



UPPSALA  
UNIVERSITET

UPTEC W 22016

Examensarbete 30 hp

Juni 2022

# Analys av regnvatteninsamling och dess effekt på föroreningsbelastning och vattenbesparing i nya Sydöstra Stadsdelarna, Uppsala

Analysis of rainwater harvesting and its effect on pollution  
transport and water savings in the future Sydöstra  
Stadsdelarna, Uppsala

---

Ellen Stenlund

# REFERAT

## **Analys av regnvatteninsamling och dess effekt på föroreningsbelastning och vattenbesparing i nya Sydöstra Stadsdelarna, Uppsala**

*Ellen Stenlund*

Vatten är en viktig resurs för människor och natur. I städer minskar den naturliga infiltrationen till grundvatten och föroreningsmängder i dagvattnet ökar. En teknik för att ta vara på vatten är regnvatteninsamling, där det insamlade vattnet kan ersätta dricksvatten till syften som toalettspolning. Syftet med examensarbetet är att analysera hur Uppsalas framtida utbyggnad av de Sydöstra Stadsdelarna skulle kunna använda regnvatteninsamling för att minska dricksvattenanvändningen och vilka miljöeffekter som tekniken skulle ge på föroreningstransporten till vattendrag i närheten. Teknikens effekt jämfördes även med behovet av spolvatten och energibehovet för dricksvattenproduktionen.

För att beräkna insamlingsytan i stadsdelen kategoriserades alla byggnader utifrån användning och storlek. Nederbörds mängd beräknades med en klimatfaktor för år 2050 med medelvärden från en 10-årsperiod. Förbrukningen av spolvatten baserades på modellerade spillvattenvärden i området och statistik av dygnsförbrukning. Energiförbrukningen av tekniken beräknades med värden från litteratur. En känslighetsanalys utfördes för insamlingsytan och energiförbrukningen för att se variation av resultatet. Föroreningsmängderna modellerades i StormTac för att se effekten av en minskad dagvattenvolym för hela området och enskilda byggnadskategorier.

Den potentiella volymen dagvatten som kan samlas in i hela området visades vara 294000 m<sup>3</sup> i medel. Resultatet visade en potentiell vattenbesparing på 22–42 % med regnvatteninsamling i området, beroende av exploateringsgrad. Byggnadskategorierna Skolor och Centrumbebyggelse visades ge störst vattenbesparing på 68 % och 44 % i medel. Känslighetsanalysen av systemets energiförbrukning visade en besparing på 13–64 % jämfört med energin för dricksvattenförbrukning. Modelleringen visade att belastningen av föroreningar på recipienterna skulle minska upp till 27 % med regnvatteninsamling i Sydöstra Stadsdelarna.

Regnvatteninsamling i området skulle innebära vattenbesparing, minskning av föroreningar till recipienterna och potentiell energibesparing beroende på hur tekniken installeras och utformas. Fler undersökningar behövs för att ge förslag på lagringsstorlek och investeringskostnad.

**Nyckelord:** dagvattenhantering, dricksvattenanvändning, energiförbrukning, StormTac

*Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala Universitet  
Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36, Uppsala, ISSN 1401-5765*



# ABSTRACT

## **Analysis of rainwater harvesting and its effect on pollution transport and water savings in the future Sydöstra Stadsdelarna, Uppsala**

*Ellen Stenlund*

Water is an important resource for nature and humans. Natural infiltration into groundwater is hindered by impervious surfaces in cities. The amount of pollution in stormwater is also increased. Rainwater harvesting is one technique used for water-saving. Collected stormwater can then be used for flushing toilets instead of using drinking water. The purpose of this thesis is to analyze how the future expansion of Uppsala, the district of Sydöstra Stadsdelarna could use rainwater harvesting. How much drinking water could be reduced and how the system could affect the pollution transport to nearby streams are also investigated. The effect of the system was also compared with the water demand for flushing toilets and the energy needed for the production of drinking water.

To calculate the collection area in the district, all buildings were categorized based on use and size. The amount of precipitation was calculated based on averages from 10 years with a climate factor for the year 2050. The water demand for flushing toilets was based on wastewater values modeled for the area and statistics on daily consumption. The energy consumption of the system was calculated based on values from literature. A sensitivity analysis was performed for the collection area and energy consumption to analyze the variation of the results. StormTac was used to model the systems' effect on pollution levels. This was done both for the entire district and individual building categories.

The potential volume of stormwater that could be collected throughout the district was found to be 294,000 m<sup>3</sup>, which would replace 22–42 % of the total water demand for flushing toilets. The categories schools and downtown area were shown to provide the largest savings of water with 68 % respectively 44 % on average. The energy consumption of rainwater harvesting was shown to provide a saving of 13–64 % compared to the energy demand for producing drinking water. The StormTac model of the district showed a reduction of up to 27 % of pollution amounts.

Rainwater harvesting in Sydöstra Stadsdelarna would contribute to water savings, reduction of pollution to the recipients, and potential energy savings. These would depend on the design and implementation of the system. More research is needed to provide suggestions on storage tank sizes and the costs of the system.

*Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Science, Uppsala University, Villavägen 16, SE-752 36, Uppsala, ISSN 1401-5765*

# FÖRORD

Detta examensarbete omfattar 30 högskolepoäng inom civilingenjörsprogrammet inom miljö- och vattenteknik, vid Uppsala Universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet. Projektet genomfördes på Ramboll i Uppsala med handledning av Susanna Ciuk Karlsson och ämnesgranskare Ekaterina Sokolova, Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Susanna Ciuk Karlsson som inspirerat och stöttat mig under hela processen av examensarbetet. Sedan vill jag även tacka Matilda Wistrand och alla inom Water på Ramboll i Uppsala för ert fina välkomnande, ert engagemang och för att ni visat mig ingenjörsyrket på riktigt. Jag vill även tacka min ämnesgranskare Ekaterina Sokolova för all vägledning och hjälpsamma svar genom hela arbetet.

Till sist vill jag tacka alla studenter och vänner som förgyllt min studietid i Uppsala och gjort dessa fem år till ett äventyr.

*Ellen Stenlund*  
Uppsala, 2022

Copyright ©Ellen Stenlund och Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten- och landskapslära, Uppsala universitet. UPTEC W 22016, ISSN 1401-5765 Publicerad digitalt hos Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala, 2022.

## POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Dagens vattensystem i städer är byggt på ett sätt så att vattnet som går till kranen i köket och vattnet till toaletten kommer från samma vattenresurs, vi spolrar med dricksvatten. Samtidigt är tillgången på grundvatten inte alltid god och kommer att försämrars i framtiden. Då kommer det inte att vara hållbart att spola med vatten av sådan hög kvalitet. Samtidigt finns mycket vatten i våra samhällen som vi för bort ur städerna, dagvattnet som är regnvatten och smältvatten. Det vattnet skulle kunna få ett större syfte i samhället.

