20 000	Bostadsrätt	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Starkt för	Starkt för	Starkt för	Starkt för	Starkt för	Emot	18-24	Kvinna	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	Starkt för	Starkt för	Varken för eller emot	Varken för eller emot	Varken för eller emot	25-34	Man	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Varken för eller emot	Starkt för	För	Emot	Varken för eller emot	För	18-24	Kvinna	20 000-40 000	Hyresrätt	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	För	Emot	Emot	Emot	Emot	18-24	Man	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Starkt för	Starkt för	Starkt för	Varken för eller emot	För	Varken för eller emot	25-34	Man	20 000-40 000	Bostadsrätt	Nej
Starkt för	Starkt för	Starkt emot	För	För	För	35-54	Kvinna	20 000-40 000	Hyresrätt	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
Emot	Emot	För	Emot	Emot	Emot	25-34	Kvinna	0-20 000	Hyresrätt i form av studentägenhet	Ja, en 4 årig eller längre utbildning.
Starkt för	Starkt för	Starkt för	Varken för eller emot	Varken för eller emot	Varken för eller emot	55-74	Man	40 000-60 000	Radhus	Ja, en 1, 2 eller 3 årig utbildning.
För	För	För	Emot	Emot	Emot	75 eller äldre	Kvinna	0-20 000	Villa	Nej

Bilaga F: Avtappning mot avrinning för ett konventionellt och smart fördröjningsmagasin, framtidsscenario

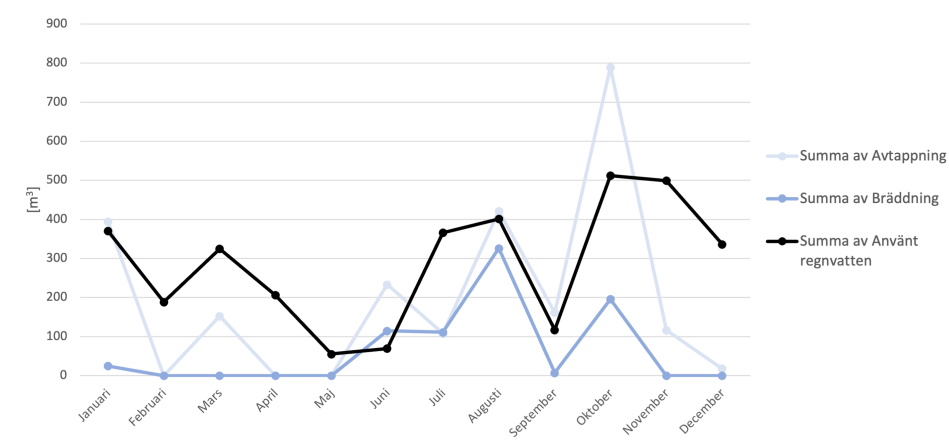


Figur 23: Avrinning i jämförelse med avtappning för ett smart magasin och ett konventionellt magasin för Västerвик i ett framtidsscenario.

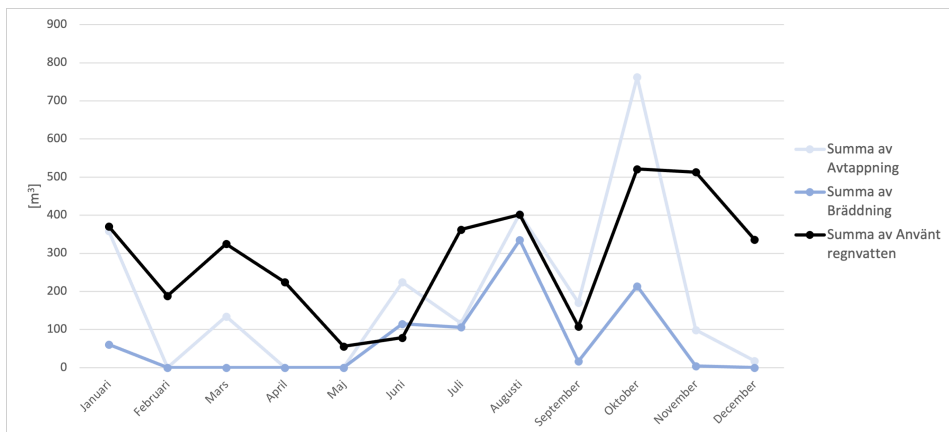


Figur 24: Avrinning i jämförelse med avtappning för ett smart magasin och ett konventionellt magasin för Göteborg i ett framtidsscenario.

