



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 24024

Examensarbete 30 hp

Juni 2024

Recirkuleringskartan

Utveckling av ett interaktivt dimensioneringsverktyg för
regnvattenanvändning

Erik Oscarson



UPPSALA
UNIVERSITET

The recirculation map - development of an interactive dimensioning tool for rainwater reuse

Erik Oscarson

Abstract

During all periods of human history collecting rainwater has been a useful way to get access to water. With ongoing climate change the guarantee of having water available is changing. With increasing heat the weather behaviour is shifting leading to more intense weather, both extremer rain periods and droughts. Due to this situation collecting rainwater is getting more attention. Rainwater can be used for various water needs depending on how much treatment it has been going through. With a local recirculation of rainwater the stress on water sources and demand against the waterworks can decrease.

The aim of this master thesis was to develop a dimensioning tool, a recirculation map. A tool to quickly and easily analyse the potential of rainwater collection and rainwater reuse. With the flexibility to compare different scenarios, users can evaluate their options on rainwater collecting system.

The recirculation map contains two parts. An interactive map that gives the user a quick way to get access to the rooftop surface area in which the collection of rainwater occurs. The other part is a dimensioning tool to quickly analyse the potential in collecting rainwater in relation to various water needs. Input parameters like rooftop area, runoff coefficient, rainwater demand per day and water magazine size were used for the dimensioning tool to analyse potential in collecting rainwater. The recirculation map ended up fulfilling all the demands and goals that were set at the beginning of the project.

Key words: Rainwater harvesting, recirculation, water balance, rooftop, GIS

Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Science, Uppsala University, Villavägen 16, SE-75236 Uppsala, Sweden.

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala

Handledare: Johan Kjellin och Johan Åström Ämnesgranskare: Ekaterina Sokolova

Examinator: Fritjof Fagerlund

Referat

Recirkuleringskartan - utveckling av ett interaktivt dimensioneringsverktyg för regnvattenanvändning

Erik Oscarson

Under alla perioder under människans historia har uppsamling av regnvatten varit ett användbart sätt att få tillgång till vatten. Pågående klimatförändringar förändrar tillgängligheten av vatten. Med ett varmare klimat skiftar väderbeteenden vilket leder till mer extremt väder, både kraftigare regnperioder och torka. På grund av denna situation får uppsamling av regnvatten allt mer uppmärksamhet. Regnvatten kan användas till olika vattenbehov beroende på hur mycket rening vattnet genomgår. Med en lokal recirkulation av regnvatten kan belastningen på vattenverken minska.

Syftet med detta examensarbete var att utveckla en recirkuleringskarta. Detta för att snabbt och enkelt analysera potentialen av regnvatteninsamling och återanvändningsmöjligheter. Med recirkuleringskartan kan användare snabbt och enkelt jämföra olika scenarier för att utvärdera sina alternativ för uppsamling av regnvatten.

Recirkuleringskartan innehåller två delar. En interaktiv karta som ger användaren ett snabbt sätt att få tillgång till takarean där insamling av regnvatten sker. Den andra delen är ett dimensioneringsverktyg som snabbt analyserar potentialen i att samla upp regnvatten i relation till varierande vattenbehov. Indataparametrar som takyta, avrinningskoefficient, behov av regnvatten per dag och storlek på vattenmagasinet används i dimensioneringsverktyget för att analysera potentialen för att samla upp regnvatten. Arbetet med recirkuleringskartan uppfyllde alla krav och mål som ställdes i början av projektet.

Nyckelord: Regnvatteninsamling, recirkulation, vattenbalans, takarea, GIS

Institutionen för geovetenskaper, luft- vatten och landskapslära, Uppsala universitet, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala, Sverige.

Förord

Detta examensarbetet är utfört av mig Erik Oscarson, som student på Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik, en utbildning vid Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Examensarbetet motsvarar 30 högskolepoäng.

Examensarbetet gjordes som en del av Drizzleprojektet vid Tyréns. Drizzle - centrum för dagvattenhantering, är ett av VINNOVA:s forskningscentrum och leds från Luleå Tekniska Universitet (LTU). Drizzleprojektet startades för att forska på dagvattenlösningar inom tre huvudområden: dagvattenkvalitet, dagvattenvolymer och integrerade dagvattenlösningar. Ett övergripande mål är att bättre kunna hantera översvämningsrisker i städer och att minska föroreningsutsläpp på natur och vattendrag. Tyréns Sverige AB är en av de 13 partners som tillhör Drizzle (Drizzle 2024).

Jag vill rikta ett stort tack till mina handledare på Tyréns, Johan Kjellin och Johan Åström. Utan eran expertis och vägledning hade inte mitt arbetet varit vad det slutligen blivit. Sedan vill jag även tacka Tyréns för erat varma välkomnande och till möjligheten att få göra examensarbete hos er. Tack även till Olof Jonasson, Sara Ekeröth, Julia Granlund, Jimmy Olsson, Maria Duvaldt och Marcin Faron på Tyréns för all hjälp under arbetets gång. Jag vill också rikta ett stort och ödmjukt tack till min ämnesgranskare Ekaterina Sokolova. Med Ekaterinas uppmuntrande hjälp har jag fått goda möjligheter att utvecklas i mitt arbete.

Tack och förlåt till min familj och vänner som har stöttat mig och varit närvarande under min utbildning. Ni är helt fantastiska och jag hade inte tagit mig igenom utbildningen utan er.

Erik Oscarson Uppsala, Juni 2024

Populärvetenskaplig sammanfattning

Utan vatten kan vi inte leva och vi är konstant beroende av att ha tillgång till bra vatten. De rådande klimatförändringarna påverkar världen vi lever i på olika vis. Med ett varmare klimat förändras de nederbördsbeteenden som vi är vana vid. Vi ser allt extremare väderförhållanden, där bland annat kraftigare nederbörd och torrperioder sker oftare. Detta leder till att tillgången till vattenresurser ändras. I Norden har vi gott om vattenresurser i förhållande till andra länder. Trots det tvingas kommuner periodvis utfärda bevattningsförbud under somrarna för att inte tömma ut de vattenkällor som finns. Vi måste därför ta tillvara på det vatten vi har och inte se det som en resurs vi har oändligt av. Med den rådande urbaniseringen och när befolkningen ökar tillkommer dessutom fler krav och en större belastning på våra dricksvattennät. För att minska trycket och pressen på dessa system skulle vi behöva tänka annorlunda med hur vi utnyttjar vatten. De delar i vår dagliga vattenanvändning som inte kräver vatten av dricksvattenkvalitet skulle kunna ersättas från annat håll.

Ett sätt att få tillgång till vatten och att utnyttja vattnet på ett annat sätt är via lokal regnvatteninsamling. Det innebär att regnvatten som faller på takytor smidigt kan föras vidare till en lokal vattentank för magasinering. Insamlat regnvatten kan återanvändas vid användningsområden där dricksvattenkvalitet inte är ett krav. Sådana användningsområden kan vara bevattning av trädgårdar, avsköljning av redskap och instrument eller för den delen toalettspolning och tvättmaskiner. Industrier använder också stora mängder vatten i sina processer och då är inte alltid dricksvattenkvalitet ett måste. Även i dessa fall kan regnvatten användas istället.

För att kunna återanvända regnvatten krävs det att ett fungerande och effektivt system installeras. Hur mycket regnvatten som går att återanvända, och om det är värt att investera i ett insamlingssystem, är inte helt enkelt att beräkna. Därmed vore det smidigt för privatpersoner, företag och industrier om det fanns ett verktyg som snabbt kunde beräkna vilka möjligheter den aktuella takytan har för regnvatteninsamling.

I det här arbetet har en recirkuleringskarta utvecklats för att hjälpa användare att få information om möjligheter för regnvatteninsamling efter sina förutsättningar. Användaren kan snabbt få fram takarean samt skriva in önskat regnvattenbehov för att få en fingervisning över vilken tankstorlek som borde passa för insamling av regnvatten. När användaren valt önskvärd tankstorlek presenteras information om tillgångar för regnvatteninsamling och -återanvändning. Allt baserat på lokal nederbördsdata och efter användarens angivna förutsättningar.

Recirkuleringskartan består av två delar. Dels ett kartverktyg som är enkelt att använda. Med kartverktyget kan användaren få fram takarean för den takyta som hen har tänkt att använda för regnvatteninsamling. Den andra delen är ett dimensioneringsverktyg som simulerar förloppet av insamling och användning av regnvatten. I dimensioneringsverktyget samlas nederbörd in på takytan, antingen regn eller snö. Vattnet leds in i en vattentank i den utsträckning som vattnet får plats i tanken. Sedan töms vattentanken med regnvatten efter det dagliga regnvattenbehovet som önskas. Dimensioneringsverktyget presenterar sedan resultaten från simuleringen för användaren. Dessa resultat kan hjälpa användaren att dra

slutsatser för att eventuellt installera ett insamlingssystem av regnvatten. Användaren får då information om hur mycket regn som samlas in under ett genomsnittså och i genomsnitt per månad över ett år. Utöver det får användaren information om hur mycket av det insamlade regnvattnet som återanvänds och hur mycket som kan komma till användning efter användarens behov.

Vid framtagning av recirkuleringskartan har data från Lantmäteriet och SMHI använts. Uppsättningen av verktyget är en prototyp och täcker stadsområdet Majorna i Göteborg, Sverige. Tanken med arbetet är att vara startskottet för att utveckla ett verktyg som går att använda över hela Sverige. Tack vare recirkuleringskartan kommer det att bli betydligt smidigare och snabbare att få en övergripande bild över möjligheter för regnvatteninsamling och -återanvändning.

Ordlista

API	Applikationsprogrammeringsgränssnitt (eng. Application programming interface)
CSS	Cascading Style Sheet
FME	Feature Manipulation Engine
GIS	Geografiska Informationssystem
html	Hypertext Markup Language
PNG	Portable Network Graphics
Rasterfil	Ett geografiskt filformat för att spara geografiskdata i en pixelformad matris.
Shapefil	Ett geografiskt filformat för att spara geografisk data i vektorform.
VS Code	Visual Studio Code
WSE	Vatten sparings effektivitet (eng. Water saving efficiency)
qgis2web	Qgis2web är ett insticksprogram i QGIS som exporterar kartor till en OpenLayer eller Leaflet karthemsida.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Regnvatteninsamling på takytor	1
1.2	Behov av vatten i Sverige	3
1.3	Framtagning av recirkuleringskarta	5
2	Syfte	7
3	Metod	8
3.1	Datahämtning	8
3.2	Bearbetning av karta	9
3.2.1	Utförande	9
3.3	Dimensioneringsberäkningar	11
3.3.1	Vattenbalanskoncept	12
3.3.2	Beräkningsrutin vattenbalans	15
3.3.3	Beräkning av avrinningsvolym från taket	16
3.3.4	Avrinningskoefficient	17
3.3.5	Snösmältning	17
3.3.6	Behovstäckning av olika tankstorlekar	18
3.3.7	Beräkning av användningstillfällen	18
3.4	Streamlit	18
4	Resultat	20
4.1	Kartverktyget	20
4.2	Dimensioneringsverktyget	22
5	Diskussion	28
5.1	Kartverktyget	28
5.1.1	Utveckling av kartverktyget	28
5.2	Dimensioneringsverktyget	29
5.2.1	Utveckling av dimensioneringsverktyget	30
5.3	Sammansättning av verktygen	31
5.4	Utvärdering av recirkuleringskartan	32
6	Slutsats	34
7	Referenser	35
A	Appendix	37
A.1	Användarens flödesschema vid användning av dimensioneringsverktyget . .	37
A.2	Recirkuleringskartan	38
A.2.1	Vattenfördelning	41
A.3	Beräkningsparametrar	45

1 Inledning

I alla tider har människan samlat in regnvatten vid nederbörd på olika vis. I avlägsna och hårt klimatdrabbade områden har insamlingen och förvaringen av regnvatten varit särskilt viktigt, då tillgången till vatten kan vara begränsad (Sharma et al. 2015). När vattentillgången är bristfällig ökar kostnaderna för tillgång till dricksvatten vilket skapar konflikter inom industrier och jordbruk. Samtidigt växer städerna, och dess befolkning ökar, vilket ökar kraven på tillgängligheten av god dricksvattenkvalitet (Baresel et al. 2015).

Idag råder tidvis överskott och tidvis underskott av vatten i våra samhällen. Överskottet skapar bland annat översvämningsproblem och underskottet ger upphov till vattenbrist. Ett sätt att hantera problematiken kring vattenbristen skulle kunna vara dag- och regnvattenåtervinning. Vatten uppsamlas och återanvänds för olika typer av behov. Ett sådant system innebär en recirkulering av vatten på lokal nivå (Villarreal & Dixon 2005). Det insamlade regnvattnet kan sedan användas i de fall där vattnets kvalitet bedöms vara acceptabel utifrån ändamålet, med eller utan ytterligare rening. En installation av ett cirkulärt vattensystem kommer hjälpa till att spara vatten vid torrare perioder (Sharma et al. 2015). Allt insamlat vatten kommer minska belastningen på dricksvattenproducenterna, och vara till hjälp under perioder då bevattningsförbud råder. När trycket på dricksvattenresurserna minskar kommer samhället vara mer redo för framtida vattenkriser (Frihammar et al. 2021).

De pågående klimatförändringarna påverkar väderförhållanden under olika årstider vilket bidrar bland annat till att vi får en varmare och torrare sommarperiod (Caretta et al. 2022). Det bidrar även till att vattennivåerna för grundvatten blir låga och att tillgången på råvatten för vattenverken, samt i enskilda brunnar, blir sämre. Till följd av detta tvingas kommuner utfärda bevattningsförbud för att hushålla med vattenresurserna. Om det finns möjlighet att samla in och återanvända regn- och dagvatten kan den bristande vattenåtgången åtgärdas, samtidigt som onödigt användning av kommunalt vatten kan minska (Holm & Schulte-Herbrüggen 2021).

1.1 Regnvatteninsamling på takytor

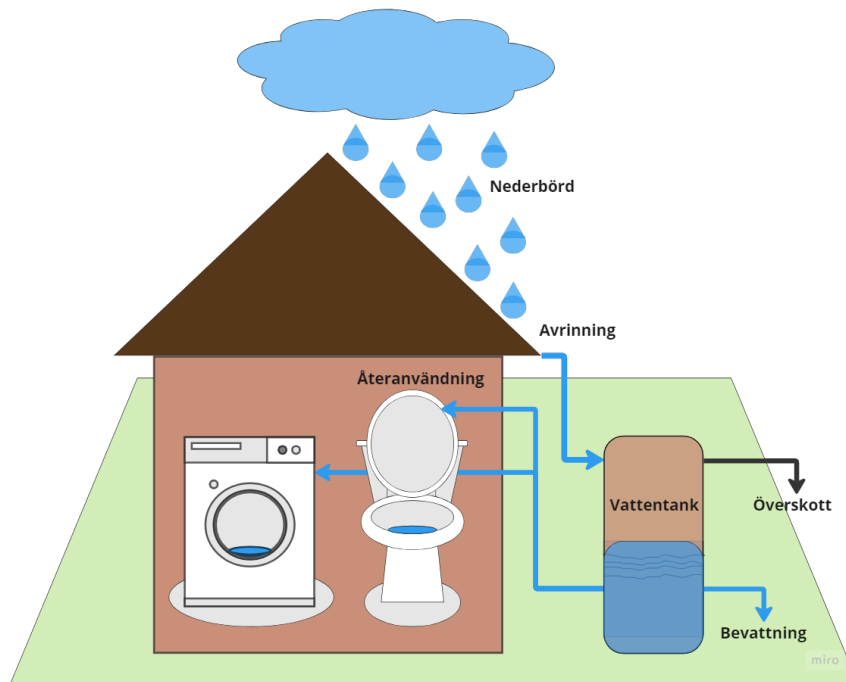
Efter att nederbörden fallit inom insamlingsområdet leds det vidare till en vattentank där det magasineras. Vattentanken bör placeras i närheten av insamlingsområdet för att minimera transportsträckan. Vattentanken kan placeras inomhus, på taket, på markytan eller grävas ner under jord. Fördelen med att gräva ner tanken under jord är att man sparar plats och det skyddar dessutom mot temperaturhöjningar på grund av solljus. Att undvika onödiga temperaturhöjningar minskar mikroorganismers tillväxt. Dock medför en nedgrävd vattentank underhållningssvårigheter av vattentanken (Aysha 2022). En installation av vattentank är inte att rekommendera på tak om större volymer ska samlas in, eftersom det medkommer risker för läckage och vattenskador. Takstrukturen behöver därför stärkas upp, för att takras ska undvikas (Jephson & Kristiansson 2023). Förutom placering av vattentanken är dess storlek även central i frågan. Storleken avgör hur mycket vatten som kan samlas in och magasineras (Aysha 2022). Valet av en för stor vattentank resulterar i slöseri på plats, pengar och tid och gör att vattnet kan bli alltför stillastående och gammalt. En för liten vattentank kommer troligtvis inte bidra med önskad kapacitet för att tillgodose

behovet, åtminstone inte vid längre torrperioder (Santos & Taveira-Pinto 2013).

Insamlat vatten från tak och andra hårdgjorda ytor för med sig föroreningar som försämrar vattnets kvalitet. Därmed är insamlat vatten inte hälsosäkert nog att använda till dricksvatten utan rening, matlagning eller personlig hygien. I sådana fall ska istället vatten med dricksvattenkvalitet användas (Joji & Jacob 2023). Insamlat regnvatten löper stor risk att förorenas. Dels följer förorening med nederbörden när den faller genom luften. Dels kan vattnet bli nedsmutsat av djur, löv, grenar, avföring från fåglar, insekter och annat smuts. Dessutom kan ytmaterial och beläggning lossna och följa med från takyta, ledningsanläggning eller markyta. Av dessa anledningar bör vattnet som samlas in renas beroende på ändamål innan det används (ibid.). Ett sätt är att använda ett "first-flush" system. Då avskiljs den första andelen av det insamlade vattnet från insamlingssystemet för att få bort oönskade föroreningar (Villarreal & Dixon 2005). Olika typer av filter och silar kan även användas, exempelvis sandfilter, partikelfilter, kolfilter för att fånga in mindre partiklar. Det önskvärda målet är att minimera bakteriers tillväxt i vattnet. Vattnet kan även genomgå en UV-strålning för att renas ytterligare (Holm & Schulte-Herbrüggen 2021).