I Uppsala planeras ett nytt område kallat de Sydöstra Stadsdelarna, som kommer att byggas söder om Uppsala stad. Området kommer att ha nya tågspår, ett nytt sjukhus, nya skolor, över 21 000 bostäder och planeras att stå klart år 2050. I översiktsplanen för området betonas det att det ska byggas med fokus på resursbesparande och miljö, speciellt på grund av de närliggande naturskyddsområden Lunsen, Sävjaån och Årike Fyris. Samtidigt kommer grundvattentillgången minska då området byggs på den platsen.

En teknik för vattenbesparing är regnvatteninsamling, som kan användas för olika ändamål. I detta projekt har användningsområdet varit toalettspolning. För att se hur effektivt det systemet skulle kunna vara beräknades takytorna för alla byggnader i området, den framtida nederbörden år 2050 och spolvattenbehovet för området. Utifrån det beräknades vattenbesparingen för hela området och enskilda byggnadstyper, även energiförbrukningen beräknades och jämfördes med dricksvattenproduktion. För att se om andra miljövinsterna skulle kunna göras analyserades effekten på föroreningsmängderna i dagvattnet.

Resultatet visade att en vattenbesparing med 31 % i medel kan göras för hela området över ett år. För specifika byggnadskategorier var det ännu större besparing, där skolor kunde göra 60 % av spolningarna med regnvatten. Den energiförbrukning som skulle krävas för regnvatteninsamling varierar beroende på hur systemet byggs upp. Värderna från likande system visade att mellan 13–42 % av energin kan sparas genom att använda regnvatteninsamling.

Den minskade mängden dagvatten på gator och mark visades ge en effekt på föroreningar, som minskade med 15 % i medel om systemet skulle användas på hela området. Det visar att vattendragen, som redan är påverkade av stora mängder föroreningar, skulle kunna bli mindre belastade. Tekniken är idag dyr och mer undersökningar behövs över hur systemet ska dimensioneras för att bli så effektivt som möjligt. Alltså kan stora besparingar av resurser som dricksvatten och energi kan göras genom att installera regnvatteninsamling i de Sydöstra Stadsdelarna, men mer studier behövs.

## Ordlista

- **Akvatisk mångfald** - Mångfald i vatten
- **Avrinningskoefficient** - Ett mått på den maximala andel av ett område som kan bidra till avrinningen
- **Exploateringsgrad** - Andel utnyttjad mark
- **Grundvattenbildning** - Infiltration till grundvattnet
- **Hydraulisk konduktivitet** - Vattengenomsläpplighet
- **Infiltrationsbrunn** - Brunn för infiltration till grundvattnet
- **Infiltrationsytor** - Ytor där vattnet lätt rinner genom marken
- **Kiselalger** - Djurplankton
- **Kolfilter** - Ett filter för partiklar
- **Kostnadsnyttoanalys** - Metod för att jämföra nytta med kostnad
- **Miljö kvalitetsnormer** - En bestämmelse om kvaliteten av miljö
- **Recipient** - Vattendrag som vatten leds till
- **Svackdiken** - Breda och grunda diken med sluttande sidor

### Föroreningar

- **P** - Fosfor
- **N** - Kväve
- **Pb** - Bly
- **Cu** - Koppar
- **Zn** - Zink
- **Cd** - Kadmium
- **Cr** - Krom
- **Ni** - Nickel
- **Hg** - Kvicksilver
- **SS** - Suspenderad substans
- **PAH16** - Polycykliska aromatiska kolväten
- **BaP** - Boenso(a)pyren

- **ANT** - Antracen
- **PBDE99** - Pentabromodiphenyleter 99
- **PBDE209** - Pentabromodiphenyleter 209
- **TBT** - Tributyltenn
- **As** - Arsenik
- **Cl** - Klorid
- **Fe** - Järn
- **NH<sub>4</sub>-N** - Ammoniumkväve
- **PFOS** - Perfluoroktansulfonsyra

# Innehåll

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b>	<b>1</b>
1.1	SYFTE . . . . .	2
1.2	FRÅGESTÄLLNINGAR . . . . .	2
1.3	AVGRÄNSNINGAR . . . . .	2
<b>2</b>	<b>BAKGRUND</b>	<b>3</b>
2.1	DAGVATTENSYSTEM I STÄDER . . . . .	3
2.1.1	Dagvattnets utmaningar - föroreningar . . . . .	4
2.2	DRICKSVATTENPRODUKTION OCH ANVÄNDNING . . . . .	5
2.2.1	Att använda dagvatten som en resurs . . . . .	6
2.3	REGNVATTENINSAMLING FRÅN TAK . . . . .	7
2.3.1	Användning av regnvatteninsamling i världen . . . . .	8
2.3.2	Utmaningar och ekonomiska aspekter med tekniken . . . . .	9
2.4	TIDIGARE INSTALLATIONER OCH ANALYSER AV TEJNIKEN . . . . .	9
<b>3</b>	<b>METOD</b>	<b>11</b>
3.1	STUDIEOMRÅDE - SYDÖSTRA STADSDELARNA . . . . .	11
3.1.1	Skyddade naturområden och Natura 2000 . . . . .	11
3.1.2	Vattensystem i området . . . . .	12
3.1.3	Vattenkvalitet i Fyrisån och Sävjaån . . . . .	13
3.2	VAL AV DATA FÖR BERÄKNINGAR OCH MODELLERING . . . . .	14
3.2.1	Kartor och ritningar över Sydöstra stadsdelarna . . . . .	14
3.2.2	Data för insamlingsyta . . . . .	14
3.2.3	Data för framtida nederbörd . . . . .	16
3.3	BERÄKNINGAR AV VATTENVOLYMER OCH ENERGIÅTGÅNG . . . . .	17
3.3.1	Förbrukning av spolvatten . . . . .	17
3.3.2	Energiförbrukning vid regnvatteninsamling . . . . .	18
3.4	MODELLERING AV FÖRORENINGSMÄNGDER MED STORMTAC . . . . .	18
3.4.1	Modelleringar med regnvatteninsamling . . . . .	18
<b>4</b>	<b>RESULTAT</b>	<b>21</b>
4.1	POTENTIELL VOLYM INSAMLAT DAGVATTEN . . . . .	21
4.2	ENERGIFÖRBRUKNING MED REGNVATTENINSAMLING . . . . .	22
4.3	MODELLERING AV FÖRORENINGSNIVÅER . . . . .	24
<b>5</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>29</b>
5.1	REGNVATTENINSAMLING I DE SYDÖSTRA STADSDELARNA . . . . .	29
5.1.1	Potential för regnvatteninsamling - vattenvolym . . . . .	29
5.1.2	Potential för regnvatteninsamling - energibesparing . . . . .	29
5.1.3	Potential för regnvatteninsamling - föroreningsminskning . . . . .	30
5.1.4	Antaganden och osäkerheter . . . . .	30
5.2	EFFEKTEN AV SYSTEMET JÄMFÖRT MED TIDIGARE STUDIER . . . . .	32
5.3	HINDER OCH INCITAMENT FÖR REGNVATTENINSAMLING I DE SYDÖSTRA STADSDELARNA . . . . .	33