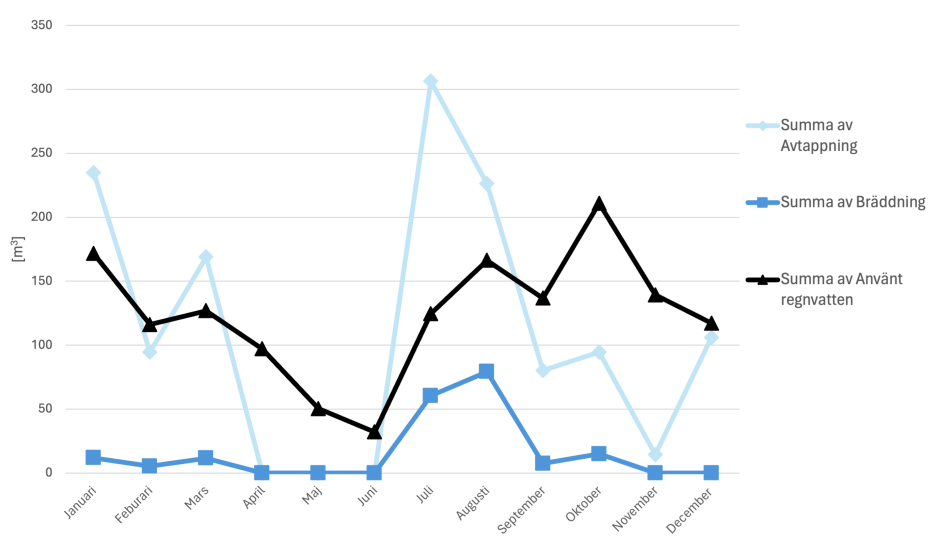
Bilaga G: Återanvändning, avtappning och bräddning i relation till varandra för fler simuleringar



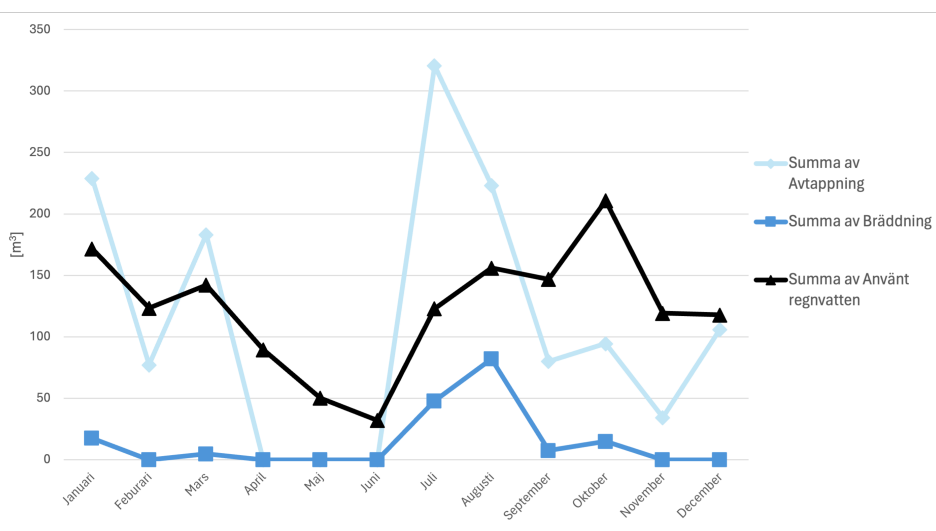
Figur 25: Återanvändning, avtappning och bräddning i relation till varandra för Västervik i ett nutidsscenario. Simulering 2.



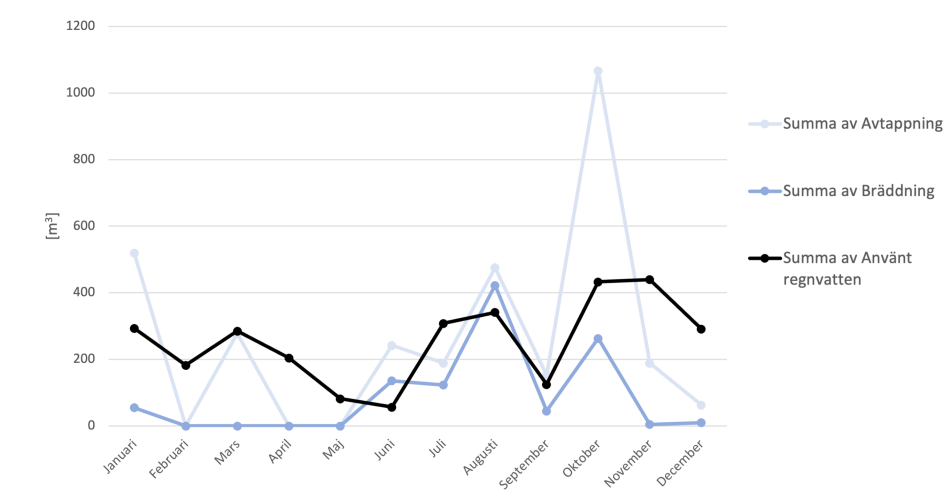
Figur 26: Återanvändning, avtappning och bräddning i relation till varandra för Västervik i ett nutidsscenario. Simulering 3.