Insamlat regnvatten kan användas till bland annat rening och avspolning av hus och bilar. Regnvatten kan även användas inom industrin eller till bevattning av trädgårdar och parker (Frihammar et al. 2021). För hushållen finns det också tillfällen då regnvatten kan komma till nytta. Det finns vitvaror med funktioner som kan använda insamlat regnvatten, exempelvis till diskmaskiner, tvättmaskiner, toaletter och snålspolande kranar och munstycken (Holm & Schulte-Herbrüggen 2021). Insamlat regnvatten bör ej utan omfattande rening användas för ändamål som kräver dricksvattenkvalitet, såsom matlagning och drycker (Jephson & Kristiansson 2023).

Grunderna för regnvatteninsamling på takytor och återanvändning visas i en illustration nedan i figur 1. Nederbörd faller på takytan och leds vidare genom avrinning till en vattentank. Om avrunnen volym är för stor jämfört med tankens utrymme bräddar överskottet ut. Vattnet i vattentanken kan återanvändas i hushållet till exempelvis tvättmaskin och toalettpolning, eller annat behov så som bevattning där dricksvattenkvalitet ej är nödvändig.



Figur 1: Illustration över de grundläggande delarna i regnvatteninsamling.

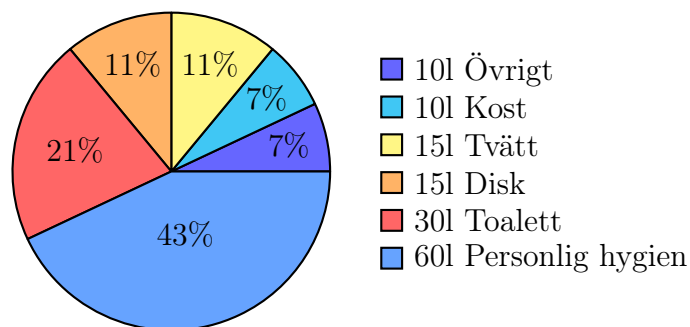
1.2 Behov av vatten i Sverige

År 2020 beräknades det totala uttaget av sötvatten i Sverige att vara cirka 2531 miljoner kubikmeter. Detta vatten går till hushåll, industrier, jordbruk, företag, skolor, sjukhus, simhallar och andra verksamheter. Av det totala vattenuttaget stod de kommunala vattenverkens dricksvattenproduktion för 34%. Det vattnet renades för att sedan skickas ut i det allmänna dricksvattennätet. Den större andelen av sötvattenuttaget gjordes genom enskilda brunnar, jordbruksuttag och av industrin. Av den totala sötvattenupptagningen som gjordes år 2020, använde industrin majoriteten av vattnet, uppemot 61% (Statistiska centralbyrån 2022). Dessa siffror är alltså heltäckande för all sötvattenupptagning och presenteras i tabell 1. Allt vatten som produceras i de kommunala vattenverken når inte fram till sin destination. Det försvinner vatten i läckande rörledningar och genom vattenverkets egen vattenanvändning. Det var enbart 76% av allt vatten som producerades som nådde ända fram till konsumenter under år 2020. Andelen *Övrig användning, sötvatten* innefattar varuhandel, byggverksamhet, transporter, hotell- och restaurangverksamhet men också nämnda förluster på grund av läckage (ibid.).

Tabell 1: Vattenuttaget och användning av sötvatten i Sverige under år 2020 (Statistiska centralbyrån 2022).

Vattenuttag	Miljoner (m ³)	Procent (%)
Kommunala sötvattenuttag	872	34
Enskilda sötvattenuttag	1658	66
Totalt sötvattenuttag	2531	100
Vattenanvändning	Miljoner (m ³)	Procent (%)
Hushåll, sötvatten	568	23
Jordbruk, sötvatten	102	4
Industri, sötvatten	1551	61
Övrig användning, sötvatten	307	12
Total sötvattenanvändning	2528	100

Den stora tillgången till dricksvatten är en förmån som inte ska tas för given. I genomsnitt förbrukar en svensk 140 liter dricksvatten per dygn. De 140 literna kan delas upp i mindre kategorier (figur 2). Exempelvis går det åt 30 liter per dag enbart för att spola toaletten vilket motsvarar 21% av daglig dricksvattenanvändning (Svenskt Vatten 2021). Det finns en sakta sjunkande trend i dricksvattenförbrukningen i Sverige. Detta beror delvis på att människor har blivit mer sparsamma med sin vattenanvändning. Variation i dricksvattenförbrukning skiljer sig år från år i Sverige och även mellan olika kommuner, därav har ingen exakt utvecklingsförändring kunnat säkerhetsställas (Svenskt Vatten 2020). Med återvunnet regnvatten kan den dagliga användningen av dricksvatten minska. Därmed kan dricksvatten ersättas eller kompenseras med regnvatten beroende på system och behov (Holm & Schulte-Herbrüggen 2021).



Figur 2: Fördelning av daglig genomsnittlig dricksvattenanvändning i Sverige. I genomsnitt används totalt 140 liter dricksvatten per person och dag (Svenskt Vatten 2021).

1.3 Framtagning av recirkuleringskarta

Geografiskt informationssystem (GIS) används för att analysera, bearbeta och presentera geografisk data (Nationalencyklopedin 2023). GIS började utvecklas under slutet av 1960-talet och har varit till stor hjälp för samhällsutvecklingen. Med GIS kan olika geografiska datalager läggas ovanpå varandra för spatiala analyser. Förutom analyser och bearbetning av data kan GIS användas för formatering och generering av kartor för visuell presentation. Det är viktigt att forma utseendet för kartor så att informationen man vill förmedla är enkel och lättförståelig (Brown et al. 2013).

Vid analys av regnvatteninsamling är geografisk data vanligt att använda. Tack vare GIS och satellitdata kan svårtillgängliga, små eller stora områden snabbt granskas. Data som kan vara viktigt för regnvatteninsamling är allt från lutning i områden, jordtyp, avstånd och area. Med den här typen av information, kombinerat med GIS, kan analyser av regnvatteninsamling genomföras betydligt snabbare och enklare. Det sparar både energi och tid vilket effektiviserar arbetet för recirkuleringsplanering av regnvatten (Ammar et al. 2016). Utöver GIS kan hydrologiska modeller och multikriterieanalyser användas vid analys och planering av regnvatteninsamling. Oavsett vilket tillvägagångssätt man väljer för att analysera potentiell regnvatteninsamling så är GIS vanligen en del av planeringsunderlaget (ibid.).

I tidigare studier har GIS-verktyg använts för att analysera och granska lämpliga platser för regn- och dagvatteninsamling. GIS-verktyg underlättar val av insamlingsplats för regnvatten och även när de olika alternativen ska jämföras. I en studie från Irak användes GIS och multikriterieanalys för att analysera lämpliga platser för regnvatteninsamling (Sayl et al. 2020). I en studie från Australien (Inamdar et al. 2013) användes GIS-verktyg för att lokalisera potentiella platser i urbana stadsmiljöer för dagvatteninsamling. Verktyget och analysen gav en inledande överblick för de olika alternativen. Att först ge en övergripande bild av val innan man väljer att gå in på detaljnivå sparar både tid och resurser (ibid.). I Indien, där klimatförändringarna gör sig konstant påmind, finns en hög och ökande population och behovet av regnvatteninsamling är därför ytterst viktigt. I regionen Jammu Himalaya analyserades potentiella vattenresurser med hjälp av GIS tillsammans med en vattenbalansmodell. Detta gjordes för att ge en uppfattning om hur mycket av nederbörden som blir till avrinning i området (Jasrotia et al. 2009).

För att snabbt kunna analysera möjligheter och alternativ för regnvatteninsamling på taktytor krävs det att takarean är dokumenterad. Ett snabbt och enkelt sätt att få fram takarea är att använda sig av GIS i form av en karta. Med en karta kan de taktytor man är intresserad av smidigt lokaliseras istället för att bläddra i en tabell eller på annat vis få fram takarean. Med en framtagen takarea kan sedan beräkningar för möjlig regnvattenanvändning genomföras.

Användning av interaktiva kartverktyg är ingenting nytt utan har använts på flera håll för att underlätta tillgängligheten av information. Exempel på tidigare interaktiva kartverktyg är bland annat Solkartan av Energi- och klimatrådgivningen och YtSim av (Energi- och klimatrådgivningen 2024; SMHI 2024b). Med Solkartan kan användare enkelt få en uppfattning om möjligheten till energiutvinning med solceller på hustaken. Verktyget är en interaktiv karta som för tillfället täcker Stockholmsregionen. Ytsim-verktyget beräknar

vattenflöden under olika scenarier så som vädervariation, regleringar och vattenuttag. En del av verktyget är att använda sig av en interaktiv karta för att enkelt välja de områden som är intressanta vid beräkningarna. Båda verktygens kartor är framtagna kopplade till meteorologiska respektive hydrologiska faktorer tillhörande platsen i kartans område (Energi- och klimatrådgivningen 2024; SMHI 2024b).

För beräkningar av potentiell regnvattenåteranvändning finns det enklare internationella beräkningsverktyg på marknaden. Verktygen bygger på att användaren anger en årlig nederbördsmängd och tar inte hänsyn till geografisk plats. Dessutom bygger verktygen på att användaren själv ska veta arean som ska användas för insamling av regnvatten. Verktygen ger heller inte användare möjlighet att prova olika vattentankstorlekar för att utvärdera möjligheter av regnvatteninsamling. Med både Enduramaxx (2024) och Watercache (2024) kan användaren endast ange takarea och årlig nederbörd. Verktyget Freeflush (2024) ger användare möjlighet att ange takarea, avrinningskoefficient, årlig nederbörd och hydralisk effektivitet. Lodverktyg (2024) är ett svenskt verktyg som ger användaren möjlighet att ange specifika egenskaper om jorden i sin trädgård för att beräkna regnvattentillgången för bevattning på sina fält.

För närvarande är det svårt för privatpersoner, företag eller andra aktörer att få en snabb överblick över hur mycket regnvatten som går att samla in och återanvända för en fastighet. Det finns nämligen inget sammanställande verktyg som ger användare ett sätt att snabbt få en uppfattning hur mycket regnvatten som kan återanvändas på lokal nivå. En viktig del i detta är att göra det lättillgängligt för användare att ta reda på takareans storlek där regnvatten ska samlas in i kombination med att beräkna regnvattentillgångar. För att enkelt kunna analysera möjligheten i potentiell regnvattenanvändning har ett interaktivt verktyg utvecklats under detta examensarbete, en så kallad recirkuleringskarta.

2 Syfte

Syftet med projektet är att ta fram ett interaktivt verktyg, en recirkuleringskarta. Recirkuleringskartan ska kunna ge användaren en snabb överblick om möjligheter för regnvatteninsamling och regnvattenanvändning på takytor. Recirkuleringskartan ska bestå av två delar. En del är ett kartverktyg som snabbt visualiserar takytors area. Den andra delen är ett dimensioneringsverktyg som beräknar den potentiella regnvatteninsamlingen efter användarens behov och förutsättningar. Takarean, avrinningskoefficient, regnvattenbehov och vattentankstorlek ska kunna ändras för att se hur det påverkar tillgången av regnvatten. För att uppnå projektets syfte sattes tre delmål upp.

1. Skapa en interaktiv karta för att få fram takarea för byggnader, fastigheter eller total takarea för flera stadsområden samtidigt med hjälp av ett polygonverktyg.
2. Sätt upp ett dimensioneringsverktyg i form av en vattenbalansmodell för beräkning av insamlade och utnyttjade vattenvolymer regnvatten.
3. Implementera kartverktyget med dimensioneringsverktyget i applikationprogrammet Streamlit för att visualisera tillgångar.

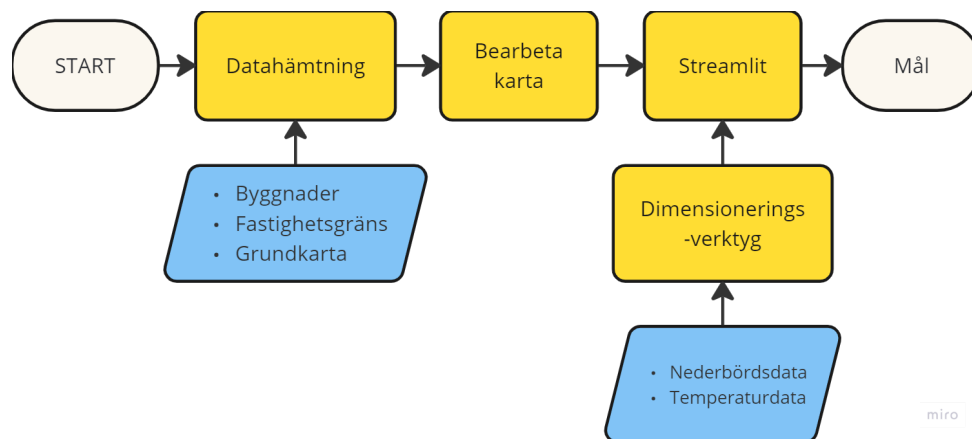
Projektet är tänkt att ta fram en första fungerande prototyp och kommer därmed ha utvecklingspotential i senare versioner. Prototypen av recirkuleringskartan täcker enbart stadsområdet Majorna i Göteborg.

3 Metod

Uppsättningen av recirkuleringskartans arbetsprocess och dataflöde visas i ett flödesschemat i figur 3. Dataflödet för uppsättningen av recirkuleringskartan delades upp i fyra delar.

- Datahämtning
- Dimensioneringsverktyg
- Bearbetning av karta
- Streamlit

Första delen *Datahämtning* innefattar hämtning av data som användes för uppsättning av recirkuleringskartan. Den data som användes hämtades från Lantmäteriet samt SMHI och beskrivs närmare i avsnitt 3.1. Andra delen *Bearbetning av karta* beskriver bearbetning av geografisk informations-data (GI-data). Denna data laddades in och bearbetades i GIS-verktyget QGIS (QGIS 2024). Förutom bearbetning av kartan redigerades även kartans utseende. Här flyttades QGIS-kartan utanför GIS-programmet för att redigeras i Visual studio code (VS Code) (VS Code 2024). I VS Code redigeras interaktionen i kartan och så implementerades även ett polygonverktyg för att kunna interagera med kartan. Detta avsnitt beskrivs mer i detalj under 3.2. I tredje delen *Dimensioneringsverktyg* sattes en vattenbalans upp vilket beskrivs mer i avsnitt 3.3. Dimensioneringsverktyget använder sig av nederbörds- och temperatursdata från SMHI och simulerar hur mycket regnvatten som kan samlas in i en vattentank och därifrån tas ut för användning efter önskat behov. Den sista del är *Streamlit*, i denna delen kopplas kartverktyget och dimensioneringsverktyget samman. Här beskrivs hur verktygen implementeras på webapplikationen Streamlit.io (streamlit.io 2024). Detta går att läsa mer om i avsnitt 3.4.



Figur 3: Konceptuell modell för uppsättning av recirkuleringskarta illustrerad i Miro (Miro 2024). Vita cirkelformade symboler representerar start och slut på modellen. De blå rutorna innebär input data. Gula rutor innebär processteg i uppsättningen av recirkuleringskartan. Pilarna förklarar relationen mellan olika steg.

3.1 Datahämtning

Vid framtagning av kartverktyget användes lantmäteriets demodata över stadsområdet Majorna i Göteborg (Lantmäteriet demodata 2024). Demodata är ett gratispaket över ett specifikt område och innehåller flertal typer av kartfiler för att kunna prova Lantmäteriets

utbud av kartfiler. Detta gratispaket passade bra för ändamålet av examensarbetet då enbart en första prototyp skulle tas fram. Det var tre typer av produkter som laddades ner för projektet. Dels en topografisk webbkarta (Lantmäteriet webbkarta 2022), dels en karta med byggnadsindelning (Lantmäteriet byggnad 2023) samt en karta med fastighetsavgränsningar (Lantmäteriet fastighet 2023). Kartorna bearbetades i koordinatsystemet SWEREF 99TM (EPSG:3006). Byggnadsindelnings- och fastighetsavgränsningsfilerna var i det geografiska filformatet shapefil medan den topografiska webbkartan var en rasterfil.

Meteorologisk data från SMHI användes vid framtagning av dimensioneringsverktyget (SMHI 2024a). Temperaturdata och nederbördsdata laddades ner från väderstationen Göteborg A, (Stationsnummer 71420, Latitud: 57.7156, Longitud: 11.9924, Höjd över havet: 3,038 m). Den meteorologiska data som användes var från perioden 2014-01-01 - 2022-12-31. Temperaturdata var lufttemperaturen i Celsius och laddades ner i medelvärde per dygn. Nederbördsdata var summerad mängd nederbörd per dygn i millimeter. Data som användes var helt intakt. Alla mätpunkter under perioden användes förutom skottdagen som plockades bort för att underlätta beräkningar.

3.2 Bearbetning av karta

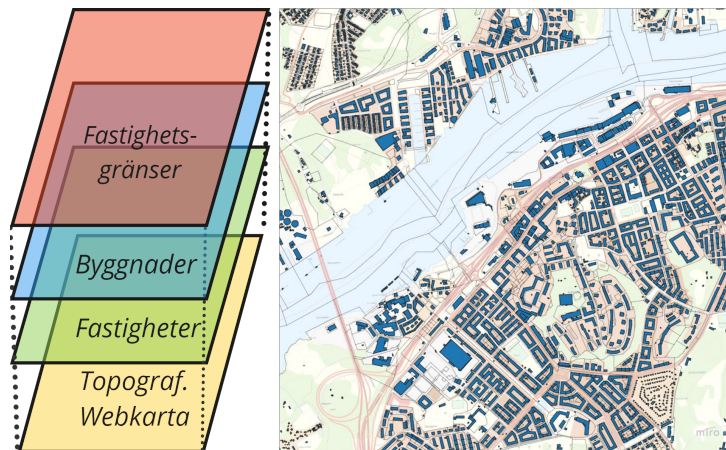
Vid bearbetning och analys av geografiska data är ArcGIS och QGIS de två stora GIS-programmen som används. Med dessa två program kan man redigera och designa kartor efter önskat behov. Via de två programmen kan kartor paketeras och flyttas utanför GIS-programmen. Det finns ett stort utbud vad man kan göra via båda programmen. ArcGIS har en avgift för användning medan QGIS är utan avgift. Både ArcGIS och QGIS använder sig av inbyggda applikationer för att kunna paketera om GIS-kartor i ett filformat som går att bearbeta utanför GIS-programmens applikationer. QGIS valdes på grund av dess avgiftsfria tillgänglighet och genom dess möjligheter att enkelt exportera kartor till andra filformat (QGIS 2024; ArcGIS 2024).