5.3.1	Framtida studier . . . . .	34
<b>6</b>	<b>SLUTSATSER</b>	<b>35</b>
	<b>REFERENSER</b>	<b>36</b>
<b>A</b>	<b>APPENDIX</b>	<b>39</b>
A.1	INDATA I STORMTAC . . . . .	39
A.2	RESULTAT ENERGIBERÄKNING . . . . .	40

# 1 INLEDNING

Vatten har en central roll i hela samhället och är viktigt för människor, djur och natur. Grundvattenbrist under torra somrar och mer intensiva översvämningar har blivit ett allt vanligare fenomen, inte bara i världen utan även i Sverige (Schultze et al. 2022). De problem som finns accelereras även av klimatförändringarna och ökad urbanisering (Simpson et al. 2022). I urbana områden finns en rad negativa effekter på hydrologiska faktorer, exempelvis hårdgjorda ytor i städer som bidrar till minskad infiltration till grundvattnet och ger ökade flödestoppar vid skyfall (Nachshon et al. 2016) och ökar mängden föroreningar i vattnet som leds vidare till större vattendrag (Vikander et al. 2019).

Dagvatten, som definieras som det regn- och smältvatten som rinner på olika ytor, får en allt större roll i planeringen för olika samhällsprojekt för att minska de negativa effekterna (Nachshon et al. 2016). Tillgången till färskvatten och dricksvatten är även en faktor i problematiken, där många länder har färskvattenuttag från grundvatten som går till icke-drickbara syften, som toalettspolning, tvättvatten eller bevattning. Detta kräver mycket energi och infrastruktur och är inte förenligt med framtidens utmaningar.

För att nå hållbarhet behövs miljömässiga, sociala och ekonomiska faktorer vävas samman och för att vatten ska användas på ett mer hållbart sätt. Det behöver ske med fokus på minskning av färskvattenuttag, mer recirkulation av vatten och minskade nivåer av föroreningar (de Sá Silva et al. 2022). För att förbättra vattenbalansen i städer finns olika tekniska lösningar. Dels kan öppna dagvattensystem öka infiltration och fördröja översvämningar. Sedan finns regnvatteninsamling där dagvatten samlas in till hushållssyften, vars användning börjar implementeras i större skala.

Regnvatteninsamling kan bidra till ett mer robust vattensystem samtidigt som det kan minska miljöpåverkan av urbanisering (de Sá Silva et al. 2022). Det råder oklarheter hur ett sådant system byggs och används optimalt, vilken effekt det har på dricksvattenanvändning och vilken återbetalningstid och energiåtgång systemet har. I Sverige har systemet i modernare utformning endast installerats på senare år i enskilda kontorshus, på en stadsdelsnivå finns inget exempel i Sverige.



## **1.1 SYFTE**

Syftet med projektet är att analysera hur det planerade området Sydöstra stadsdelarna i Uppsala skulle kunna öka cirkuläritet av vatten genom att använda regnvatteninsamling. Detta ska studeras genom beräkningar av den vattenvolym som kan ersätta dricksvatten. Energiförbrukningen av regnvatteninsamling ska även jämföras med energiförbrukningen för dricksvattenproduktionen, för att se potentiell energibesparing. Det ska även undersökas vilka effekter ökad cirkuläritet kommer att ha på miljö, i form av den föroreningsmängd som transporteras med dagvattnet till närliggande vattendrag.

## **1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR**

De frågeställningar som projektet utgår från är:

- Hur stora volymer dagvatten kan samlas in och ersätta användningen av dricksvatten till toalettspolning?
- Vad får regnvatteninsamling för effekt med avseende på energiförbrukning jämfört med dricksvattenproduktionen?
- Hur påverkar regnvatteninsamling och de minskade dagvattenvolymerna de föroreningsnivåer som når närliggande recipienter? Vilka miljöeffekter finns?

## **1.3 AVGRÄNSNINGAR**

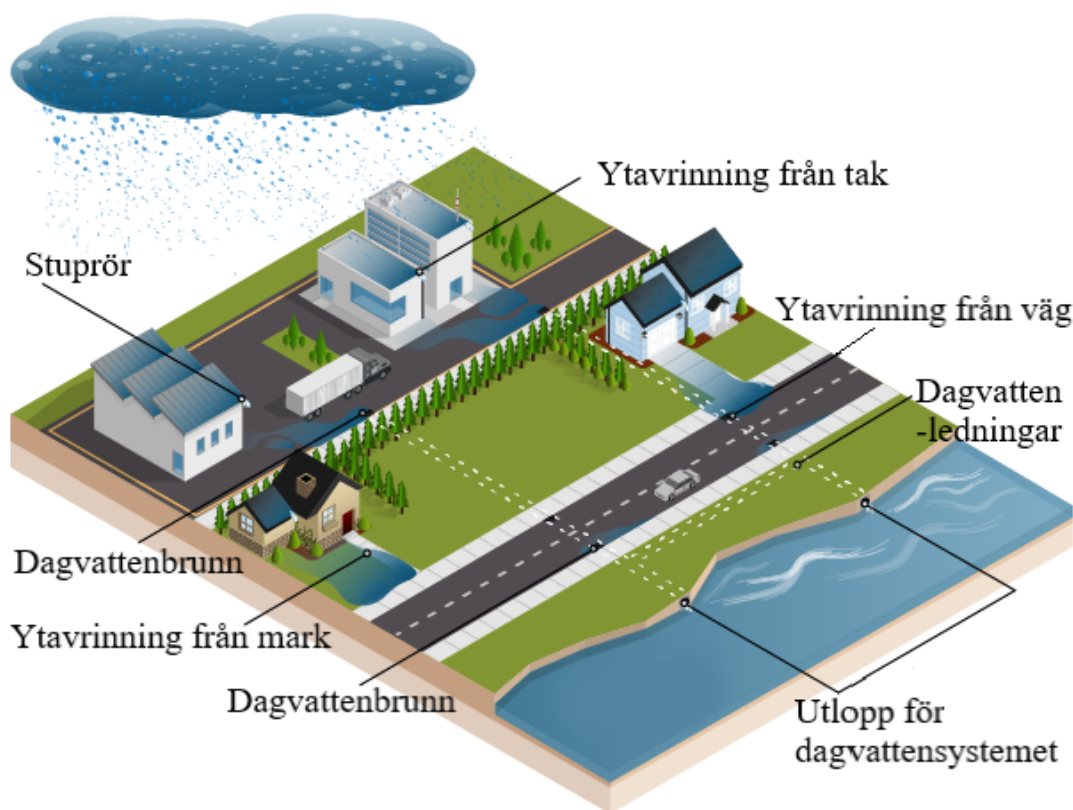
Projektet avgränsas till det område som ingår i den fördjupade översiktsplanen för de Sydöstra stadsdelarna i Uppsala. Lagringsdimensionering av tankar tas inte med i projektet, då det behövs mer detaljer om byggnaderna i stadsdelen. Den beräknade nederbörden antas endast bestå av regn. Angående föroreningsmängder avgränsas analysen till vattendragen Fyrisån och Sävjaån.