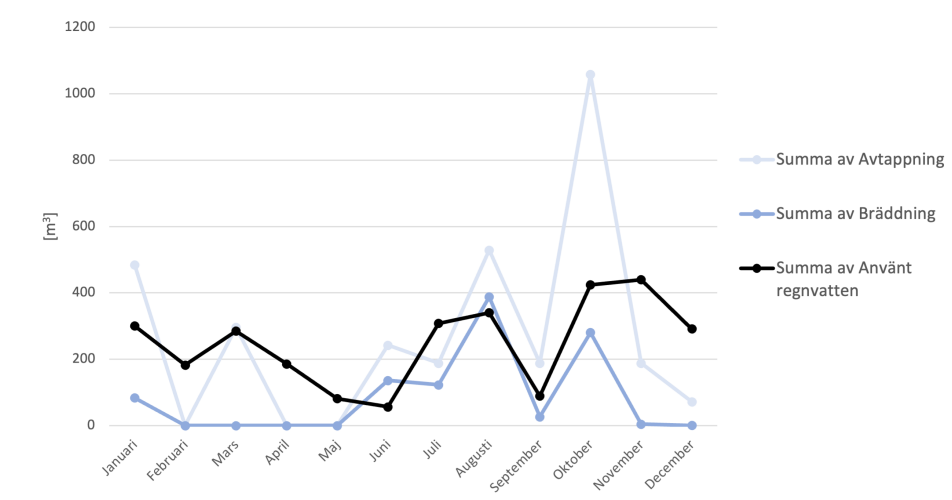
Figur 27: Återanvändning, avtappning och bräddning i relation till varandra för Göteborg i ett nutidsscenario. Simulering 2.



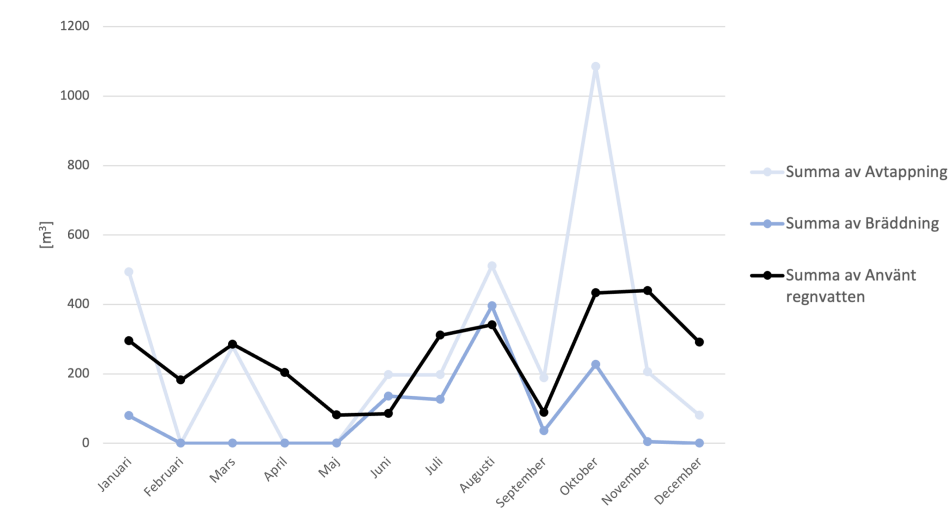
Figur 28: Återanvändning, avtappning och bräddning i relation till varandra för Göteborg i ett nutidsscenario. Simulering 3.



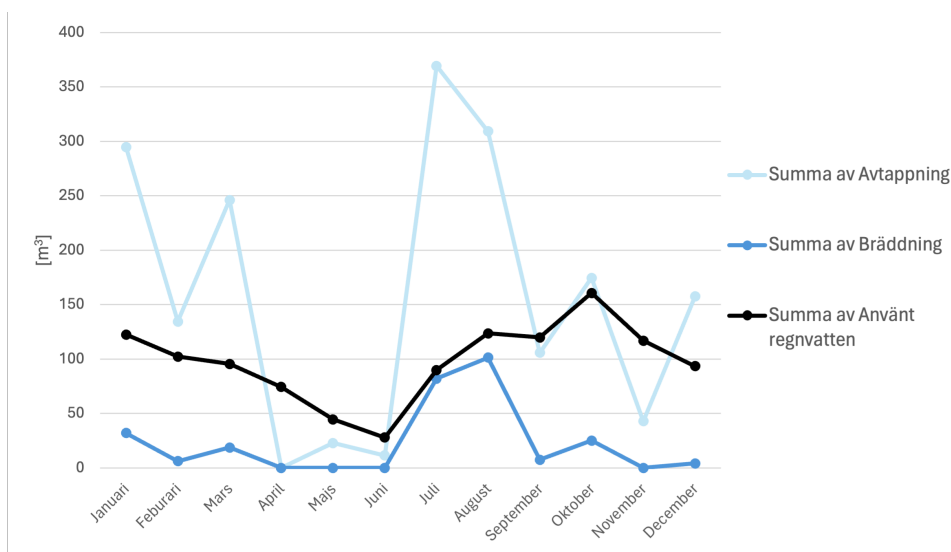
Figur 29: Återanvändning, avtappning och bräddning i relation till varandra för Västervik i ett framtidsscenario. Simulering 1.