3.2.1 Utförande

De tre kartfilerna från Lantmäteriet laddades upp i QGIS och arean för varje individuell byggnadspolygon i byggnadsfilen beräknades med fältkalkylatorn i attributtabellen. Lantmäteriets fil för byggnadspolygoner täcker enbart husväggarna. Därmed kommer takarean att bli något mindre än i verkligheten då hustak generellt hänger lite utanför husväggarna. Nästa steg var att skapa en ny shapefil med hjälp av byggnads- och fastighetsgränsfilen. Den nya shapefilen skapades för att få fram en fastighetsfil där takarean för samtliga byggnader inom en fastighetsavgränsning ingick. Detta steg var viktigt för att i ett senare skede kunna skapa olika lager i kartverktyget. För att koppla rätt fastighetsavgränsning med tillhörande byggnadspolygon användes Safe Software:s program the Feature Manipulation Engine (FME) (Safe Software 2024). Med hjälp av FME kunde en ny shapefil skapas som innehöll polygoner över byggnader som ingick inom samma fastighetsavgränsningsområde. Den nya filen laddades in i QGIS igen. Efter framtagningen av fastighetsfilen kunde kartan skapas i QGIS. Kartan bestod av fyra olika lager. Ordningen för kartlagrena var följande.

1. Fastighetsavgränsningslager
2. Byggnadslager
3. Fastighetslager
4. Topografisk webbkarta

Den topografiska webkartan användes som grundkarta. Sedan lades fastighets- och byggnadsfilerna ovanpå grundkartan och sist lades fastighetsavgränsningsfilen överst. Filen för fastighetsavgränsningar lades in för att visa användaren vilka byggnader som låg innanför vilka fastighetsområden. I det här steget redigerades färg, transparens och kantlinjer för byggnads- och fastighetspolygoner för kartverktyget. En förklaring över hur kartan ser ut visas i figur 4.



Figur 4: Kartans utseende, över Majorna i Göteborg, med ordningen av de fyra olika lagren. Fastighetsfilen syns inte då den ligger bakom byggnadsfilen i den högra bilden.

För att flytta kartan utanför QGIS användes en QGIS-pluggin som heter qgis2web (qgis2web 2024). Detta steg var väsentligt för att kunna bearbeta och presentera kartan utanför QGIS. Qgis2web är framtaget med hjälp av Leaflet. Leaflet är ett öppet gratispaket skrivet i programmeringsspråket JavaScript för att kunna interagera med GIS-data utanför GIS-program (Leaflet 2024). Qgis2web tar och exporterar alla lager i kartan till ett paket. Detta paket innehåller en Hypertext Markup Language fil (html) för struktur, flera Cascading Style Sheet filer (CSS) för att hantera utseendet och JavaScript filer för att kunna ha samspel mellan kartfilerna utanför QGIS. De fyra lagerfilerna packeterades av qgis2web i GeoJson- och Portable Network Graphics (PNG) format. Filerna som producerades med hjälp av qgis2web laddades upp i en mappstruktur och bearbetades i VS Code (VS Code 2024). Där ändrades vilken information som ska presenteras för användare när den klickar på önskad byggnad eller fastighet i kartan. Dessutom genomfördes en förändring så att den valda byggnaden eller fastigheten i kartan lyser upp i annan färg. Detta gjordes för att göra det tydligare för användaren att se vilken fastighet som valts i kartan.

En annan av förändringarna som genomfördes var att skapa ett polygon-verktyg. Detta gjordes i VS Code genom att redigera ett mätverktyg som tillkom vid paketeringen från qgis2web. Polygon-verktyget ger användaren en möjlighet att skapa en polygon över ett önskat område. När önskat område markerats så presenteras den gemensamma takarean för samtliga byggnader inom det valda området. För att genomföra detta användes qgis2webs polygonverktyg tillsammans med Turf. Turf är ett öppet JavaScript-paket för att få fram och bearbeta geografisk information (Turf 2024). Om det med polygonverktyget dras en linje igenom en byggnad kommer även den byggnaden att markeras och dess area att vara en del av den totala takarean.

3.3 Dimensioneringsberäkningar

För att kunna använda den takarea som kartverktyget genererar åt användaren sattes en dimensioneringsverktyg upp. Dimensioneringsberäkningarna bygger på en uppsättning av en vattenbalans och ska simulera hur nederbörd faller på ett tak och sedan ner i en vattentank för att sedan återanvändas lokalt efter önskat behov. I dimensioneringsverktyget anger användaren först takarea, avrinningskoefficient och hur mycket vatten i liter man är intresserad av att utnyttja per dag. Med angivna indata kommer verktyget att beräkna hur stor andel av behov som täcks av regnvatten för olika vattentankstorlekar. Verktyget testar samtliga storlekar mellan 1-100 m³ med en stegvis ökning på 1 m³. Därefter presenteras en graf för användaren över relationen mellan tankstorlekar och andel återanvänt regnvatten. Användaren får sedan ange vilken tankstorlek som verktyget ska beräkna potentiell regnvatteninsamling och användning med. Efter det presenteras resultat och grafer som visar möjlighet att samla in regnvatten för återanvändning. Slutligen kan användaren längst ner i dimensioneringsverktyget ange hur mycket vatten det går åt vid olika användningsområden. Detta för att se vad vattnet kan räcka till. Användningsområdena är toalettpolning, tvätt och bevattning. Se appendix A.1 för illustration av användarens flödesschema vid användning av verktyget. Vilken indata användaren anger i dimensioneringsverktyget och vilken fakta som presenteras sammanfattas i tabell 2.

För att granska och testa dimensioneringsverktygets uppbyggnad så genomfördes rimlighetsanalyser och tester under processen. Rimlighetsanalyser bestod av kontroller, om en viss känd volym vatten var indata kunde kontroller genomföras för utdata. Dessa kontroller genomfördes för att testa delar av dimensioneringsverktygets kod och för att upptäcka eventuella brister. Rimlighetsanalyser har också genomförts tillsammans med handledare för projektet.

Tabell 2: Indata som användaren anger och utdata som presenteras för användaren vid användning av dimensioneringsverktyget.

Indata för dimensioneringsverktyget
Takarea (m^2)
Avrinningskoefficient (enhetslös)
Vattenbehov (liter/dag)
Vattentankstorlek (m^3)
Liter per användningstillfälle för toalettspolning, tvättvatten och bevattning
Utdata från dimensioneringsverktyget
Nederbördsvolym som fallar på takyta ($\text{m}^3/\text{år}$).
Avrinningsvolym som samlas in på takyta ($\text{m}^3/\text{år}$).
Magasineringsvolym som samlas in i vattentanken ($\text{m}^3/\text{år}$).
Överflödig volym vatten ($\text{m}^3/\text{år}$).
Önskat återvunnet regnvatten till hushåll ($\text{m}^3/\text{år}$).
Volym vatten som hämtas från regnvattentanken ($\text{m}^3/\text{år}$).
Volym vatten som behövs från annan vattenkälla ($\text{m}^3/\text{år}$).
Andel av vattenbehovet som kommer täckas av regnvatten (%).
Graf med genomsnittlig nederbörd-, avrinning- och magasineringsvolym samt överflödig volym per månad.
Graf med fördelning av vattenanvändning per månad, dels totalt vattenbehov men också regnvattenanvändning och dricksvattenanvändning.
Graf över hur volym vatten i tanken förändras under simuleringen dag för dag.
Graf över antal användningstillfällen för enbart toalettspolningar, tvättar eller bevattningar.

3.3.1 Vattenbalanskoncept

Inom vattensystem är uppsättning av vattenbalans en vanlig metod för att beräkna vattenvolymer. Det kan användas vid större eller mindre uppsättningar av vattensystem (Aysha 2022). Vid uppsättning av en vattenbalans beräknas vattenvolymer ΔV för en lagringsplats och är en temporär vattenvolym vid ett visst tillfälle. Då beräknas skillnaden mellan alla inflöden av vatten och alla utflöden av vatten i systemet (Sahely et al. 2003). En generell uppställningen av en vattenbalans kan ses i ekvation 1 nedan (Aysha 2022).

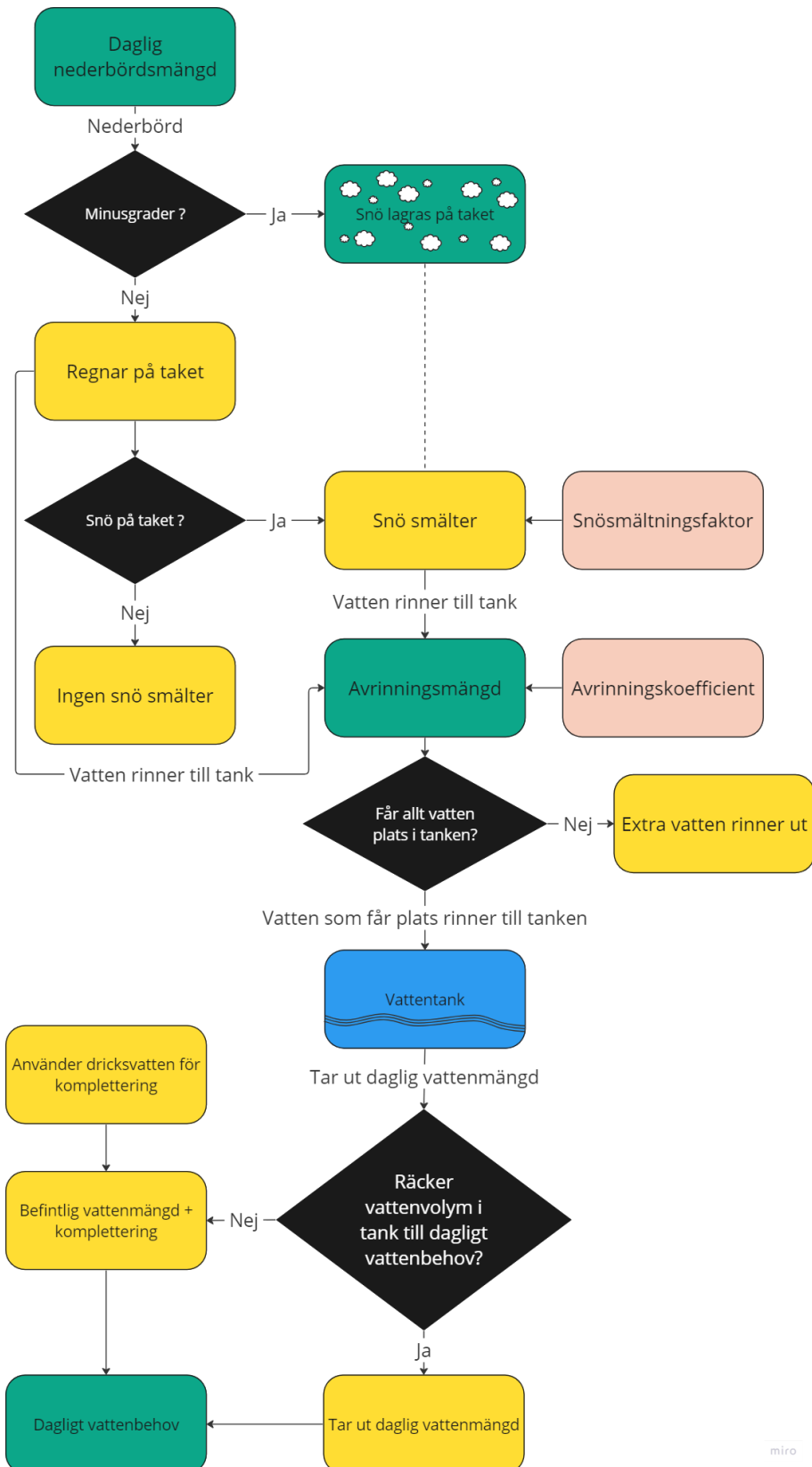
$$\Delta V = \Sigma Inflöde - \Sigma Utflöde \quad (1)$$

Dimensioneringsverktyget återspeglar ett system av en vattenbalansmodell. Vattenbalansmodellen kör igenom det meteorologiska datasetet dag för dag. Modellen tar i beaktning vilken typ av nederbörd (regn/snö) som faller. Är det minusgrader lagras nederbörd i form av snö på taket utan förluster. Om det är plusgrader smälter snön efter HBV:s snösmältningsmetod (Lopez et al. 2020). Regnar det samma dag så kommer den gemensamma avrinningen bestå av smält snö samt den mängd nederbördsregn som sker den dagen. Modellen undersöker om daglig avrinningsmängd får plats i vattentanken. Om inte allt vatten får plats i vattentanken rinner överskottet som inte får plats ut, så kallad bräddning. Det vatten som får plats lagras i vattentanken. Vid slutet av varje dag kommer vattentanken att tömmas med den vattenvolym som användaren angav som dagligt återvinningsbehov av regnvatten. Om den mängd vatten som finns i vattentanken räcker till att täcka det dagliga behovet för enskild dag kommer den mängden att tömmas. Skulle inte vattenmängd i vattentanken räcka för dagligt behov kommer vattentanken att tömmas och återstående behovsmängd kommer att behöva hämtas från annan vattenkälla (dricksvatten). Ett flödesschema över hur vattenflödet är i vattenbalansmodellen visas i figur 5 nedan.

Vid simuleringen av dimensioneringsverktyget så registreras statusen för olika delar i vattenbalansmodellen. De delar i vattenbalansmodellen som registrerades under varje tidssteg är följande:

- Avrinningsvolym från takyta (regn och ev. smält snö) under varje tidssteg.
- Mängd snö som eventuellt finns lagrat på taket under varje tidssteg.
- Eventuell vattenmängd som inte får plats i vattentanken under varje tidssteg.
- Vattenmängd som används från vattentank under varje tidssteg.
- Volym vatten i vattentank under varje tidssteg.

Efter en vattenbalanssimulering skapas ett dataset med årsmedelvärde för de olika registrerade värdena. Detta gjordes i detta fall genom att ta medelvärdet för varje enskild dag ur de nioåriga datasetet. Exempelvis beräknades genomsnittlig avrinningsvolymen till tanken för tidpunkterna 2014-01-01, 2015-01-01, ... , 2021-01-01, 2022-01-01 i simuleringen. Sedan gjordes samma sak för nästa dag (2014-01-02 - 2022-01-02) och vidare för att få fram ett årsmedelvärde av vattenbalanssimuleringen. När daglig medelsvärdebildning över flera år var framtaget beräknades också genomsnittliga värden för varje enskild månad.



Figur 5: Illustration av vattenbalansberäkningen i recirkuleringskartan. Gröna och blåa rutor representerar stadie där vatten finns. Gula rutor representerar händelser och rosa rutor visar vart snösmältningsfaktorn och avrinningskoefficienten implementeras. Svarta romber representerar val och pilar visar relationer mellan rutorna.

Följande antaganden gjordes vid uppbyggnad av vattenbalansmodellen:

- Vid simulering antas att systemets tak och avledningsnät inte har några vattenförluster när det kommer till läckage.
- Simuleringen startar med att det inte är något vatten eller snö på taket.
- All snö som landar på taket stannar kvar.
- Simuleringen startar med att 80% av vattentanken är fylld. Detta för att kunna ta ut vatten direkt vid simuleringens start.
- Allt vatten fylls på i vattentanken i början av ett dygns iteration medan allt uttag från vattentanken sker i slutet av samma dygnsiteration. Därmed tas inte hänsyn till hur vattennivåerna i tanken varierar under ett och samma dygn.
- Det sker ingen avdunstning från tanken då den antas vara sluten.

3.3.2 Beräkningsrutin vattenbalans

För beräkningar av vattentillgången i vattentanken så sattes en vattenbalans upp för att få fram volym i vattentank under varje tidssteg enligt ekvation 2. Vattenvolymen i tanken är vattentankens volym från föregående tidssteg plus avrinningsvolym (nederbörd i form av regn och ev. smält snö från tak) för det aktuella tidssteget. Från denna volym subtraheras vattenanvändning samt det vatten som eventuellt rinner av (bräddar) om tanken är full innan det rinner in i tanken. Vattenbalansmodellen tar alltså hänsyn till vattentankens storlek.

$$V_t = V_{t-1} + A_t - U_t + \ddot{O}_t \quad (2)$$

V_t är volym vatten i vattentanken under beräknat tidssteg. V_{t-1} är volym vatten i vattentanken under tidssteget innan. A_t är avrinningsvolym under tidssteget (nederbörd i form av regn och ev. smält snö från tak). U_t är den mängd vatten som tas ut från vattentanken under tidssteget. $\ddot{O}_t$ är den eventuella mängd vatten från avrinningsvolymen under tidssteget som blir överskott och som inte får plats i vattentanken. Se ekvation 3 för beräkning av $\ddot{O}_t$, där beräknas utrymmet som finns kvar i tanken minus avrinningsvolymen. Beräknas $\ddot{O}_t$ till ett negativt värde sker ett överflöde. Om $\ddot{O}_t$ ger ett positivt värde ersätts värdet med noll. $\ddot{O}_t$ kommer därmed alltid innefatta ett negativt värde vid eventuellt överflöde.

$$\ddot{O}_t = \begin{cases} \text{tankstorlek} - V_{t-1} - A_t, & \text{om tankstorlek} - V_{t-1} - A_t < 0 \\ 0, & \text{om tankstorlek} - V_{t-1} - A_t \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Det är från vattenbalansen i ekvation 2 som registreringen för den temporära statusen sker under varje tidssteg. Dessa är avrinningsvolym från tak (regn och ev. smält snö), A_t . Eventuell vattenmängd som inte får plats i vattentank rinner av, det bräddar, $\ddot{O}_t$. Vattenmängd som används från vattentank under varje tidssteg, U_t . Volym vatten i vattentank under varje tidssteg, V_t . För beräkning av mängd dricksvatten som behövs från annan källa beräknas differensen mellan angivet behov från användaren med hur mycket vatten som faktiskt tas ut från vattentanken.