## 2 BAKGRUND

För att ge en introduktion till ämnet ges först en redovisning om hur dagens vattensystem fungerar i städer, med dagvatten och dess infrastruktur, utmaningar och resursbehov. Sedan redogörs dricksvattenproduktionen i Sverige, hur dricksvattnet används och vilken energiåtgång processen har. Efter det presenteras trender och system för vattenbesparing. Sedan förklaras systemet för regnvatteninsamling med dess syfte, teknik och utmaningar. Till sist nämns resultat av studier där regnvatteninsamling har implementerats i olika byggnader.

### 2.1 DAGVATTENSYSTEM I STÄDER

I detta kapitel redovisas översiktligt dagvattnets roll i städer, varför det är viktigt att ha ett dagvattensystem, de problem som finns med dagvatten i städer med fokus på vattenkvantitet och kvalitet, dess utveckling under historien och de trender som finns för dagvattenhantering idag. Figur 1 visar dagvattnet i urban miljö och hur det hanteras.



**Figur 1:** Dagvattnets väg i urban miljö, modifierad (EPA Victoria 2020) (CC BY 4.0)

Dagvattensystem i städer är till för att avleda vatten från gator och mark för att förhindra översvämningar och andra negativa effekter orsakade av stora vattenvolymer (Svenskt Vatten 2016a). Sveriges dagvattensystem är uppbyggt med rörsystem dimensionerade för att klara regn med en viss återkomsttid. Vid större regn än det finns avrinningsvägar på markytan som leder vatten mot lägre liggande platser där det kan samlas för att undvika

skador på byggnader (Svenskt Vatten 2011). De åtgärder som kan ingå i dagvattenhanteringen är först lokalt omhändertagande av dagvatten med gröna tak, infiltrationsytor eller dammar, sedan sker fördröjning nära källan med genomsläppliga beläggningar, infiltration på gräsytor eller dammar. Sedan sker trög avledning via svackdiken, kanaler, bäckar och diken, till sist åtgärdas dagvatten med en samlad fördröjning med dammar och våtmarker där vattnet kan infiltrera (Svenskt Vatten 2011). Det är även vanligt att dagvatten leds till vattendrag utan större behandling (Vikander et al. 2019).

Historiskt sett har dagvattenhanteringsens främsta syfte varit att snabbt leda bort över-skottsvatten till närmsta vattendrag, sedan mitten av 1970-talet har synen på dagvatten-systemet ändrats då vattnets föroreningar och miljöpåverkan uppmärksammats (Svenskt Vatten 2016a). Dagens moderna system för dagvattenhantering utvecklades i början på 2000-talet och mer naturliga system med fördröjning och åtgärder för infiltration började användas (Svenskt Vatten 2016a). Idag är även gestaltning av dagvattenhantering viktig, för att synliggöra dagvattnet i städerna och öka inslag av natur (Svenskt Vatten 2011).

Då alltmer fokus läggs på miljö och hållbarhet sker mycket utveckling inom hållbar dagvattenhantering. Blå-gröna lösningar (BGI) är ett exempel på en nyare teknik med fokus på att minska dagvattenflödet och samtidigt vara ett reningssteg i systemet. Dagvattenhantering med BGI innebär även andra nyttor som inte är kopplade till vattenhantering, det ger en ökad biodiversitet och har en positiv påverkan på välbefinnande och hälsa (Blacken et al. 2020).

### **2.1.1 Dagvattnets utmaningar - föroreningar**

Klimatförändringarna har en stor påverkan på nederbörd och temperatur, i Sverige förväntas effekter i form av intensivare skyfall och vattenbrist i delar av södra Sverige under torra somrar (Schultze et al. 2022). Då städer förtätas och byggs ut ökar mängden föroreningar i samhället. Kvalitén av dagvattnet påverkas av de ytor där vattnet rinner, vilket gör att ökade föroreningar i samhället ger ökade föroreningshalter i dagvattnet som sedan förs vidare större vattendrag och naturmarker (Vikander et al. 2019) (Pamuru et al. 2022). Den ökade föroreningsbelastningen i vattendrag utgör ett hot mot fiskar och akvatisk mångfald, även för platser långt ifrån källan till föroreningen. Även relativt låga koncentrationer av vissa föroreningar är farliga för vattenlevande djur (Pamuru et al. 2022).

De föroreningar som finns i dagvatten kommer från en mängd olika källor, där trafik och vägar sticker ut som de mest bidragande källorna. Trafik avger inte bara avgaser utan även partiklar och spill från drivmedel och olja (Vikander et al. 2019) (Svenskt Vatten 2016a). Även fordonsbromsdamm och däckslitningar bidrar till föroreningar som dagvattnet för med sig (Pamuru et al. 2022). Tungmetaller är välkända miljöföroreningar där de vanligaste att hitta i dagvatten är kadmium (Cd), koppar (Cu), bly (Pb) och Zink (Zn). Även industrikemikalier och bekämpningsmedel och andra organiska ämnen har hittats i dagvatten (Pamuru et al. 2022). Kväve (N) och fosfor (P) är näringsämnen som är vanligt förekommande i dagvatten och är främst kopplade till övergödning i vattendrag (Pamuru et al. 2022).

Mikroplast i dagvatten har blivit en mer framträdande förorening som orsakas av trafik och plastmaterial i städer. I dagvattnet finns bakterier som kommer från den naturliga miljön och djur och ibland från läckage av avloppsvatten (Vikander et al. 2019). Miljökontroll av dagvattnets kvalitet görs främst med indirekta krav och åtgärder uppströms (Svenskt Vatten 2016a). De arbete som kan göras för att minska föroreningsmängder i dagvattnet kan vara att införa begränsningar för användning av vissa material eller kemikalier och begränsa utsläppsaktiviteter från industrier (Svenskt Vatten 2011).

## **2.2 DRICKSVATTENPRODUKTION OCH ANVÄNDNING**

För att förse allmänheten med dricksvatten görs råvattenuttag antingen från ytvatten eller grundvatten. Grundvatten kan vara i sådan kvalitet att det är säkert att dricka utan någon behandling (Svenskt Vatten 2016b). För dricksvattenframställningen i Uppsala används grundvatten och konstgjort grundvatten, där ytvatten från Fyrisån pumpas in och infiltrerar genom Uppsalaåsen. Idag utgörs ca 40-50 % av dricksvattnet i Uppsala av konstgjort grundvatten och resterande del är grundvatten (Uppsala Vatten 2015).

Processen för rening av grundvatten börjar då färskvattnet leds in i vattenverket där det genomgår olika reningssteg. Först förs det nedför en luftningstrappa för att avlägsna kolsyra, sedan så mjukgörs vattnet (om det är rikt på kalk) genom att tillsätta släkt kalk och sand, så att kalkpartiklar sedimenteras och tas bort. Vattnet leds sedan vidare och pH-värdet justeras med syra, vattnet åker efter det genom ett sandfilter, det kan även vara ett extra reningssteg med kolfilter, till sist tillsätts klor i vattnet för att säkerställa renheten, då är vattnet dricksvatten kvalitet och leds ut i dricksvattennätet (Uppsala Vatten u.å).