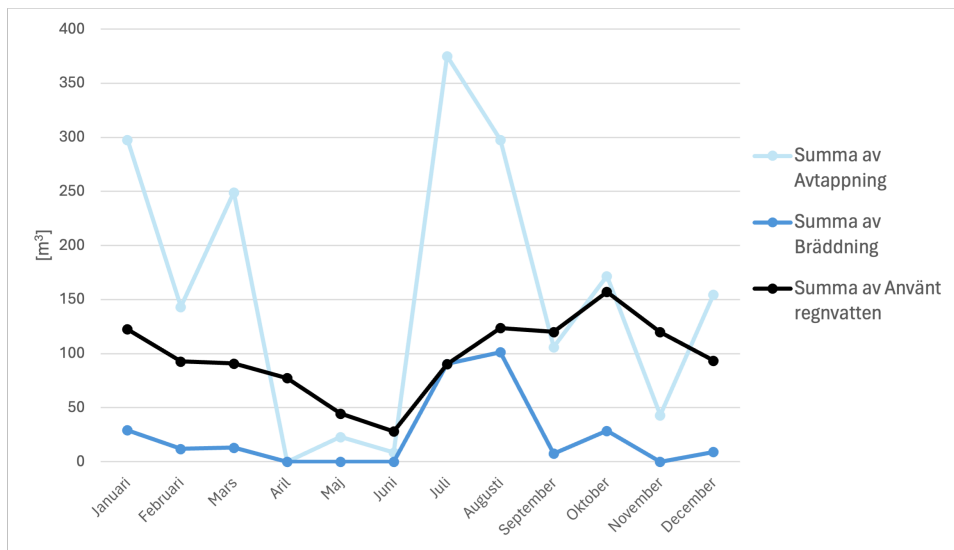
Figur 30: Återanvändning, avtappning och bräddning i relation till varandra för Västervik i ett framtidsscenario. Simulering 2.



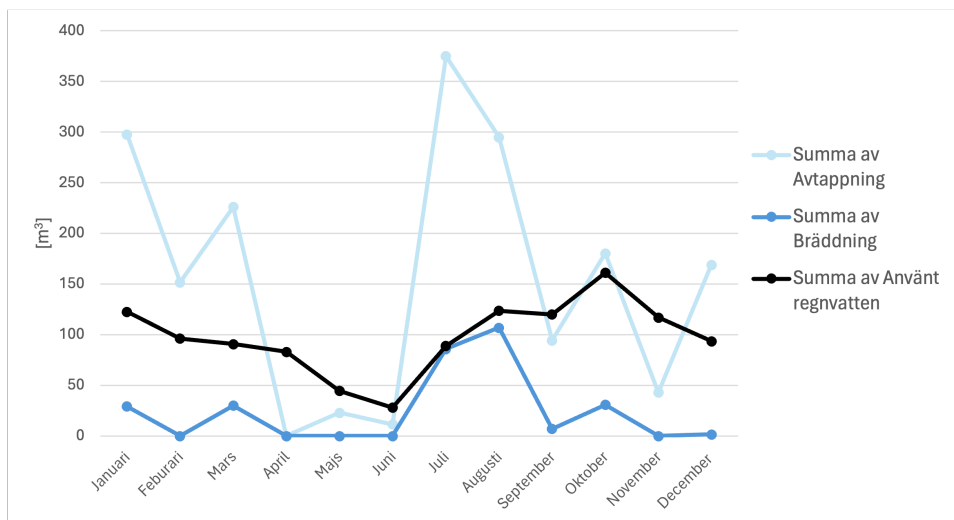
Figur 31: Återanvändning, avtappning och bräddning i relation till varandra för Västervik i ett framtidsscenario. Simulering 3.



Figur 32: Återanvändning, avtappning och bräddning i relation till varandra för Göteborg i ett framtidsscenario. Simulering 1.



Figur 33: Återanvändning, avtappning och bräddning i relation till varandra för Göteborg i ett framtidsscenario. Simulering 2.



Figur 34: Återanvändning, avtappning och bräddning i relation till varandra för Göteborg i ett framtidsscenario. Simulering 3.