För beräkning av magasineringsvolym, $M.vol_t$ (m^3) vid tidssteg t , beräknas differensen mellan avrinningsvolym och volym vatten som eventuellt inte får plats i vattentanken. Se ekvation 4 för uppsättning av ekvation för magasineringsvolym.

$$M.vol_t = A_t + \ddot{O}_t \quad (4)$$

En tabell med samtliga parametrar som används vid beräkningar tillhörande dimensioneringsverktyget finns i appendix A.3 i tabell A1.

3.3.3 Beräkning av avrinningsvolym från taket

För beräkningar av dygnsvis avrinningsvolym A_t , utgick beräkningen från Svenskt Vatten P110, rationella metoden (Svenskt Vatten 2019). Rationella metoden används för att göra kontroller och ge uppskattning av maximala flöden för områden. För att rationella metoden ska gälla krävs att avrinningskoefficienter är relativt jämfördelade över hela området och att avrinningstiden är relativt lika över hela området. Rationella metoden fungerar bäst vid områden mindre än cirka 20 hektar. Valet av avrinningskoefficient bör göras utifrån vilken yta som avrinningen sker på (ibid.).

Avrinningsvolym A_t , från takytor beräknades enligt ekvation 5 i vattenbalansmodellen. Nederbörd- och temperaturdata som användes från SMHI var per dygn. Avrinningskoefficienten bestäms i dimensioneringsverktyget av användare och kan väljas mellan 0.7 - 0.9. För uträkning av smält snö från hustaket beräknades en snösmältningsfaktor enligt avsnitt 3.3.5. De två termerna, avrinningsvolym från regn och eventuell mängd smält snö adderades ihop och multiplicerades med takarean och avrinningskoefficient, se ekvation 5. Om mängd smält snö var större än mängd snö på taket användes den snö som fanns på taket. Fanns det mer snö på taket än som skulle smälta vid det tidssteg användes beräknad mängd smält snö M_s . Fanns det inget snö på taket vid tidssteg t så smälte ingen snö.

$$A_t = A \cdot \varphi \cdot \left(\frac{N_t}{1000} + \frac{M_s}{1000} \right), \quad N_t = \begin{cases} N_t, & \text{om } T > 0 \\ 0, & \text{om } T \leq 0 \end{cases}, \quad M_s = \begin{cases} S_t, & \text{om } M_s > S_t \\ M_s, & \text{om } M_s \leq S_t \\ 0, & \text{om } S_t = 0 \end{cases} \quad (5)$$

A_t är avrinningsvolym (m^3), A är takarea (m^2), φ är avrinningskoefficient, N_t är nederbörds mängd (mm) för ett tidssteg och som omvandlas till (m). T är lufttemperaturen ($^{\circ}C$)

för tidssteget. M_s är mängd smält snö (mm vatten) som omvandlas till (m). S_t är mängd snö (mm) som ligger på taket under tidssteg t . S_t är dynamisk med hur mycket snö som tillkommer och smälter bort. Vid en temperatur under eller lika med noll grader kommer nederbörd tillkomma på taket (S_t) i form av snö. Vid plusgrader kommer snö smälta från S_t i storlek med snösmältningsfaktorn 3.3.5.

3.3.4 Avrinningskoefficient

För att göra vattenbalansmodellen mer korrekt behöver en avrinningskoefficient (φ) anges. Avrinningskoefficient är en koefficient som anger hur mycket av fallande nederbörd som rinner av från området efter förlorade mängd vatten. Den förlorade vattenmängden sker i form av växtlig absorption, avdunstning av vatten, infiltration och mindre magasinering på grund av oregelbundenhet i ytan. Avrinningskoefficienten är alltid mellan noll och ett, där ett innebär full avrinning utan förluster och noll att inget vatten rinner av alls från ytan. För taktytor har svenskt vatten använt 0,9 som avrinningskoefficient (Svenskt Vatten 2019). Avrinningskoefficienten för taktytor kan variera mellan 0.7 - 0.95 (Aysha 2022). Förhållanden som takmaterial, lutning, säsong på året och takuppbyggnad är alla anledningar till olika uppskattningar av avrinningskoefficient för taktytor (ibid.). I en annan studie gjord i Spanien diskuteras också problematiken av att hitta ett korrekt värde för avrinningskoefficient. Där användes ett spann mellan 0.7 - 0.95 (Farreny et al. 2011). Består en avrinningsyta av olika material kan en sammanvägd avrinningskoefficient beräknas (Svenskt Vatten 2019). Då dimensioneringsverktyget inte tar hänsyn till vilka olika typer av ytmaterial som taken består av behöver ett generellt värde väljas. Användaren kan bestämma avrinningskoefficient mellan ett intervall på 0.7 och 0.9.

3.3.5 Snösmältning

Till modellen ansattes även en snösmältningsfaktor. Detta för att ta fram hur mycket snö som smälter från taket under ett dygn. HBV:s modell för snösmältning användes som snösmältningsfaktor (Lopez et al. 2020). HBV-modellen togs fram för att spegla samspelet mellan meteorologiska händelser med vattenförhållandet på marken (SMHI 2023).

I HBV-modellen för snösmältning används en ekvation för att ta fram hur mycket snö som smälter under ett givet dygn beroende på temperaturen i luften.

$$M_s = C_0 \cdot (T - T_t) \quad (6)$$

M_s är mängd snö (mm) som smälter per dag. C_0 är "graddagsfaktor" (mm/°C och dag). T är lufttemperaturen (°C), T_t är tröskeltemperatur varvid snö smälter (°C). Med denna ekvation kan man få fram hur mycket snö som har smält under ett dygn (Lopez et al. 2020). Graddagsfaktor för smältning C_0 sattes till 3.5 mm/°C och dag. Tröskelvärde för snösmältning T_t sattes till 0°C (Rodhe et al. 2006).

För en mer exakt snösmältningsmodell krävs en balansuppsättning av energibudgeten. Då en sådan exakt snösmältningsmodell inte bedöms nödvändig, användes graddagsmetoden enligt ovan. Då graddagsmetoden är baserat på lufttemperaturen blir det mer korrekt att använda timvis temperaturdata istället för dygnsvis (Valeo & Ho 2004). Dygnsvis data valdes trots allt då det inte fanns komplett dataset för timvis data. Dygnsvis temperatur anses dessutom vara tillräckligt noggrant vid uppsättning av en snösmältningsmodell enligt

(Valeo & Ho 2004). Generellt så stannar inte all snö på taket. I vissa fall kan snö komma att skottas av från taket. I andra fall kan lutningen av hustaket leda till att delvis eller att all snö åker ner på marken. I denna modelluppsättning antogs all snö stannar kvar på taket.

3.3.6 Behovstäckning av olika tankstorlekar

För att analysera olika tankstorlekars behovstäckning (Water saving efficiency WSE), vilket är andel av behov regnvatten som utnyttjas, beräknades kvoten mellan volym återanvänt regnvatten mot regnvattenbehov (Villarreal & Dixon 2005). En behovstäckning på 80% anses vara mest lämplig. Om större behovstäckning önskas riskerar tankstorleken att bli betydligt större. Relationen mellan behovstäckning och tankstorlek tenderar att öka logaritmiskt (Santos & Taveira-Pinto 2013). I ekvation 7 beskrivs beräkning för detta.

$$WSE = \frac{U_{Gen.snitt.år}}{B_{år}} \quad (7)$$

WSE är vattentankens behovstäckning. $U_{Gen.snitt.år}$ (m^3) är genomsnittlig mängd vatten som utnyttjas från vattenmagasinet för ett år. $B_{år}$ (m^3) är önskat regnvattenbehov för ett år och beräknas genom att omvandla det dagliga regnvattenbehovet som användaren anger i dimensioneringsverktyget.

3.3.7 Beräkning av användningstillfällen

Efter att en simulering är genomförd finns det information om hur mycket regnvatten som är möjligt att återanvända i genomsnitt per månad. I dimensioneringsverktyget anger användaren längst ner i verktyget hur många liter en toalettspolning, tvätt eller bevattning förbrukar per användningstillfälle. Med den informationen kan beräkningar av antal användningstillfällen för olika förbrukningsområden genomföras. Hur många gånger ett användningsområde kan tillgodoses beräknas enligt ekvationen nedan, se ekvation 8. Där $U_{mån}$ (m^3) är upptagen volym vatten från vattentanken under en månad. Beräkningarna görs enskilt för olika användningsområden.

$$\text{Antal användningstillfällen} = \frac{U_{mån} \cdot 1000}{\text{Liter per tillfälle}} \quad (8)$$

3.4 Streamlit

För att kartverktyget och dimensioneringsverktyget ska bli tillgängligt för användare behövdes en webplattform. Tidigare på Tyréns i Drizzleprojektet har Streamlit.io (streamlit.io 2024) använts för utveckling av olika plattformar och beräkningsverktyg. Streamlit gör det enkelt att skapa webbapplikationer för projekt som man vill driva. Därmed valdes Streamlit som verktyg för att låta användare interagera med verktygen. Kartverktyget integrerades i Streamlit genom att låta kartans html-fil projicerades i Streamlit genom metoden `st.components.v1.iframe`. Detta innebär att kartverktyget är en egen hemsida som läggs in i Streamlit-sidan. Kartverktyget och dimensioneringsverktyget kommunicerar

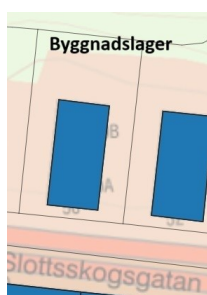
därmed inte mellan varandra. Dimensioneringsverktyget skrevs i programmeringsspråket Python och integrerades med Streamlit genom att kalla på Python-filen där dimensioneringsverktyget skrevs i. På Streamlit kan användaren interagera med kartverktyget genom att klicka på kartan med musen. Användaren interagerar med dimensioneringsverktyget genom att fylla i den indata som önskas användas för att köra simuleringar. På Streamlit-sidan presenteras resultaten för användaren över möjligheter att återanvända regnvatten efter angiven indata. Begreppet recirkuleringskartan innefattar både kartverktyget och dimensioneringsverktyget som ligger i Streamlit.

4 Resultat

En komplett visning över hur recirkuleringskartan ser ut i sin helhet finns i appendix, se A.2. Nedan presenteras de olika delarna i mer detalj. En inspelad video där recirkuleringskartan används går att se i följande länk: [Inspelad video](#).

4.1 Kartverket

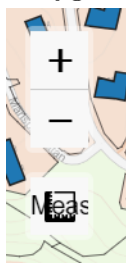
I recirkuleringskartan så ligger kartverket överst. Kartverket är en dynamisk karta som låter användaren ta fram area för den takyta som kan användas till dimensioneringsverket. I kartan representerar blått lager byggnader och grönt lager representerar fastigheter. I byggnadslagret är varje byggnad enskild. I fastighetslagret är alla byggnader inom samma fastighetsområde en fastighet. Svarta tunna linjer visar fastighetsgränserna och i bakgrunden ligger den topografiska webbkartan som är nedtonad i färgintensitet, se figur 6a och figur 6b nedan. Uppe i vänstra hörnet kan man zooma i kartan, det går även att zooma med hjälp av datormusen. Zoomknappar samt polygonverket ligger också uppe i vänstra hörnet, polygonverket knapp är en linjal med text "Meas", se figur 6c. Vilket lager som visas i kartan är förvalt och kan ändras med knappen uppe i högra hörnet. I figur 6d visas de två olika lager som finns att välja mellan. Om båda lagren är ifyllda är det alltid lagret för byggnader som visas. När enbart byggnadslagret är valt av de två olika lagren blir polygonverket tillgängligt för användaren. För att få veta information om takytan klickar användaren på önskad byggnad eller fastighet, eller använder polygonverket uppe i vänstra hörnet. Användaren kan förflytta sig i kartan genom att hålla inne vänster musknapp för att sedan dra sig runt på kartan.



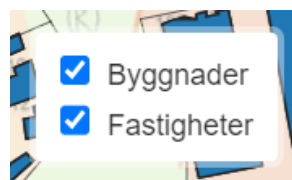
(a) Det blå byggnadslagret i kartverket.



(b) Det gröna fastighetslagret i kartverket.



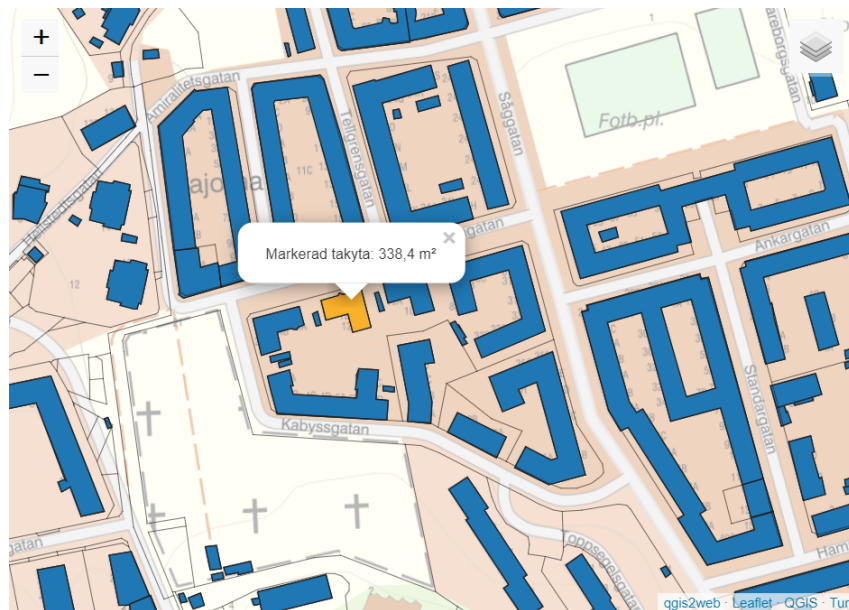
(c) Knappar för zoom och aktivering av polygonverket.



(d) De två olika lagren som finns i kartan.

Figur 6: Kartlager samt knappar för att justera kartan efter behov, så som zoom, val av lagerfil eller aktivering av popolygonverket.

I figur 7 syns ett exempel på där en byggnad är vald i kartverktyget. Byggnaden som är vald lyser upp i orange färg och ett pop-up-fönster dyker upp med tillhörande takarea i kvadratmeter.



Figur 7: Byggnadslager som finns som alternativ i kartan.

I figur 8 används fastighetslagret för att få fram total takarea för samtliga byggnader inom ett fastighetsområde. I exemplet lyser fastighetsbyggnader upp och deras sammanlagda takarea i kvadratmeter.



Figur 8: Fastighetslager som finns som alternativ i kartan.

Ett polygonverktyg finns för kartan. Verktöget används för att kunna dra en polygon över en större yta för att få fram arean för samtliga hustak som ingår i området. Ett

exempel visas i figur 9. Byggnader inom den ljusgröna polygonen lyser upp i orange färg med en tillhörande ruta med tillhörande takarea i kvadratmeter för samtliga byggnader valda med polygonverktyget. Polygonverktyget väljs genom att klicka på knappen under zoomknapparna uppe i vänstra hörnet. Polygonverktyget fungerar endast för byggnadslagret och inte fastighetslaget.



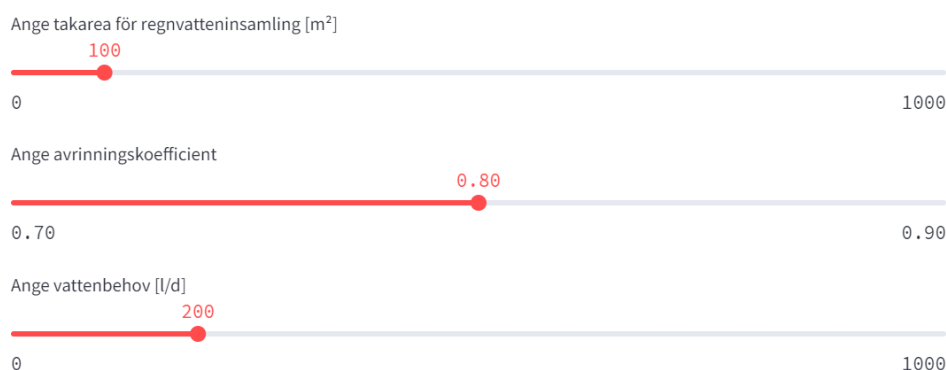
Figur 9: Polygonverktyg som finns som funktion i kartan.

4.2 Dimensioneringsverktyget

Recirkuleringskartans andra del består av dimensioneringsverktyget. Dimensioneringsverktyget låter användare prova olika scenarier för regnvattenanvändning. I verktyget får användaren ange indata vilket genererar resultat i form av grafer och beräkningar på hur mycket regnvatten som kan samlas in och återanvändas.