Att producera dricksvatten från ytvatten är en mer komplex process och behöver renas i flera steg. Först sker en grov filtrering och pH-justering, sedan renas färskvattnet i en flockningskammare för att avlägsna olika kemiska ämnen. Sedan hamnar vattnet i en sedimenteringsbassäng och därefter åker vattnet genom ett sandfilter för att avlägsna partiklar. Ibland finns ytterligare ett sandfilter där vattnet passerar långsamt. Kolfilter kan även vara ett andra reningssteg i processen. Det sista steget är desinfektion med antingen klor, ozon eller UV-ljus och efter det skickas vattnet ut i dricksvattenledningarna (Svenskt Vatten 2016b).

Dricksvattenframställning och senare rening är kopplat till stora energibehov (de Sá Silva et al. 2022). Energianvändningen för dricksvattenproduktion beror till stor del på de olika höjdförhållanden som finns mellan färskvattnet och distributionsnätet (Granberg et al. 2013). Energiåtgången mäts per anläggning, då det inte finns mätningar för varje processsteg (Granberg et al. 2013). Enligt Uppsala Vatten (2022) var energiförbrukningen 0,69 kWh/m<sup>3</sup> producerat dricksvatten år 2021.

Enligt uppgifter från Svenskt Vatten uppgår dricksvattenförbrukningen i genomsnitt till 140 L/person/dygn. Där 43 % går till personlig hygien, 21 % går till spolvatten för toaletter, 21 % går till tvätt och disk och endast 7 % av dricksvattnet som används går till matlagning och dryck (Svenskt Vatten 2021). Hushållsförbrukningen har minskat med 1 % för varje år under en 10 årsperiod, detta innebär att den totala mängden vatten som går till hushållen hålls på samma nivå trots en befolkningsökning (Uppsala Vatten 2015).

Det finns en mängd tekniker för att minska dricksvattenförbrukningen för hushåll. Att spara in på vatten kan göras på olika sätt, dels genom enklare tekniska lösningar så som snålspolande kranar eller toaletter, eller genom större system som recirkulering av vatten i hushållet. Beroende på teknisk nivå och systemstorlek varierar kostnad och volym sparad vatten (Ecoloop 2021).

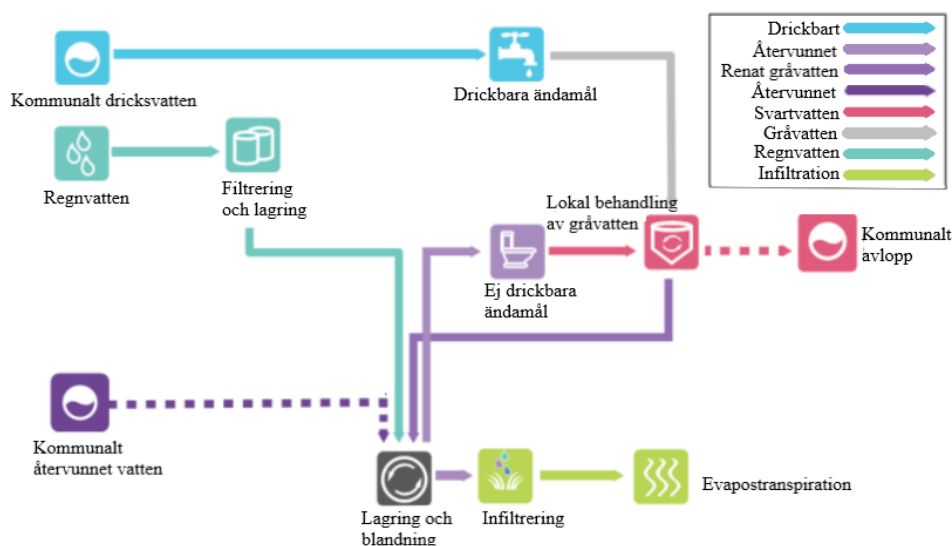
En rapport från Ecoloop (2021) har beskrivit olika vattenbesparande tekniker där både prestanda, erfarenheter och teknikmognad har jämförts. Exempel på enklare vattenbesparande åtgärder med låg kostnad är vattensnåla alternativ av tvätt- och diskmaskiner, som kan spara upp till 50 % för diskmaskiner och 20 % för tvättmaskiner jämfört med maskiner av sämre effektivitet (Ecoloop 2021). Även vattensnåla munstycken och toaletter är enkla åtgärder, där snålspolande kranar kan spara upp till 25 % av vattnet till hygien och toaletter upp till 53 % av spolvattnet jämfört med enklare system. (Ecoloop 2021).

Ett mer avancerat exempel på vattenbesparande teknik är recirkulerande duschsystem, som kan spara upp till 30 % av förbrukningen för en person. Där en del av vattnet återanvänds efter att vattnet har filtrerats och renas. En sensor avgör om vattnet är allt för smutsigt och släpper då ut det i avloppet. Tekniken är dyr och endast småskaligt etablerad på marknaden (Ecoloop 2021). Ett exempel på ett större system är återanvändning av vatten i hushåll. Genom att samla in vatten från duschar, handfat och diskmaskiner och sedan rena vattnet lokalt kan vatten återanvändas i hushållet till icke-drickbara syften och spara 64 % av vattnet till hygien. I Sverige är tekniken främst i forskningsstadiet (Ecoloop 2021).

### **2.2.1 Att använda dagvatten som en resurs**

Enligt nationella expertrådet för klimatanpassning (2022) kommer tillgången på råvatten förändras. En ökad konkurrens om vattnet samtidigt som vattenbrist blir allt mer frekvent kommer produktionen av dricksvatten påverkas (Schultze et al. 2022). Att säkra vattenförsörjningen ses som en viktig åtgärd för framtiden, där reservsystem och prioriteringsordningar kan bli ett sätt att hantera vattenbrist (Schultze et al. 2022). Vatten som ska användas till dryck, matlagning, dusch och annan personlig hygien har höga krav på kvalitet, som bör vara hösta möjliga för att undvika bakterier och andra föroreningar (Ecoloop 2021). För annat hushållsvatten krävs inte samma höga kvalitet, som till spolning eller tvätt, däremot kan rening behövas för att minimera föroreningar och bakterier (Ecoloop 2021). Vattensystemet kan bli mer resurseffektivt och ta tillvara på dagvatten och annat vatten till syften med lägre krav på vattenkvalité (Figur 2).