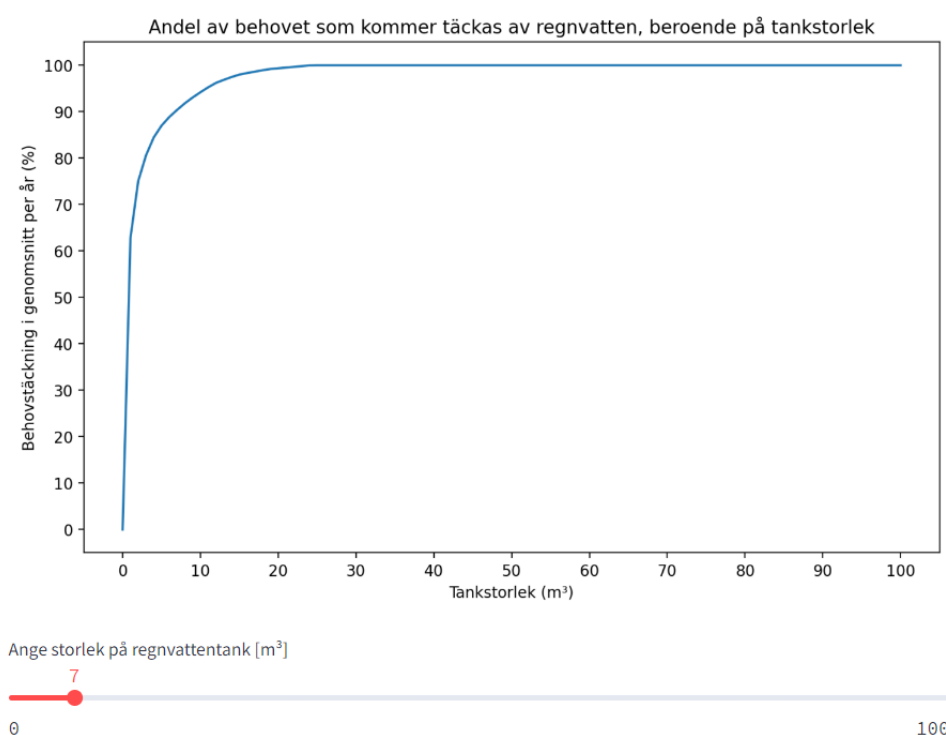
Här presenteras ett exempel på hur användaren använder verktyget och anger värden efter tänkt scenario. Med reglage anger användaren värden till verktyget (figur 10). Här anger användaren att hen har en takyta med area 100 m^2 , avrinningskoefficient på 0.8 och ett vattenbehov på 200 liter/dag.

Scenario för regnvattenanvändning



Figur 10: Användaren anger sina tre parametrar i dimensioneringsverktyget. De tre parametrarna är takarea m², avrinningskoefficient och önskad mängd regnvatten för användning per dag i liter.

Med de angivna parametrarna presenteras sedan en graf för användaren. Grafen visar hur stor andel av behovet som uppfylls beroende på tankstorlek. Under grafen får sedan användaren välja vilken storlek regnvattentanken ska ha för vidare beräkningar. I detta fallet väljer användaren en tankstorlek på 7 m³, se figur 11.



Figur 11: Graf över behov som täcks av regnvatten beroende på olika tankstorlekar. Nedan grafen finns en reglator för användaren att ange vilken tankstorlek som önskas.

Med de nu angivna parametrarna som användaren har valt beräknas möjligheterna för

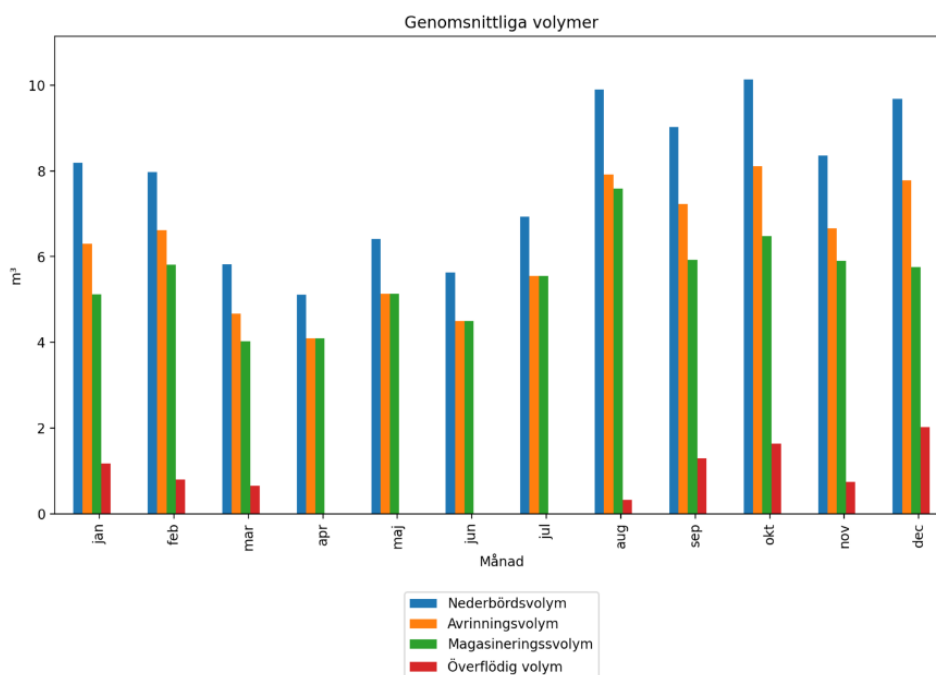
regnvatteninsamling. Resultatet syns i figur 12. Där presenteras årlig nederbördsvolym, avrinningsvolym, magasineringsvolym och överflödig volym. Nederbördsvolym är den vattenmängd som faller på taket. Avrinningsvolym är den volym vatten som rinner av från taket efter förluster. Magasineringsvolym är den volym som får plats och flödar in i vattentanken. Överflödig volym vatten är det vatten som inte får plats i vattentanken och rinner ut. Under de årsgenomsnittliga resultaten presenteras en graf av månadsfördelning för användaren över nederbörd-, avrinning- och magasineringsvolym samt överflödig volym vatten under ett genomsnittligt år. I detta exempel uppkommer inget överflödigt vatten under månader april, maj, juni och juli. Att det inte sker något överflöde (bräddning) under dessa månader beror på att det tillkommer generellt mindre vatten vilket minskar risken att vattentanken fylls. Detta ger användaren nyttig information som kan vara intressant vid installation av ett insamlingssystem av regnvatten. I appendix A.2.1 figur A5 presenteras fördelningen av data som används till grafen i figur 12.

Nederbördsvolym som faller på takyta: 93.2 m³/år.

Avrinningsvolym som insamlas på takyta: 74.5 m³/år.

Magasineringsvolym som samlas in i tanken 65.9 m³/år.

Överflödig volym vatten 8.7 m³/år.



Figur 12: Resultat av uträkningar för årsgenomsnittliga vattenvolymer presenterat för användaren. En graf med genomsnittlig nederbörd-, avrinning- och magasineringsvolym samt överflödig volym vatten per månad.

Fördelningen mellan återanvänt regnvatten från vattentanken mot andel vatten hämtat från annan källa presenteras i figur 13. Användaren presenteras med årligt genomsnitt tillsammans med en graf av månadsvariation. I detta exempel ser man att behovet av dricksvattenanvändning är större under månaderna maj, juni och juli för ett genomsnittsår. Det är bra för användaren att veta, då kan planeringen vid en installation av ett insam-

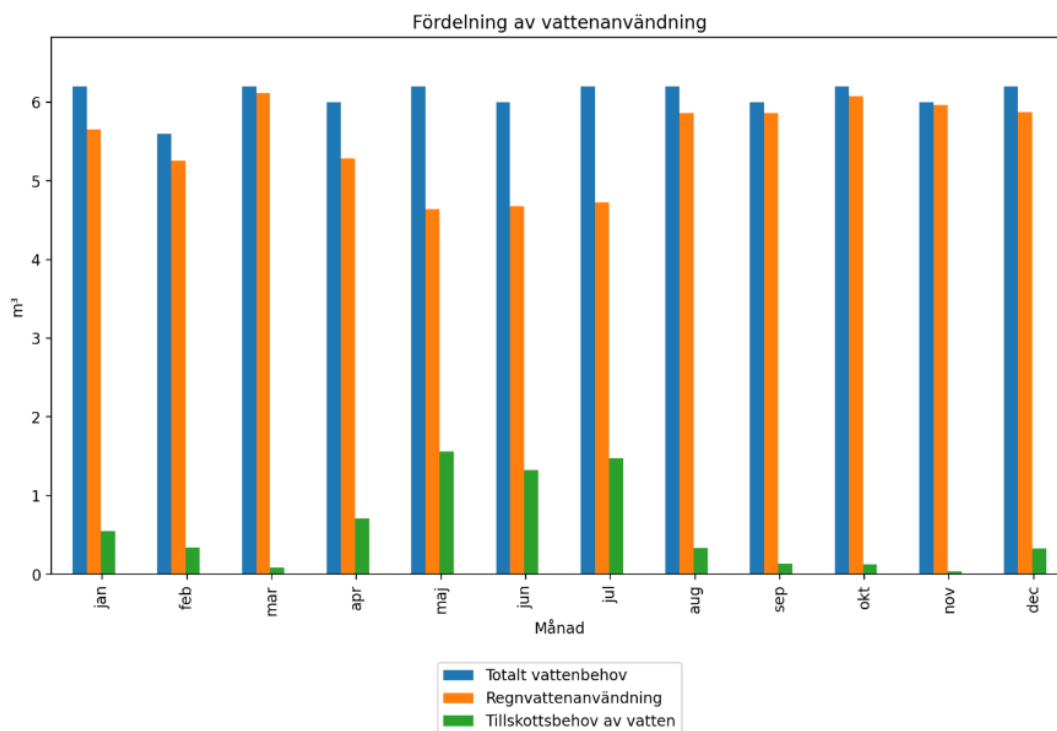
lingssystem av regnvatten göras med vetskapen om att vissa månader kommer ha större vattenbehov från annan källa.

Önskat återanvänt regnvatten till hushåll: 73.0 m³/år.

Volym som hämtas från regnvattentanken: 66.0 m³/år.

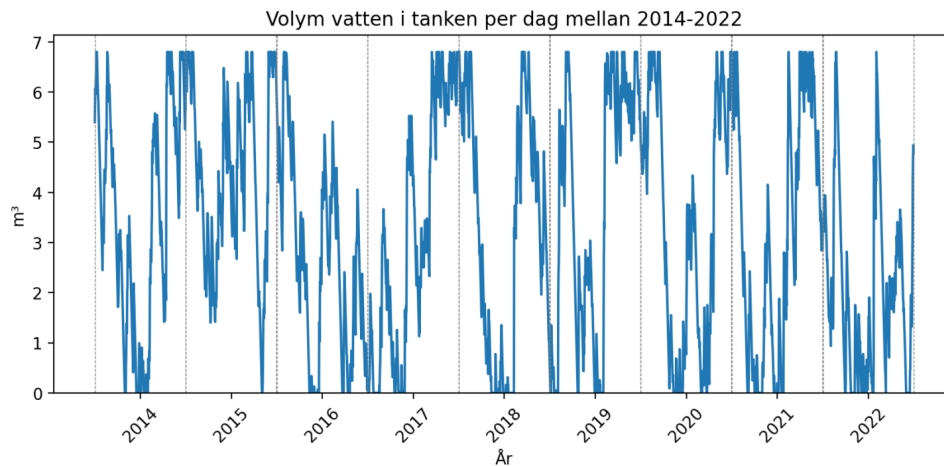
Volym som behövs från annan vattenkälla: 7.0 m³/år.

Andel av behovet som kommer täckas av regnvatten: 90.4 %.



Figur 13: Årsgenomsnittlig och månadsvis fördelning av vattenanvändning, regnvatten eller dricksvatten.

Figur 14 visar användaren hur vattenmängden i vattentanken varierar under åren 2014-2022 i simuleringen för dimensioneringsverktyget. Där kan man se att vissa år och perioder fyller tanken upp mer än under andra perioder. I exemplet ser man att vattentanken mestadels inte fylls till maxkapacitet och att den under vissa perioder är helt tom. Hur vattentanknivån är fördelad mellan åren presenteras med en boxplot i appendix A.2.1, se figur A6. Under samma appendix i figur A7-A9 visas statusen för flera volymer under simuleringen för varje tidssteg. Dessa volymer är vattentanknivå, vattenuttag, överflödigt vatten, magasineringsvatten och avrinningsvatten.



Figur 14: Vattenvolym i tanken under simulering med data mellan 2014-2022.

Verktyget har i stegen innan beräknat hur mycket regnvatten som finns tillgängligt vid varje månad. Detta beroende på den indata som användaren angav, bland annat vattenbehovet (200 liter/dygn). Hur mycket regnvatten som används efter användarens valda värden presenterades i figur 13. I sista delen av verktyget kan användaren ange hur många liter en toalettspolning, en tvätt eller ett bevattningstillfälle använder vid en användning. Med detta kan verktyget beräkna antal användningstillfällen som kan tillgodoses. I exemplet angav användaren 30 liter vatten vid ett användningstillfälle för toalettspolning, 15 liter för tvätt och 50 liter för bevattning. Resultatet av hur många användningstillfällen som vattenbehovet räcker till presenteras i grafen efter att användaren har angivit liter/användningstillfälle. Detta visas i figur 15 nedan. Det insamlade regnvattnet hade räckt till knappt 200 toalettspolningar under januari månad. Alternativt runt 375 för enbart tvättar eller runt 110 bevattningstillfällen under januari månad.

Ta fram enheter av olika användarbehov

Ange hur mycket vatten det går åt vid ett användningstillfälle, för att se vad vattnet kan räcka till.

1: Toalettspolning (liter/användningstillfälle)

30

- +

2: Tvättvatten (liter/användningstillfälle)

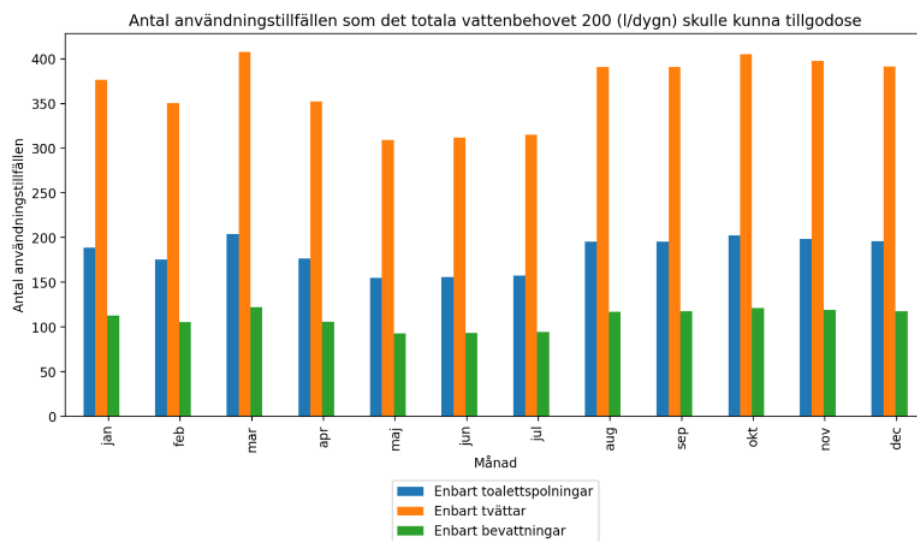
15

- +

3: Bevattning (liter/användningstillfälle)

50

- +



Figur 15: Antal användningstillfällen som skulle kunna tillgodoses av enbart toalettspolningar, tvättar eller bevattningstillfällen med det totala vattenbehovet 200 (liter/dygn).

5 Diskussion

5.1 Kartverktyget

Med kartverktyget finns det goda möjligheter att snabbt och enkelt få fram takarean för olika byggnader eller fastigheter. Detta gör det smidigt för användaren att ange takarea i dimensioneringsverktyget om hen inte vet om den sedan innan. Kartverktyget underlättar också för användare att kunna jämföra olika tak med varandra direkt. Då kartverktyget har enkel och tydlig funktionalitet är det inte svårt för användare att direkt förstå hur kartverktyget fungerar. Det första delmålet i projektet innefattade att skapa en interaktiv karta för att få fram takarea för byggnader, fastigheter eller total takarea för flera stadsområden samtidigt med hjälp av ett polygonverktyg. Med den interaktiva kartan är framtagning av takarea för byggnader, fastigheter eller med hjälp av ett polygonverktyg möjligt. Därmed har det första delmålet i syftet uppnåtts.

När fastighetslagret i kartverktyget togs fram så gjordes det i FME, där byggnadspolygonerna kopplades ihop med fastighetsavgränsningarna. Men då vissa byggnader har en viss andel av byggnadsområdet innanför och en viss andel utanför byggnadsområdet är det inte helt perfekt. Om majoriteten av byggnaden låg innanför ett fastighetsområde så beslutades det att den tillhörde den fastighetsavgränsningen och vice versa. I verkligheten kan det vara så att vissa byggnader egentligen inte tillhör ett fastighetsområde som kartan visar. Eftersom det inte fanns något fastighetsnummer kopplat till byggnaderna i fastighetsfilen gick det inte att avgöra bättre. Därmed blev nuvarande lösning bästa alternativet för att koppla byggnader till olika fastighetsområden.

När man använder polygonverktyget så dyker det upp en relativt stor ruta i kartan som informerar vilka koordinater som användaren trycker på. Om det går att minska storleken på denna ruta kommer det bli lättare att navigera i kartan under tiden som man använder polygonverktyget. För tillfället är polygonverktyget enbart tillgängligt för byggnadslagret och inte fastighetslagret. Detta beror på hur polygonverktyget väljer vilka byggnader som är innanför området som ritas upp med verktyget. Då fastighetsfilen har flera byggnader som i vissa fall kan ligga relativt långt ifrån varandra var det inte möjligt att implementera polygonverktyget för det lagret.

5.1.1 Utveckling av kartverktyget

Arbetet av kartverktyget var startprototypen för ett mindre avgränsat område, i detta fall Majorna i Göteborg. Ett vidare steg i arbetets utveckling är att utvidga kartan så att den täcker samtliga områden i Sverige. För att genomföra det arbetet behöver inköp av kartor från Lantmäteriet genomföras. Då GIS-filerna i ett sådant inköp blir relativt stort behövs ett förhållningssätt för att skapa en karta som inte har störningar eller långa laddningstider. Ett sätt för att kringgå detta problem är att skapa delområden, förslagsvis landskapsvis eller kommunvis. Sedan får användaren i ett första skede ange vilket område, landskap eller kommun för att komma till rätt karta.

Då kartfilerna från Lantmäteriet är nedladdade kommer inte kartan att uppdateras om förändringar görs i området. Det kan vara nya byggnader, ombyggnationer eller att byggnader rivs ner. Ett sätt att hantera det är att koppla upp kartan till Lantmäteriets

applikationsprogrammeringsgränssnitt (API). Det som sker då är att om Lantmäteriet förändrar kartfilerna kommer det direkt att ändras i kartan också. Men då kartfilerna redigerades i QGIS och FME för att få fram area samt paketerades i QGIS med hjälp av qgis2web så kommer dessa steg fortfarande behöva genomföras. Om det går att automatisera dessa delar i QGIS så vore det ett bra steg för att förhoppningsvis kunna direkt uppdatera kartverktyget när Lantmäteriet gör förändringar i filerna.

För tillfället används kartan enbart för att få fram arean för takytor. Vid utveckling av kartverktyget kan arean för hårdlagda ytor också vara en möjlig del av kartan. Därmed skulle man kunna beräkna möjligheten för regnvatteninsamling på dessa ytor också. Skulle kartverktyget i framtiden utvecklas är det också viktigt att ha med aspekten över internationella möjligheter. Hur skulle kartfiler från andra länder kunna implementeras och bli en del av kartverktyget.

5.2 Dimensioneringsverktyget

Med dimensioneringsverktyget sammanställs data på hur mycket regnvatten som går att samla in samt hur mycket som kommer till nytta i förhållande till behov. Det presenteras både som årligt genomsnitt och genomsnittlig månad. Användaren får även information om hur vattenvolymen i tanken ser ut under simuleringen och det ges möjlighet att få fram hur många användningstillfällen olika områden kan tillgodoses. Dessa resultat och siffror ger användaren direkt en bra uppfattning över hur mycket regnvatten som finns att utnyttja efter angiven indata. Resultaten kan användare sedan direkt sätta i förhållande till sina egna behov och därmed kunna dra slutsatser för vad som önskas göra med potentiell mängd regnvatteninsamling. Det andra delmålet i projektet innefattade att sätta upp ett dimensioneringsverktyg i form av en vattenbalansmodell för beräkning av insamlade och utnyttjade vattenvolymer regnvatten. Med framtagning av en dimensioneringsverktyget så har beräkningar av insamlade och utnyttjade vattenvolymer regnvatten kunnat verkställas. I och med dessa resultat så har delmål nummer två uppnåtts.

Från figur 11 ser vi en logaritmisk ökning av täckt regnvattenbehov med ökande vattentankstorlek. Det är också synligt att om man vill täcka 100% av regnvattenbehovet krävs det att en relativt stor vattentank används. Enligt Santos & Taveira-Pinto (2013) är den mest lämpade tankstorleken när behovstäckningen ligger runt 80%. Detta verkar rimligt då med en högre effektivitet så kommer en alltför stor tankstorlek att behöva väljas. En effektivitet runt 80% är alltså ett mer optimalt val av vattentank när man ska välja tankstorlek. Dimensioneringsverktyget simulerar för tankstorlekar mellan 1-100 m³ och sedan presenterar hur stor andel av regnvatten som täcker upp det regnvattenbehov som användaren angivit. Detta gör valet att hitta en passande tankstorlek enkelt och smidigt för användaren.

Avrinningskoefficienten kan anges i intervallet 0.7 - 0.9. Spannet ger användaren möjlighet att anpassa modellen efter sina mer specifika förutsättningar. Detta är rimligt att ha med som valmöjlighet då ett korrekt värde för avrinningskoefficient varierar beroende på olika förhållanden (Farreny et al. 2011). En aspekt som diskuterades under arbetet med dimensioneringsverktyget kopplat till avrinningskoefficienten var huruvida användaren kommer ha kunskap om takytans avrinningskoefficient. En möjlighet är att ha med text i verktyget som förklarar kort om avrinningskoefficient och hur olika värden speglar

verkligheten. Ser man på figur 12 är det tydligt att all nederbörd som faller på takytan inte kommer till vattentanken. Detta beror på vilken avrinningskoefficient som anges. Denna figur är bra för att visa användare hur avrinningskoefficienten påverkar förhållandet mellan nederbörd och faktisk avrinningsvolym. I appendix A.2.1 figur A5 syns fördelningen av figur 12. Fördelningen visar att det sker variation mellan åren för de olika månaderna. En månad som februari har större variation jämfört med exempelvis april. För att få in fler datapunkter för varje månad behöver det dataset som används vid simuleringen utökas. Då det saknas fullständig meteorologisk data för år tidigare än 2014 valdes de bort. I dimensioneringsverktyget visas enbart medelvärde och inte fördelningen. Det kan vara värt att överväga om fördelningen kanske borde visas för användaren med. Det skulle visa användaren att resultaten kan variera mellan olika år. Med en årsvis fördelning så skulle samband och slutsatser kring hurvida klimatförändringar påverkar och i så fall i vilken utsträckning regnvatteninsamling. Detta i sin tur skulle göra det tydligare för användaren att verktyget endast ger riktlinjer över möjligheterna för regnvatteninsamling- och återanvändning.

Från den mer innehållsrika figuren från appendix A.2.1 figur A7 går det att se hur simuleringen är under varje tidssteg. Det är intressant att se hur vattennivån i tanken förändras med avrinningsvolym och det hjälpte även till vid utvecklingen av verktyget för att förstå simuleringen.

Ett av antaganden i simuleringen var att starta med en 80% fylld vattentank. Detta startvärde valdes för att undvika uppstartsperioden som hade tillkommit om vattentanken startade tom vid simuleringen. En annan lösning hade varit att användaren själv skulle få ange hur mycket av tanken som skulle vara fylld eller inte från starten av simuleringen. Ett annat sätt vore att tillämpa en uppstartsperiod. Ett dataset, förslagsvis två år, skulle då få vara en uppstartsperiod. Vattentanken startar tom i detta fallet och så körs simuleringen för de första två åren. Vattennivån som är i tanken i slutet av uppstartsperioden blir då startnivån i vattentanken för resterande år som ännu inte har simulerats. Vattentanken skulle då ha en mer realistisk mängd vatten i tanken från start. Detta istället för att börja med 80% som gjordes i detta fall.

5.2.1 Utveckling av dimensioneringsverktyget

Modellen skulle bli mer exakt om man använde timvis data vid simulering. Detta är framförallt intressant om man vill ta ut regnvatten vid olika tidpunkter på dygnet. Just nu tar modellen ut hela det dagliga regnvattenbehovet samtidigt. I en vidareutveckling av verktyget skulle användaren kunna få ange behov av vatten vid olika tidpunkter på dygnet. I så fall skulle timvis data vara av värde att implementera.

Om användaren skulle ange mer specifik information om takytan så hade en mer korrekt avrinningskoefficient kunna beräknas. Information om takytan skulle kunna vara lutning på tak, andel grönyta och varierande ytskikt. En mer specifik avrinningskoefficient kommer ge användare en mer rättvis bild över hur verktyget speglar verkligheten i användarens fall.

För tillfället är snösmältningsmodellen i dimensioneringsverktyget baserad på att all snö lagras kvar på taket. Detta är inte alltid fallet i verkligheten, exempelvis brukar snön rasa

ner från branta tak eller ifrån plåttak. Vid en vidareutveckling av dimensioneringsverktyget skulle snösmältningsmodellen behöva revideras. Förslagsvis så skulle vidare undersökning kunna granska hur stor andel av snö som generellt faller från taket beroende på olika förutsättningar. Alternativt kan användaren ges en möjlighet att ange om snö på taket ska försvinna och isåfall hur mycket.

Just nu är regnvattenbehovet, per dag, beräknat att vara detsamma under hela året. En förbättring hade varit om användaren istället hade kunnat ange alternativt regnvattenbehov för olika månader. Det kan vara så att man som användare enbart är intresserad av regnvatten under sommarperioden. Då hade en månadsvis angivelse av regnvattenbehov blivit mer korrekt efter användarens behov.

Hur dimensioneringsverktyget presenteras för användaren har stor betydelse för utfallet. Användare har olika kunskapsnivåer i ämnet och det kan avgöra vart som eftersträvas i verktyget. En privatperson med mindre erfarenhet inom regnvatteninsamling kan komma att ha svårt att avgöra hustakets avrinningskoefficient. Medans på ett konsultföretag med expertis i ämnet hade flera delar i verktyget kunnat få ändras på. Därav skulle recirkuleringskartan kunna ta och utvecklas olika beroende på användare. Det skulle då exempelvis kunna finnas två olika versioner av verktyget. En för privatpersoner och en för experter i ämnet.

En annan del i att utveckla vidare verktyget handlar om dimensioneringsverktygets upplägg. Vissa användare har som intresse att få reda på hur mycket regnvatten som krävs för att få ut en viss del vatten per dag. Medans andra vill veta hur många toalettspolningar som kan besparas med hjälp av insamlat regnvatten. För att komma runt detta skulle ett formulär med frågor vara det första som möter användare. Där kan användare få ange vilka ingångsvärden som är av intresse. När det är besvaret kan olika versioner av dimensioneringsverktyget att presenteras utefter hur användaren svaret i formulärets frågor. Ett exempel på hur dimensioneringsverktyget hade kunnat skrivas om är att låta användare i början ange hur mycket olika användningsområde förbrukar per dag. Den totala dagsförbrukningen kan då ersätta den befintliga delen i verktyget där användare ska ange total förbrukning regnvatten per dag.

5.3 Sammansättning av verktygen

Det tredje delmålet innefattade att implementera kartverktyget med dimensioneringsverktyget i applikationsprogrammet Streamlit och applicera funktionalitet för att visualisera tillgångar. Under arbetets gång har kartverktyget och dimensioneringsverktyget implementerats i Streamlit. Sammanställningen av dessa verktyg på Streamlit har utformats på ett smidigt sätt och har tillsammans blivit recirkuleringskartan. En dialog har förts med Tyréns för att lägga till enklare typer av funktionaliteter för att visualisera tillgångarna av regnvatten i Streamlit. Funktionaliteter som val av avrinningskoefficient och tankstorlek har varit önskade av företaget. Via dialog har data och grafer valts ut som önskats presenteras för användare. I och med detta har delmål nummer tre uppnåtts.

Streamlit har givit användaren möjlighet att komma åt verktyget och interagera med det. Eftersom att Tyréns använder sig av Streamlit för en vidare verktygutveckling i

Drizzleprojektet var det värdefullt att få in recirkuleringskartan i Streamlit. Streamlit gör det möjligt att snabbt skapa applikationer och hemsidor för att få ut program som utvecklas. Nackdelen med Streamlits enkla och snabba sätt att skapa detta är den begränsade friheten och möjligheten att ändra utseende på hemsidan precis som man vill. Det finns ramar och gränser för vad som går att genomföra. Därmed kan det vara en god idé i framtiden att undersöka alternativa sätt att få verktygen tillgängliga för användare. Det skulle kunna vara så att man vill anpassa verktyget mer än vad Streamlit erbjuder.

För tillfället projiceras kartverktyget på Streamlit via *st.components.v1.iframe*. Vad det betyder är att kartverktyget i sig är en egen hemsida som speglas i Streamlit-sidan. Detta medför att kartan inte kommunicerar med dimensioneringsverktyget. Användaren måste själv fylla i takarean som läses av på kartverktyget. Vill man istället att kartverktyget skickar information om arean direkt till dimensioneringsverktyget måste en del kod skrivas om. En potentiell lösning är att skriva om kartverktyget direkt i Python istället. Detta undersöktes i början av arbetet med valdes bort för att komma framåt i projektet.

Eftersom arbetet bygger på flertal programmeringspaket och program finns det osäkerheter i tillgängligheten av dessa program. Vill man göra om delar i uppsättningen av verktyget kan nya uppdateringar eller borttagning av dessa paket och program leda till besvär. Till viss del är detta alltid en risk när man utvecklar produkter med hjälp av andra mjukvaror. Ett sätt att minska riskerna för detta är att välja säkra metoder. Att välja QGIS, Leaflet och Streamlit som alla är vanliga och stabila program underlättar och minskar risken att stöta på problem vid vidareutveckling av recirkuleringskartan.

5.4 Utvärdering av recirkuleringskartan

Recirkuleringskartan består av två delar, kartverktyget och dimensioneringsverktyget. Skulle de två verktygen få mer tid för utveckling finns det goda förutsättningar till att få fram ett robust och användningsbart helhetsverktyg för flera parter. I tidigare studier har fokus kretsats kring att analysera lämpliga platser för dagvatteninsamling på hårdgjorda ytor vid användning av GIS-verktyg (Sayl et al. 2020). I en studie av Villarreal & Dixon (2005) undersöktes möjligheten för regnvatteninsamling från takytor i Ringdansen, Norrköping i Sverige. Studien diskuterar möjligheten för att effektivt utnyttja regnvatten i delar av vattensystemet för Ringdansen. Studien visar att möjligheten för att ersätta delar av dricksvattennyttjandet med regnvatten är något att eftersträva. Ser man utanför

Joji & Jacob (2023) diskuterar nödvändigheten för Indiens enorma städer att hitta lösningar i vattenfrågan. Det är viktigt att även ett land som Sverige, som har goda tillgångar på vatten tar och funderar på hur tekniker för vattenresurserna kan utvecklas för att skapa hållbara lösningar i samhället. Med recirkuleringskartan finns det potential att tillhandahålla mer intressanta resultat jämfört med de verktyg som redan finns på marknaden. Med verktyg som Freeflush 2024, Enduramaxx 2024, Watercache 2024 och Lodverktyg 2024 finns goda möjligheter att få en snabb övergripande bild. Recirkuleringskartan ger användaren en mer heltäckande lösning för analys av regnvatteninsamling och -återanvändning. Recirkuleringskartan ger användaren ett sätt att enkelt få fram takarean i området med hjälp av kartverktyget. Dessutom ger recirkuleringskartan en möjlighet att jämföra olika tankstorlekar för att få fram resultat av potentiell regnvatteninsamling kopplat till lokal meteorologisk data. Med recirkuleringskartan finns ett mer sammansatt verktyg än vad som

tidigare funnits med funktioner som tillsammans skapar ett helhetsverktyg för användare. Därmed kan recirkuleringskartan komma att bli ett angeläget verktyg som tidigare inte har varit tillgängligt.

Med möjligheten att recirkuleringskartan kan komma att bli ett nytt verktyg på marknaden tillkommer vissa etiska aspekter att fundera över som utvecklare. När det gäller verktyg som har utvecklats för att hjälpa användare att ta beslut är det viktigt att informera användare hur resultaten kan komma att påverka användare. I detta fall så är det av vikt att användare i slutändan har förståelse för att verktyget enbart ger riktlinjer över möjligheten för regnvatteninsamling. Simuleringarna bygger på antaganden och är ett sätt att försöka efterlikna verkligheten så gott som möjligt. Det är också viktigt att användare är medvetna om att insamling och användning av regnvatten kan medföra hälsorisker. Utan korrekt rening ska regnvatten uteslutas från dricksvattenanvändning (Joji & Jacob 2023). Information gällande hälsorisker och förståelse över verktygets uppbyggnad kan ges på olika vis. Ett sätt att ge information hade kunnat vara att ha en extra sida kopplat till verktyget. Där skulle information om verktygets antaganden och uppbyggnad tillsammans med hälsorisker med regnvattenanvändning kunna finnas tillgängligt.

Med rådande klimatförändringar tillkommer ett ökat behov av vatten. Torrperioder sätter press på samhället och vårt dricksvattennät. Det tvingar oss att hitta nya sätt att se på de vattenresurser som finns runt omkring oss. Vad som är standard idag kanske inte kommer att vara standard imorgon vad gäller vattentillgångar. Regnvatteninsamling blir allt viktigare och därmed behövs det sätt att undersöka möjligheter för detta. Regnvatteninsamling har potential att förändra vattenanvändningen så som den ser ut idag. Det nuvarande sötvattenuttaget kan komma att minska vid ökad användning av regnvatten. En svensk använder cirka 140 liter dricksvatten per dag. Ser man på fördelningen av dricksvattenanvändning så hade regnvatten kunnat ersätta 39% (tvätt, toalett och övrig andel) av det dagliga dricksvattnet, se figur 2 (Svenskt Vatten 2021). För jordbruk och industrier finns det också utrymme att ersätta delar av dricksvattenförbrukningen med regnvatten.

Med recirkuleringskartan finns det nu ännu ett sätt att analysera tillgångar av regnvatten. Detta gör samhället mer redo för framtida utmaningar i samhällsutvecklingen. Med en möjlig framtid där allt fler regnvattensystem samlar in och återanvänder regnvatten kan användningsområden som inte kräver rent dricksvatten tillgodoses med regnvatten istället. Detta i sin tur kan leda till att belastningen på dricksvattennätet minskar och med det vara till nytta där dricksvattenkvalitet verkligen behövs. Med recirkuleringskartan tillkommer möjligheten att snabbt analysera varianter av regnvatteninsamling beroende på förutsättningar. Detta medför att förarbetet inför en eventuell uppsättning av ett recirkulerande system av regnvatten förenklas. Om recirkuleringskartan kan komma att uppmuntra användare och aktörer att installera insamlingssystem av regnvatten skulle det göra arbetsprocessen med recirkuleringskartan allt mer meningsfull.

6 Slutsats

Syftet med projektet var att ta fram ett interaktivt verktyg, en recirkuleringskarta, för att snabbt få en överblick om möjligheter för regnvatteninsamling på taktytor. Recirkuleringskartan består av två verktyg, ett kartverktyg och ett dimensioneringsverktyg. Recirkuleringskartan som första prototyp ger användare en möjlighet att snabbt analysera olika scenarier efter sina villkor. Med vidareutveckling av recirkuleringskartan så finns möjligheter för företag och privatpersoner att exploatera sina regnvattentillgångar från taktytor. Recirkuleringskartan kan komma att bli ett verktyg som bidrar till ett mer hållbart samhälle.

- Efter att arbetet med recirkuleringskartan har genomförts så har projektets målsättning och dess delmål uppnåtts.
- Kartverktyg har framtagits för att få fram takarea. Kartverktyget kan presentera takarea för enskilda byggnader, fastigheter eller med hjälp av ett polygonverktyg för egenvalda områden.
- Dimensioneringsverktyget i form av en vattenbalansmodell har framtagits för beräkning av insamlad och utnyttjad volym regnvatten. Dimensioneringsverktyget hjälper användare att enkelt jämföra olika scenarier.
- Sammansättningen av kartverktyget och dimensioneringsverktyget har genomförts på plattformen Streamlit för att skapa recirkuleringskartan.
- Med recirkuleringskartan finns det nu en prototyp över Majorna Göteborg, med möjligheter till vidareutveckling.
- I framtiden kan recirkuleringskartan användas till att hjälpa privatpersoner, industrier och företag att snabbt och enkelt få en överblick över möjligheter för regnvatteninsamling och återanvändning.