## INTEGRERAT VATTENSYSTEM



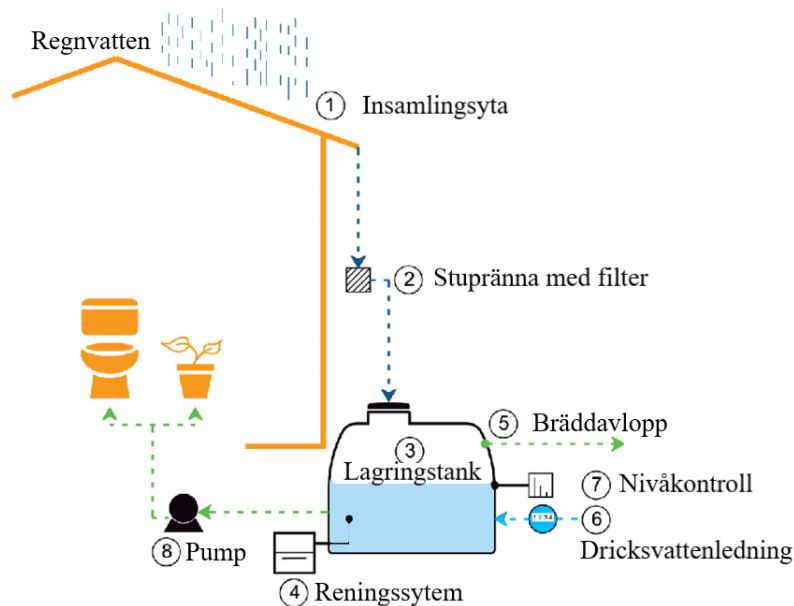
**Figur 2:** Integrerat vattensystem som visar vattenflöden och möjliga användningsområden för recikulerat vatten, där regnvatteninsamling är en komponent. Modifierad från Froste 2021.

### 2.3 REGNVATTENINSAMLING FRÅN TAK

Metoden att samla in dagvatten för småskalig användning har funnits under tusentals år, idag är metoden mer utvecklad och används till olika syften (Nachshon et al. 2016). I urbana områden syftar tekniken främst till att minska konsumtionen av dricksvatten, där dagvatten kan ersätta dricksvatten för ändamål som toalettspolning, tvättning och bevattning (Campisano et al. 2017).

Hur mycket vatten systemet kan samla in beror främst på klimat och regnmängd i området, storleken på insamlingsytan och tankens lagringskapacitet (de Sá Silva et al. 2022). Syftet med regnvatteninsamling kan förutom till hushållsanvändning, vara att öka infiltration till grundvattnet (Nachshon et al. 2016). Insamlat vatten kan då ledas till infiltrationsbrunnar där grundvattenbildning sker (de Sá Silva et al. 2022).

Ett enkelt system för regnvatteninsamling har insamling av dagvatten på taket, sedan leds dagvattnet via stuprör med filter till en lagringstank innan vattnet kommer till användning i hushållet (Figur 3). För att förbättra vattenkvaliteten används filter och skydd mot skräp från taket (Campisano et al. 2017). För att minska föroreningsmängderna i dagvattnet som ansamlats under torra perioder används First flush som metod, där det första volymen av dagvattnet (1-2mm) leds till avloppsnätet istället för lagringstanken (Vikander et al. 2019). Systemet har även ett bränningsavlopp som leder överflödigt vatten som inte ryms i lagringstanken vidare till kommunala dagvattennätet. Ett sista steg i systemet kan även vara att klargöra vattnet och desinfektera det, beroende på vilken kvalitet som eftersträvas (Campisano et al. 2017).



**Figur 3:** System för regnvatteninsamling, modifierad från Zanni et al. 2019.

Torrare väderperioder gör att föroreningar ansamlas på taken, vilket skapar högre föroreningskoncentrationer vid nästa regnvatteninsamling. Fåglar anses vara en stor källa till föroreningar av det insamlade dagvattnet (Campisano et al. 2017). Även materialet på taket har en inverkan på förekomsten av föroreningar i dagvattnet, material av Zink och koppar bör undvikas för att undvika urlakning av metallerna (Campisano et al. 2017).

Storleken på lagringstanken är en viktig del av designen, även systemets pump har stor påverkan på effektiviteten. Den största faktorn för systemets energibehov är pumpens effekt, därav är val av pumpeffektivitet avgörande för investeringens återbetalningstid. För att optimera systemet behövs utformning och tankstorlek stämma överens med maximal regnvatteninsamling och minimal energianvändning (de Sá Silva et al. 2022).

För att dimensionera lagringstankar finns olika metoder, en metod rekommenderad av European Committee for Standardization (2018) och Santos och Taveria-Pinto (2012) är *80 % effect criteria*. Metoden används för att uppnå bästa möjliga besparing av dricksvatten i förhållande till installationskostnad. Metoden baseras på en simulering av en enskild byggnads insamlade volym och spolvattenåtgång för varje dygn, där resultatet kan visa sambandet mellan lagringsstorlek och effektivitet.

### 2.3.1 Användning av regnvatteninsamling i världen

Ett flertal länder har infört standarder och regler för hur insamlat vatten får användas. I Japan, Australien, USA, Tyskland mfl. får vattnet endast användas till icke-drickbara ändamål (de Sá Silva et al. 2022). Tekniken är väl etablerad i Asien, speciellt i Kina, Sydkorea och Japan.

I Taiwan finns en policy som innebär att alla nya byggnader som har en yta större än 10 000 m<sup>2</sup> har ett krav på att regnvatteninsamling måste täcka minst 5 % av byggnadens

vattenförbrukning (Campisano et al. 2017). I Australien har även tekniken implementeras väl på stora byggnader. Inom Europa finns inte lika väletablerade moderna tekniker av regnvatteninsamling, förutom i Tyskland som sticker ut inom användning av tekniken, där en stor del av alla nya byggnader använder regnvatteninsamling för icke-drickbart hushållsvatten (Campisano et al. 2017).

Ett nytt innovationsprojekt inom EU kallat *REWISE* undersöker delvis regnvatteninsamling. Målet med projektet är att använda vatten på ett mer effektivt sätt och även att minska dricksvattenanvändningen (*REWISE* u.å.). Det är ett samarbete mellan flera aktörer och inom Sverige är det bland annat VA SYD, Lund och Malmö kommun och SLU. Den svenska delen av projektet innefattar att undersöka förbättring av vattenanvändningen och testa nya tekniker för att använda dagvatten och skapa lokala kretslopp. De testar även digitala system (*REWISE* u.å.). En testplats för projektet i Sverige är Röda Oasen i Sege Park i Malmö, där nya platseffektiva reningstekniker och regnvatteninsamlingssystem ska utvärderas. Projektet kommer att byggas under våren 2022 (*REWISE* 2022).

### **2.3.2 Utmaningar och ekonomiska aspekter med tekniken**

Det ekonomiska incitamentet till att installera tekniken har diskuterats flitigt, val av teknik, dimension av lagringstank och framtida pris på dricksvatten utgör faktorer för värdet av investeringen (de Sá Silva et al. 2022). Metoder för att analysera investeringens återbetalningstid har varit kostnadsnyttoanalyser eller livscykelanalyser (de Sá Silva et al. 2022). En studie gjort i Australien jämförde nytta och värde av ett system för regnvatteninsamling med kommunalt vatten i höghus för olika städer, där den kortaste återbetalningstiden visades vara 10 år (Campisano et al. 2017). Andra studier har visat betydligt längre återbetalningstider.