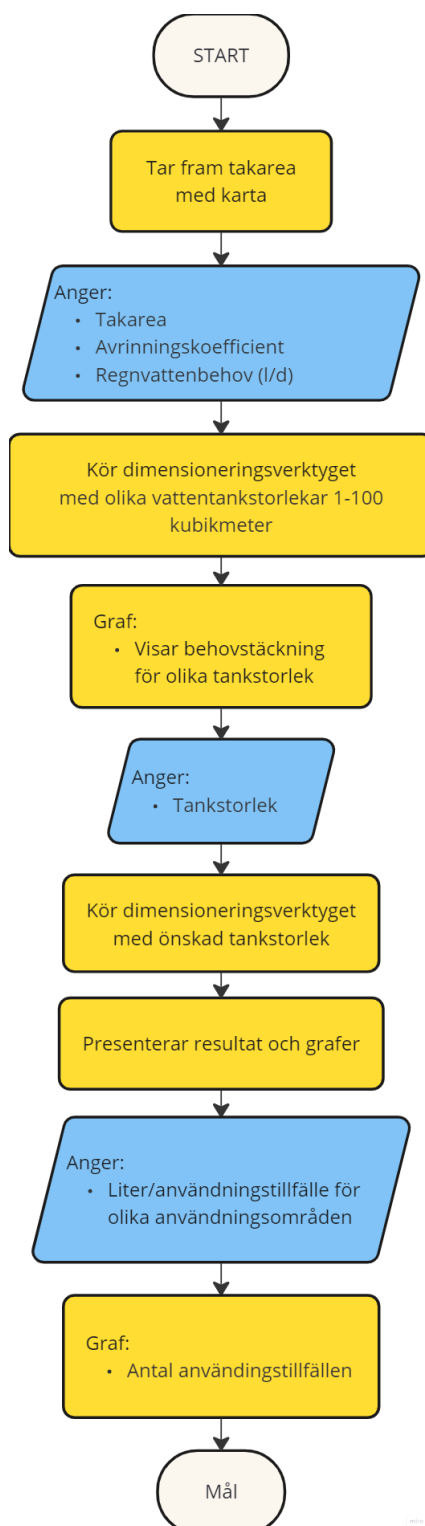
7 Referenser

- Ammar, A., Riksen, M., Ouessar, M. & Ritsema, C. (2016). Identification of suitable sites for rainwater harvesting structures in arid and semi-arid regions: A review. *International Soil and Water Conservation Research* 4.2, s. 108–120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.03.001>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633915301118>.
- ArcGIS (2024). *ArcGIS*. <https://developers.arcgis.com/> [2024-03-12].
- Aysha, A. (2022). *Rainwater harvesting - building a water smart city*. Springer Water. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Baresel, C., Dahlgren, L., Lazic, A., Kerchove, A. de, Almemark, M., Ek, M., Harding, M., Ottosson, E., Karlsson, J., Yang, J., Allard, A.-S., Magnér, J., Ejhed, H. & Björk, A. (2015). Reuse of treated wastewater for nonpotable use (ReUse). B 2219. <https://www.ivl.se/download/18.694ca0617a1de98f473956/1628417304106/FULLTEXT01.pdf>.
- Brown, M., Sharples, S., Harding, J., Parker, C., Bearman, N., Maguire, M., Forrest, D., Haklay, M. & Jackson, M. (2013). Usability of Geographic Information: Current challenges and future directions. *Applied Ergonomics* 44.6, s. 855–865. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.10.013>.
- Caretta, M., Mukherji, A., Arfanuzzaman, M., Betts, R., Gelfan, A., Hirabayashi, Y., Lissner, T., Liu, J., Gunn, E. L., Morgan, R., Mwanga, S. & Suprati, S. (2022). Water. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, s. 551–712. DOI: [doi:10.1017/9781009325844.006](https://doi.org/10.1017/9781009325844.006).
- Drizzle (2024). *Luleå tekniska universitet*. <https://www.ltu.se/forskning/forskningsamnen/va-teknik/drizzle> [2024-03-13].
- Enduramaxx (2024). *Rainwater harvesting tanks | Catchment calculator*. <https://enduramaxx.co.uk/rainwater-calculator-water-catchment-calculator/> [2024-04-18].
- Energi- och klimatrådgivningen (2024). *Solkartan, Energi- och klimatrådgivningen i Stockholmsregionen*. <https://www.energiradgivningen.se/solkartan/> [2024-03-13].
- Farreny, R., Morales-Pinzón, T., Guisasola, A., Tayà, C., Rieradevall, J. & Gabarrell, X. (2011). Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water Research* 45.10, s. 3245–3254. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.03.036>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135411001540>.
- Freeflush (2024). *Rainwater harvesting calculator*. <https://www.freeflush.co.uk/pages/rainwater-harvesting-calculator> [2024-04-18].
- Frihammar, E., Barup, J. & SYD, V. (2021). Svenskt Vatten Utveckling - Vilket vatten till vad? - Hållbar vattenförsörjning genom användning av alternativa vattenkällor. 2021-20. <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2022/03/svu-rapport-2021-20.pdf>.
- Holm, C. & Schulte-Herbrüggen, H. (2021). Vattenbesparande åtgärder - Exempelsamling för kommuner och hushåll. 2.0. https://www.ecoloop.se/wp-content/uploads/2020/10/Rapport-Vattenbesparande-atgarder-Exempelsamling_210122.pdf.
- Inamdar, P., Cook, S., Sharma, A., Corby, N., O'Connor, J. & Perera, B. (2013). A GIS based screening tool for locating and ranking of suitable stormwater harvesting sites in urban areas. *Journal of Environmental Management* 128, s. 363–370. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.023>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479713003514>.
- Jasrotia, A., Majhi, A. & Singh, S. (nov. 2009). Water Balance Approach for Rainwater Harvesting using Remote Sensing and GIS Techniques, Jammu Himalaya, India. *Water Resources Management* 23, s. 3035–3055. DOI: [10.1007/s11269-009-9422-5](https://doi.org/10.1007/s11269-009-9422-5).
- Jephson, T. & Kristiansson, A. (2023). Inspirationsguide för användning av regn- och dagvatten i fastigheter. <https://rewaise.vasyd.se/-/media/Rewaise-Documents/Inspirationsguide-regnvatten-ver-2.pdf> [2024-01-25].
- Joji, V. S. & Jacob, R. S. (2023). *Traditional Rainwater Harvesting Structures*. 1st ed. 2023. SpringerBriefs in Water Science and Technology. Springer Nature Switzerland. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-38028-0>.
- Lantmäteriet byggnad (2023). *byggnader*. https://www.lantmateriet.se/geodata/demodata_testdata/GEO-demoomrade/Majorna/Kartdata/Byggnad/ [2024-03-01].

- Lantmäteriet demodata (2024). *demodata*. <https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/produktsupport/demodata/> [2024-03-01].
- Lantmäteriet fastighet (2023). *fastighet*. https://www.lantmateriet.se/geodata/demodata_testdata/GEO-demoomrade/Majorna/Kartdata/Fastighetsindelning/ [2024-03-01].
- Lantmäteriet webbkarta (2022). *webbkarta*. https://www.lantmateriet.se/geodata/demodata_testdata/GEO-demoomrade/Majorna/Kartdata/TWK_raster/ [2024-02-06].
- Leaflet (2024). *Leaflet*. <https://leafletjs.com/> [2024-02-06].
- Lodverktyg (2024). *Återanvänd ditt dagvatten - Dagvattenskörd*. <https://www.lodverktyg.se/> [2024-04-18].
- Lopez, M. G., Vis, M. J. P., Jenicek, M., Griessinger, N. & Seibert, J. (2020). Assessing the degree of detail of temperature-based snow routines for runoff modelling in mountainous areas in central Europe. 24. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-24-4441-2020>.
- Matplotlib (2024). https://matplotlib.org/stable/api/_as_gen/matplotlib.pyplot.boxplot.html#matplotlib.pyplot.boxplot [2024-05-09].
- Miro (2024). *Miro*. <https://miro.com/sv/> [2024-02-06].
- Nationalencyklopedin (2023). *geografiskt informationssystem*. <http://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/geografiskt-informationssystem> [2024-01-25].
- QGIS (2024). *qgis*. <https://qgis.org/en/site/> [2024-03-06].
- qgis2web (2024). *qgis2web*. <https://plugins.qgis.org/plugins/qgis2web/> [2024-02-06].
- Rodhe, A., Lindström, G., Rosberg, J. & Pers, C. (2006). Grundvattenbildning i svenska typjordar - översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell. 66. https://www.sgu.se/globalassets/grundvatten/grundvattennivaer-old/grundvattenbildning/rodhe-et-al_2006.pdf [2024-03-07].
- Safe Software (2024). *FME-safe*. <https://fme.safe.com/> [2024-03-04].
- Sahely, H., Dudding, S. & Kennedy, C. (april 2003). Estimating the urban metabolism of Canadian cities: Greater Toronto Area case study. *Canadian journal of civil engineering* 30.2, s. 468–483. DOI: 10.1139/L02-105.
- Santos, C. & Taveira-Pinto, F. (2013). Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. *Resources, Conservation and Recycling* 71, s. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.11.004>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344912002030>.
- Sayl, K. N., Mohammed, A. S. & Ahmed, A. D. (2020). GIS-based approach for rainwater harvesting site selection. *IOP Conference Series-Materials Science and Engineering* 737. DOI: 10.1088/1757-899X/737/1/012246.
- Sharma, A. K., Begbie, D. & Gardner, T. (2015). Rainwater Tank Systems for Urban Water Supply. <http://iwaponline.com/ebooks/book-pdf/521261/wio9781780405360.pdf>.
- SMHI (2023). *HBV-modellen 1972*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/historisk-aterblick/hbv-modellen-1.17857> [2024-03-07].
- SMHI (2024a). *metrologisk*. <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/> [2024-03-01].
- SMHI (2024b). *Ytsim SMHI*. <https://vattenwebb.smhi.se/ytsim/> [2024-03-13].
- Statistiska centralbyrån (2022). Vattenanvändningen i Sverige 2020. M127. urn:nbn:se:scb-2022-mi27br2201_pdf.
- streamlit.io (2024). *streamlit.io*. <https://streamlit.io/> [2024-02-06].
- Svenskt Vatten (2019). P110 - Avledning av dag-, drän- och spillvatten. 2. <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/publikationer/>.
- Svenskt Vatten (2020). P114 - Distribution av dricksvatten. <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/publikationer/>.
- Svenskt Vatten (2021). *Dricksvattenfakta*. <https://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/dricksvattenfakta/> [2024-01-24].
- Turf (2024). *Turf*. <https://turfjs.org/> [2024-03-06].
- Valeo, C. & Ho, C. (2004). Modelling urban snowmelt runoff. *Journal of Hydrology* 299.3. Urban Hydrology, s. 237–251. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.007>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169404003683>.
- Watercache (2024). *Rainwater harvesting 101 - Innovative water solutions*. <https://www.watercache.com/education/rainwater-harvesting-101> [2024-04-18].
- Villarreal, E. L. & Dixon, A. (2005). Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment* 40.9, s. 1174–1184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.10.018>.
- VS Code (2024). <https://code.visualstudio.com/> [2024-03-25].

A Appendix

A.1 Användarens flödesschema vid användning av dimensioneringsverktyget

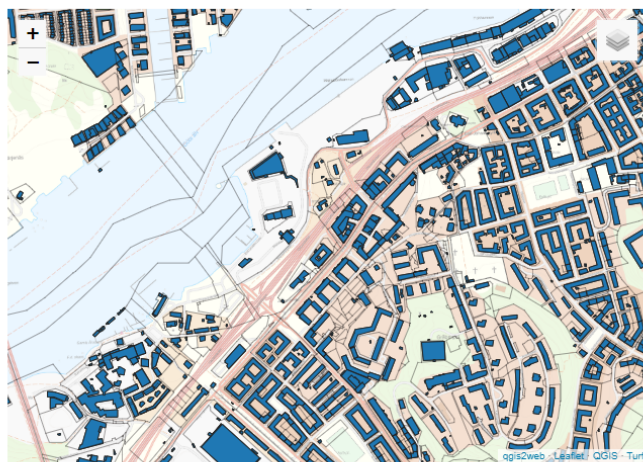


Figur A1: Flödesschema för användaren vid användning av dimensioneringsverktyget illustrerad i Miro (Miro 2024). Vita cirkelformade symboler representerar start och slut på modellen. De blå rutorna innebär input data. Gula rutor innebär processteg i uppsättningen av recirkuleringskartan. Pilarna förklarar relationen mellan olika steg.

A.2 Recirkuleringskartan

En visning av hur helheten ser ut för recirkuleringskartan. Verktøget syns i figur A2, A3 och i figur A4.

Recirkuleringskarta



Scenario för regnvattenanvändning

Ange takarea för regnvatteninsamling [m²]



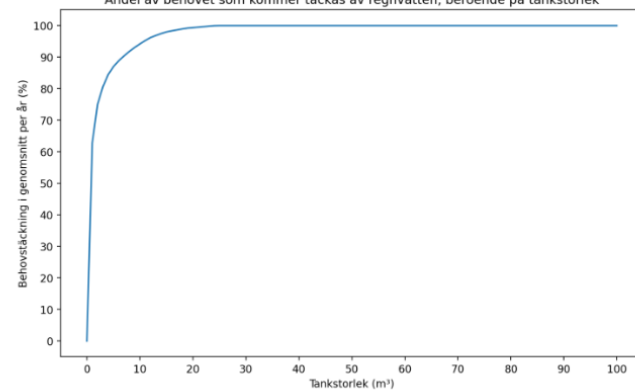
Ange avrinningskoefficient



Ange vattenbehov [l/d]



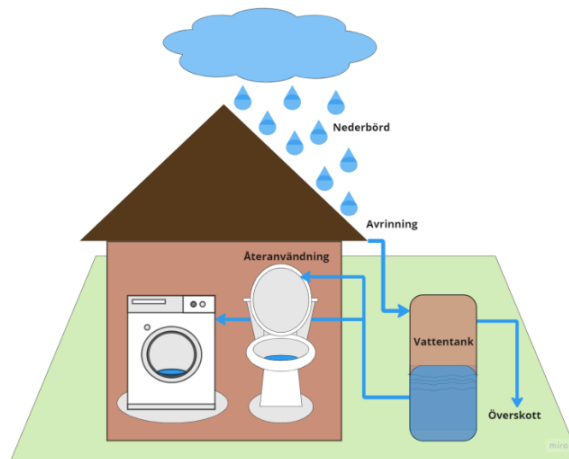
Andel av behovet som kommer täckas av regnvatten, beroende på tankstorlek



Ange storlek på regnvattentank [m³]



Figur A2: Den övre delen av hur verktøget ser ut i sin helhet.



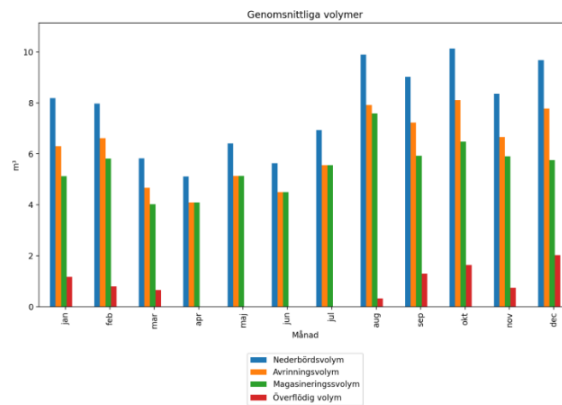
Resultat

Nederbördsvolym som faller på takyta: 93.2 m³/år.

Avrinningsvolym som insamlas på takyta: 74.5 m³/år.

Magasineringsvolym som samlas in i tanken: 65.9 m³/år.

Överflödig volym vatten: 8.7 m³/år.

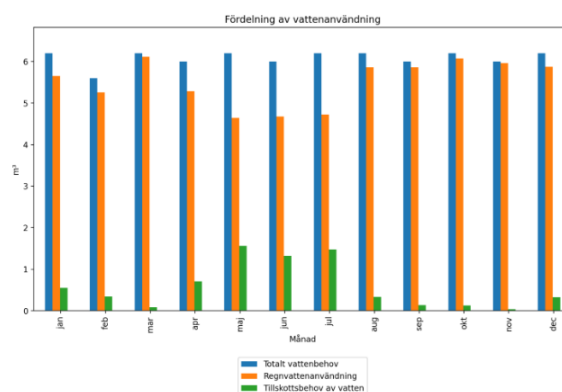


Önskat återvänt regnvatten till hushåll: 73.0 m³/år.

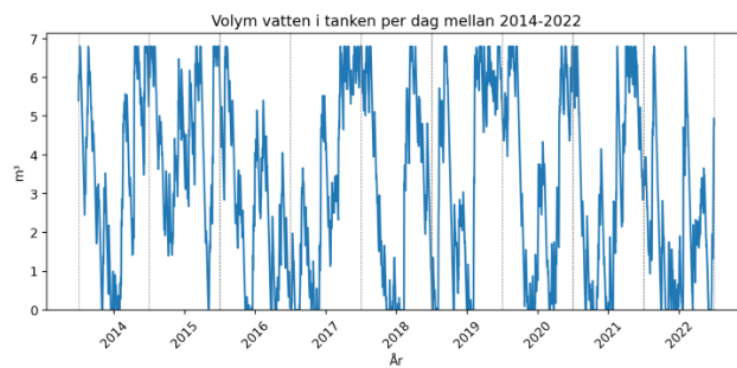
Volym som hämtas från regnvattentanken: 66.0 m³/år.

Volym som behövs från annan vattenkälla: 7.0 m³/år.

Andel av behovet som kommer täckas av regnvatten: 90.4 %.



Figur A3: Mittendelen av hur verktyget ser ut i sin helhet.



Ta fram enheter av olika användarbehov

Ange hur mycket vatten det går åt vid ett användningstillfälle, för att se vad vattnet kan räcka till.

1: Toalettspolning (liter/användningstillfälle)

30 - +

2: Tvättvatten (liter/användningstillfälle)

15 - +

3: Bevattning (liter/användningstillfälle)

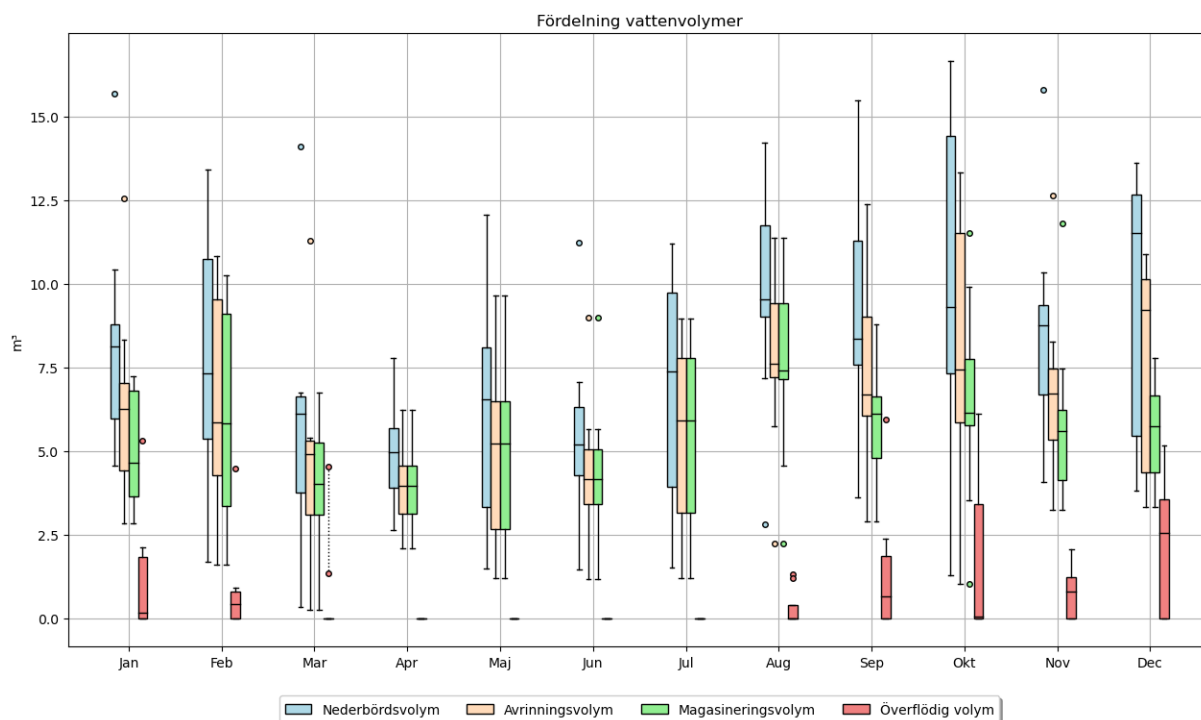
50 - +



Figur A4: Den nedre delen av hur verktyget ser ut i sin helhet.

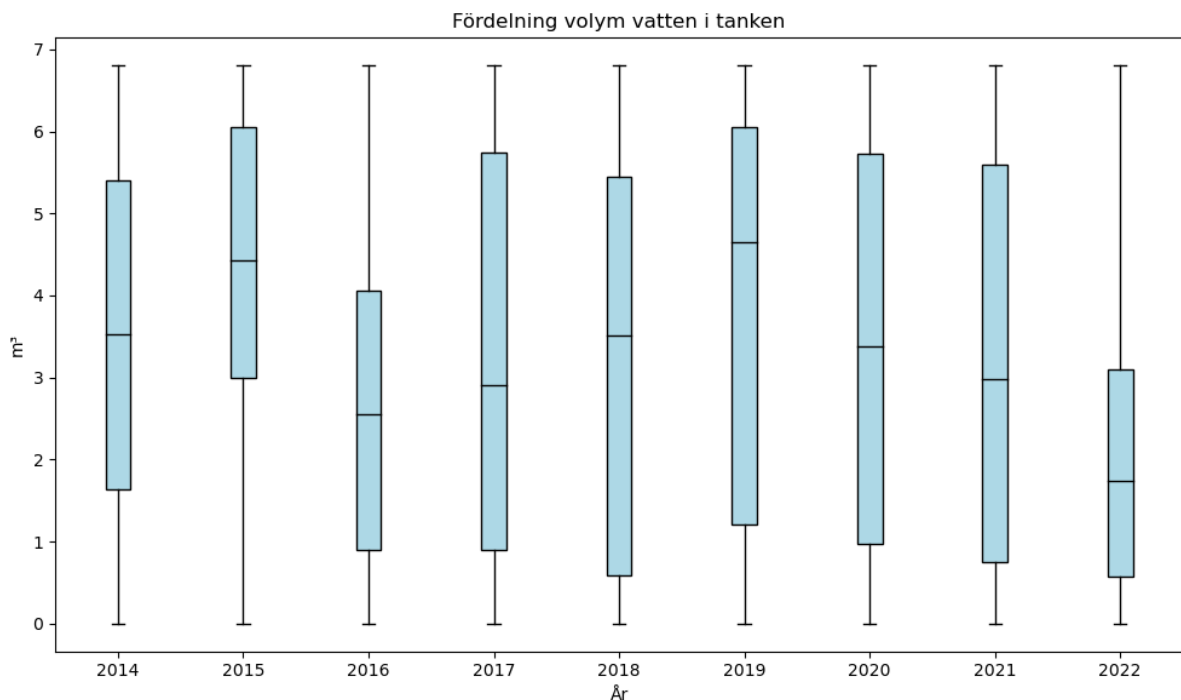
A.2.1 Vattenfördelning

I figur A5 syns fördelningen av data som används till figur 12 i resultatet. Varje boxplot består av nio datapunkter, en punkt för varje år, perioden 2014-2022 (blir fler om en längre tidsperiod väljs). Data som används är total nederbördsvolym, avrinningsvolym, magasineringsvolym och överflödigt volym vatten som uppkommer vid varje månad. Exempelvis är en datapunkterna under januari månad den totala avrinningsvolymen under januari 2019. Noterbart är att boxplotarnas mittstreck representerar medianen medan figur 12 i resultatet visar medelvärdet för varje månad. Boxploten beräknades med hjälp av `matplotlib.pyplot.boxplot` (Matplotlib 2024) som är ett paket i Python.



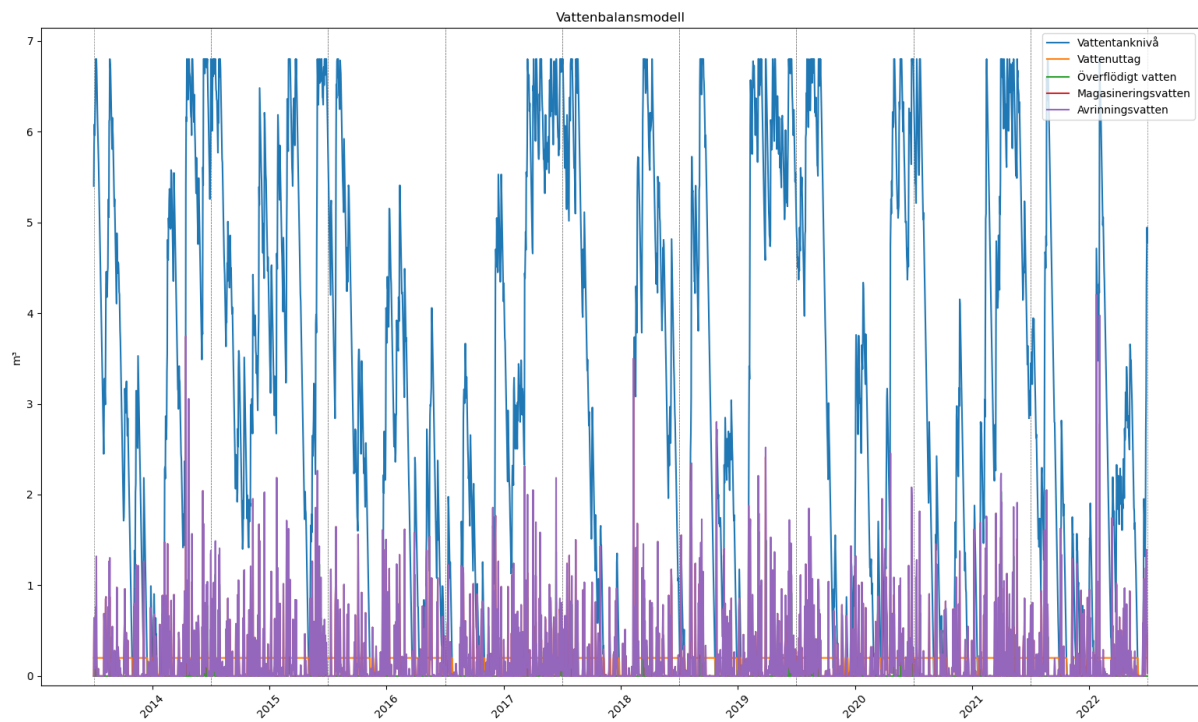
Figur A5: Fördelning av vattenvolymerna nederbördsvolym, avrinningsvolym, magasineringsvolym och överflödigt vatten. Boxarna innefattar inter-quartile range (IQR) som är mellan första och tredje kvartilen. Whiskers är linjerna som är utanför boxarna, datapunkter som är utanför boxen men inte längre är 1.5 gånger IQR ingår i whiskers. Datapunkter utanför whiskers kallas utliggare (cirklar).

Från figur 14 i resultat visas volym vatten i tanken per dag mellan 2014-2022. Figur A6 visar hur vattentanknivån varierar mellan de olika åren. Det är exempelvis stor skillnaden mellan åren 2015 och 2022.

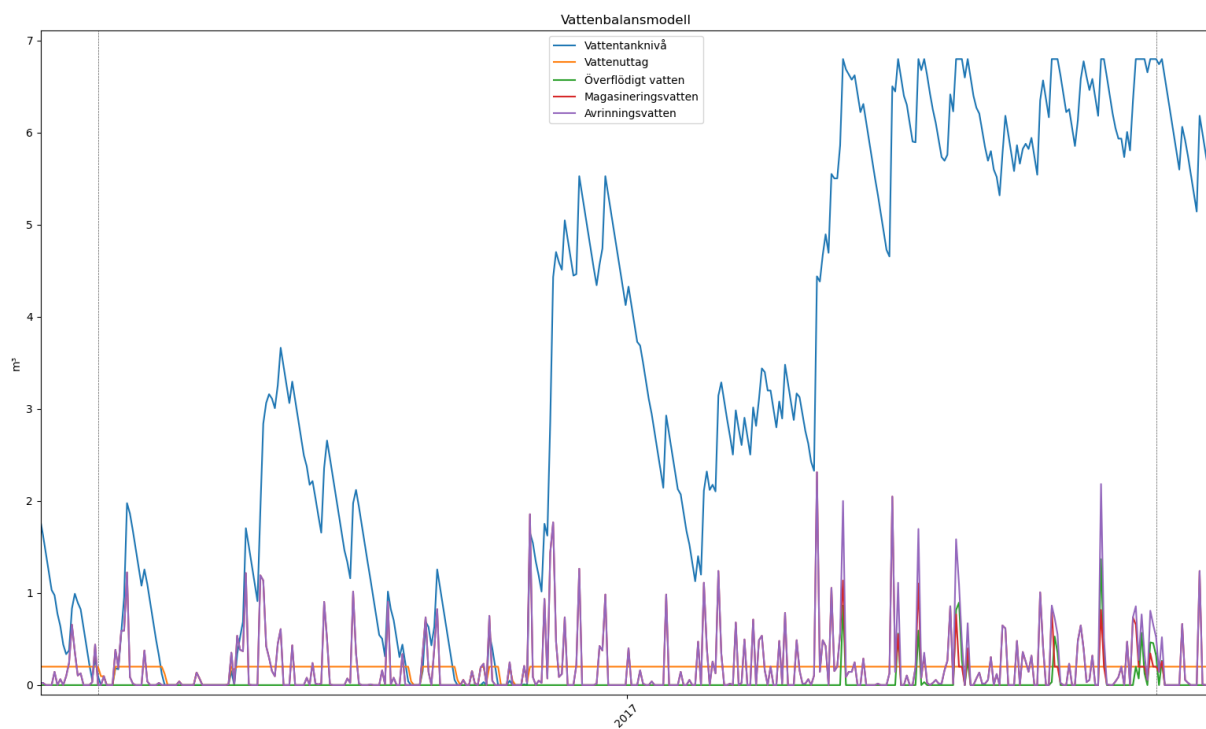


Figur A6: Boxplot över volym vatten fördelat i tanken mellan de olika åren vid simulering. Boxarna innefattar inter-quartile range (IQR) som är mellan första och tredje kvartilen. Whiskers är linjerna som är utanför boxarna, datapunkter som är utanför boxen men inte längre är 1.5 gånger IQR ingår i whiskers.

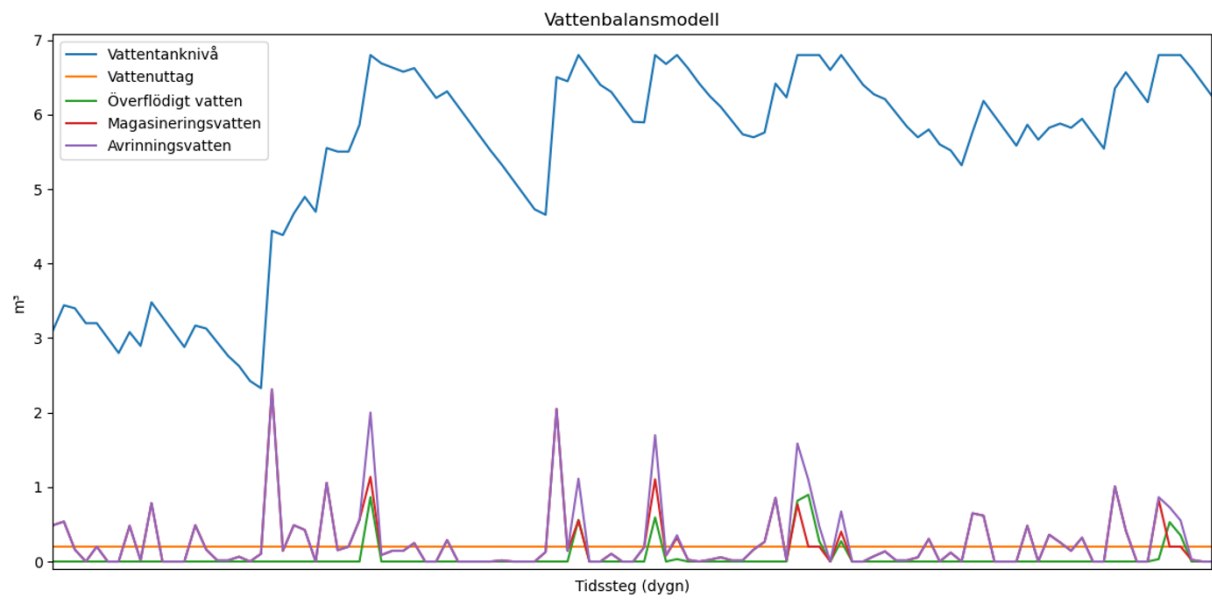
Simuleringen av vattenbalansen (exemplet) i resultatet kan ses i figur A7. Då det blir för svårt att läsa av figuren så gjordes två inzoomningar. En för året 2017 som syns i figur A8 och en för ett urklipp av 2017, se figur A9. I sistnämnda figuren visas vattentanknivå, vattenuttag, överflödigt vatten, magasineringsvatten och avrinningsvatten. När vattentanknivån är full så stiger överflödigt vatten vilket speglar simuleringen. Dessutom blir magasineringsvatten mindre än tillgängligt avrinningsvatten. Detta då inte allt vatten får plats i vattentanken. I figuren är Uttagsnivån av vatten konstant då det finns tillräcklig mängd vatten i vattentanken för att tillgodose regnvattenbehovet. Eftersom regnvattenuttaget är relativt lågt i exemplet för simuleringen så ser man att vattennivån i vattentanken håller sig relativt högt. Det syns också att vid perioder när nederbörden är noll så minskar vattennivån i tanken med en linjär minskning. Detta då vattenuttaget är kontinuerligt.



Figur A7: Simuleringen av vattenbalansen för hela datasetet.



Figur A8: Vattenbalansen under 2017 vid simulering.



Figur A9: Urklipp av vattenbalansen under delar av 2017.

A.3 Beräkningsparametrar

Tabell A1: Förklaring av parametrar vid beräkningar i dimensioneringsverktyget.

φ (fi)	Avrinningskoefficient (enhetslös)
A	Area (m ²)
A_t	Avrinningsvolym vid tidssteg t (m ³)
$B_{\text{år}}$	Årligt regnvattenbehov (m ³)
C_0	Graddagsfaktor (mm/°C och dag)
M_s	Mängd smält snö (mm)
$M.vol_t$	Magasineringsvolym vid tidssteg t (m ³)
N_t	Nederbörds mängd vid tidssteg t (mm)
S_t	Mängd snö på taket under tidssteg t (mm)
T	Lufttemperatur (°C)
T_t	Tröskeltemperatur i luften (°C)
$U_{Gen.snitt.år}$	Genomsnittlig mängd vatten som utnyttjas från vattentank under ett år (m ³)
$U_{mån}$	Volym vatten upptagen från vattentank under en månad (m ³)
U_t	Mängd vatten uttaget från vattentank vid tidssteg t (m ³)
V_t	Vattentankens volym vid tidssteg t (m ³)
V_{t-1}	Vattentankens volym vid tidssteg t-1 (m ³)
WSE	Andel av behov regnvatten som täcks upp (water saving efficiency) (%)
$\ddot{O}_t$	Överflödigt vatten som bräddas vid tidssteg t (m ³)