Flertalet studier har kommit fram till att regnvatteninsamling inte ger någon ekonomisk vinst jämfört med dricksvattenproduktion (Arden et al. 2021). Det diskuteras om analyserna borde väga in indirekta effekter av tekniken för att få en mer rättvis värdering av teknikens nytta (Campisano et al. 2017). Det finns positiva indirekta effekter av regnvatteninsamling, systemet kan avlasta den befintliga dricksvatteninfrastrukturen och således bidra till en minskning av vattenuttag från grundvattenreservoarer. Det har även uppmärksamats att tekniken har flera positiva effekter på mjuka värden som att lindra urbana värmeöar och att skapa positiva sociala effekter (Campisano et al. 2017).

## **2.4 TIDIGARE INSTALLATIONER OCH ANALYSER AV TEKNIKEN**

Ett flertal studier har analyserat potentialen för regnvatteninsamling i större kontorshus i Sverige och en studie har undersökt tekniken för flerbostadshus, däremot finns ingen studie när tekniken har implementerats i större skala som en hel stadsdel.

En studie har undersökt ett system för regnvatteninsamling i området Ringdansen i Norrköping, området består av 1100 lägenheter (Villarreal och Dixon 2005). Studien baserades på nederbördsdata från en 3 års period och avgränsades genom att försumma nederbörden från snö, som antogs vara från december till februari. En datamodell användes för att undersöka potentialen för vattenbesparing med olika dimensioner av systemet, som



varierades mellan 20 - 90 m<sup>3</sup>. Även olika användningsområdet av dagvattnet testades. Resultatet visade att en 40 m<sup>3</sup> tank per byggnad räcker för att spara 60 % av dricksvattenförbrukningen som skulle gå till spolning av toaletter (Villarreal och Dixon 2005).

Exempel på två kontorshus i Sverige som använder dagvatten till toalettspolning är Citypassagen i Örebro och kontorshuset Celsius i Uppsala (Tabell 1). Citypassagen var färdigställd år 2019 och kontorshuset Celsius stod klart år 2021 (Ecoloop 2021).

**Tabell 1:** Egenskaper för Citypassagen och kontorshuset Celsius, data från Ecoloop 2021.

	Citypassagen	kontorshuset Celsius
Arbetsplatser	1200 st	460 st
Lagringstank	180 m <sup>3</sup>	60 m <sup>3</sup>
Renvattentank	9 m <sup>3</sup>	12 m <sup>3</sup>
Lagring/person	158 m <sup>3</sup>	157 m <sup>3</sup>
Vattenbesparing/år	1400 m <sup>3</sup>	980 m <sup>3</sup>
Vattenbesparing	45 %	60 %

Gemensamt för kontorshuset Celsius och Citypassagen är den tekniska utformningen på systemet. Dagvattnet leds först till en lagringstank under jord, sedan leds vattnet genom filter och hamnar i en renvattentank innan det pumpas vidare in till huset. Systemet är uppbyggt med en nivågivare som registrerar om vattennivån i renvattentanken sjunker, om renvattentankens nivå är under en viss nivå fylls den med dricksvatten. Systemet har även en åtgärd vid höga dagvattenflöden, då överskott i lagringstanken leds bort till det vanliga dagvattensystemet (Ecoloop 2021).

En studie som undersökt regnvatteninsamlings effekt på större skala har skapat en modellering där alla byggnader i staden New York analyseras (Dijk et al. 2020). Syftet var att både undersöka maximal volym insamlat dagvatten och maximal nytto-kostnadsvärde för varje byggnad, där systemets storlek varierades. Modelleringen kördes med nederbördsvärden för en 20-årsperiod, Vattenåtgången för endast toalettspolning och tvätt uppskattades utifrån byggnadstyp och uppskattat antal människor i byggnaden varje dag (Dijk et al. 2020). Alla byggnader delades in i 12 kategorier efter verksamhet och vattenbehov, och lagringstankens storlek varierade mellan 1 - 400 m<sup>3</sup>. Val av tankstorlek baserades på byggnadskategori, takstorlek, och mängd människor (Dijk et al. 2020).

Det system som visades ha högst effektivitet och lägst investeringskostnad visades täcka 29 % av New Yorks vattenbehov av spol- och tvättvatten. Den största andelen av dagvattnet (90%) användes i bostadshus (både flerfamiljs och enfamiljshus), vilket även var de vanligaste byggnadstyperna (Dijk et al. 2020). De fördelar som visades för regnvatteninsamling var att systemet var mycket anpassningsbart storleksmässigt, ekonomiskt och designmässigt (Dijk et al. 2020). Resultatet i denna studie visade att system för regnvatteninsamling kan vara ekonomiskt fördelaktiga, speciellt i tätbebyggda området med låga byggnader (Dijk et al. 2020).

## 3 METOD

Projektet har utformats med flera olika metoder vilket beskrivs i avsnittet nedan. Litteratur har använts för att ge en teoretisk bakgrund till beräkningar och modelleringar. Fakta om de Sydöstra stadsdelarna söktes i handlingar publicerade av Uppsala kommun. Kartor hanterades i QGIS och AutoCAD. Beräkningar av takytor och lagringsdimensioner, vattenvolymer och energiförbrukning utfördes i Excel. För att analysera föroreningshalterna i dagvattnet modellerades området i StormTac.

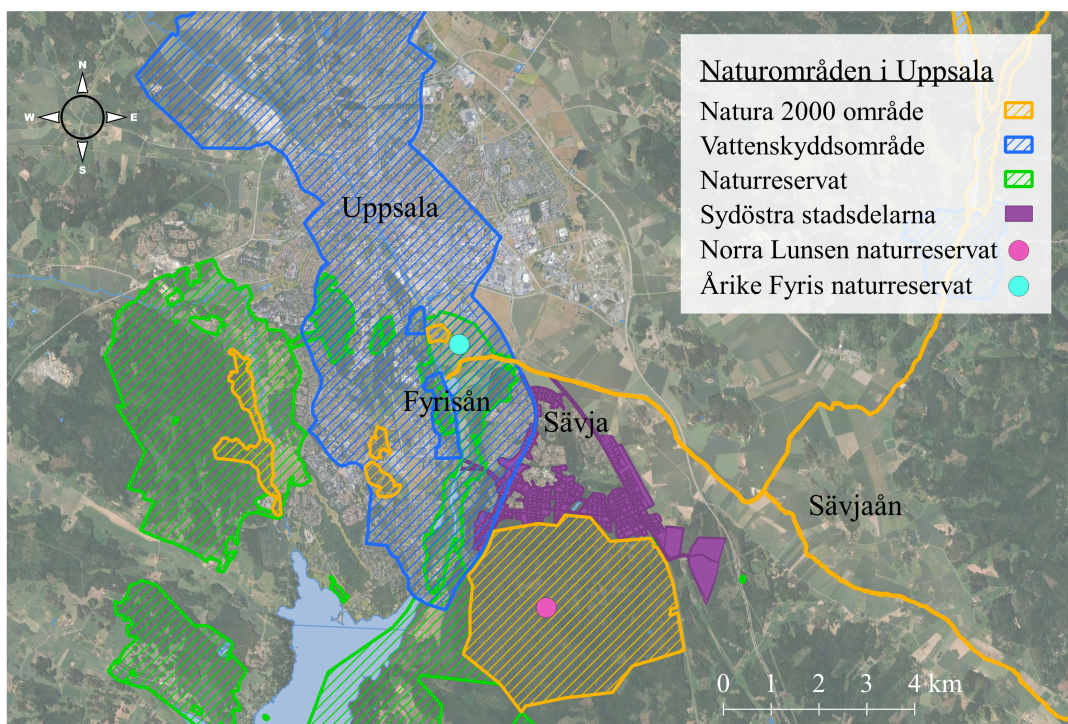
### 3.1 STUDIEOMRÅDE - SYDÖSTRA STADSDELARNA

Det planerade området sydöstra stadsdelarna i Uppsala ska stå klart år 2050 och kommer att tillföra 21 500 bostäder, två nya järnvägsspår mellan Uppsala och Stockholm och en ny tågstation. Uppsala är en expanderande region och har en stark befolkningsökning varje år (Uppsala kommun 2021). Området ligger strategiskt 5 km söder om Uppsala mot Arlanda. Den nya bebyggelsen i området kommer att anläggas på obebyggd mark, som idag till störst del är skogsmark och jordbruksmark. Enligt översiktsplanen ska förutsättningar skapas för en klimatpositiv stadsdel, med fokus på nytänkande, grönska, innovation och resurseffektivitet. Vattenhanteringen ska främja cirkulära system, och skapa en resurseffektiv dricksvattenanvändning, där dagvatten ska användas till vissa syften för att minska förbrukningen av dricksvatten (Uppsala kommun 2021). Några av Kommunens mål inom området är att värna om grundvattnet, Sävjaån och Fyrisån. Stadsmiljön ska byggas för att kunna hantera framtida klimatförändringar (Uppsala kommun 2021).

I en underlagsrapport (Uppsala Vatten 2015) för Uppsala kommuns framtida VA-system år 2050 nämns ett flertal mål för dricksvatten och dagvatten. Gällande dricksvatten är målet att säkra god vattenkvalité och att dagvattenhanteringen ska ske på ett sätt så att grundvattnets status ej försämras i framtiden och att recipienterna når god status (Uppsala Vatten 2015). Målen för dagvatten är att bevara vattenbalansen, ta hänsyn till recipienter och skapa en robust dagvattenhantering (Uppsala Vatten 2015). För att analysera hydrologiska faktorer i området har undersökningar gjorts av Geosigma (2020) där resultatet visade att grundvattenbildningen kommer att minska då området bebyggs.

#### 3.1.1 Skyddade naturområden och Natura 2000

I närområdet till de Sydöstra stadsdelarna finns flera naturreservat och skyddade naturområden (Figur 4). Naturskogsområdet Lunsen och även Sävjaån har Natura 2000 klassning, vilket innebär att området tillhör EU:s mest skyddsvärda naturområden (Naturvårdsverket u.å). Syftet med Natura 2000 är att bevara livsmiljöer för djur och växter och värna om den biologiska mångfalden inom EU (Naturvårdsverket u.å). För att bygga vid ett Natura 2000 område behövs tillstånd sökas. Naturreservatet Årike Fyris ligger längst med Fyrisån och gränsar även till det planerade området (Uppsala kommun 2021). Längst Uppsalaåsen och Fyrisån är det även ett vattenskyddsområde, som sträcker sig en bit in på området för de Sydöstra stadsdelarna.



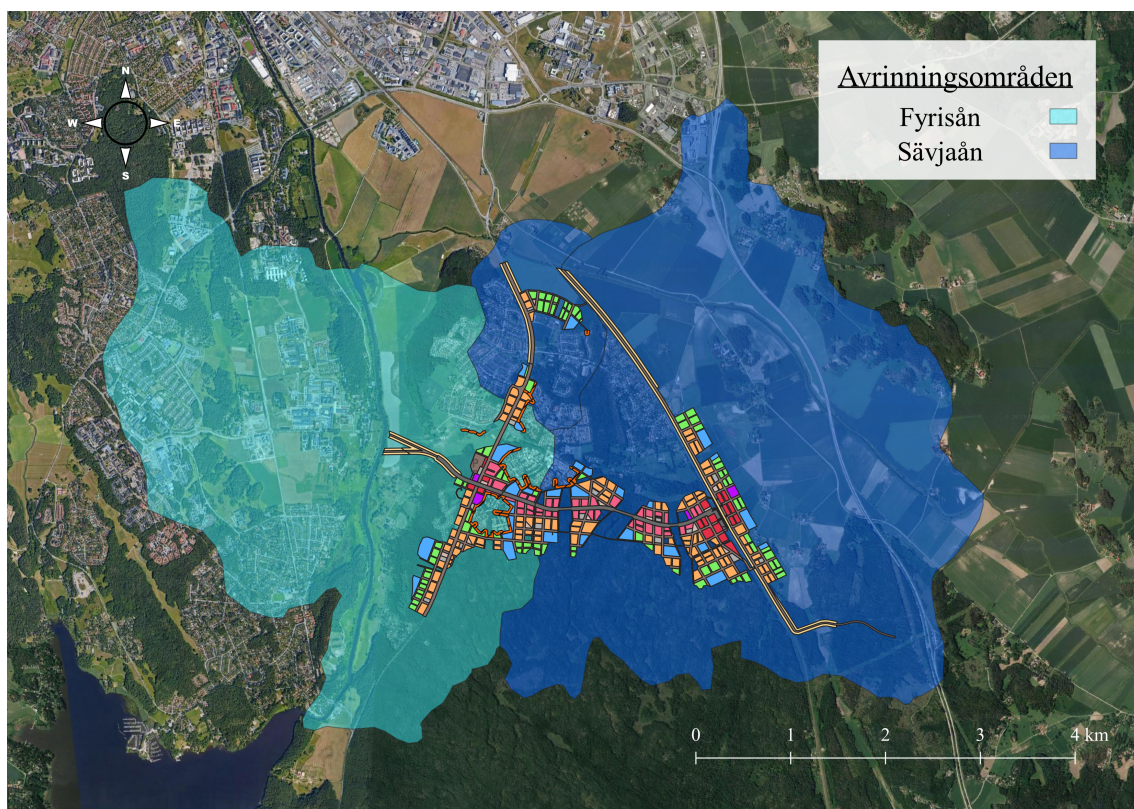
**Figur 4:** Karta över Uppsala och Sydöstra stadsdelarna med markerade naturområden. Skyddade områden, naturreservat © Naturvårdsverket . [Länk till området i Google maps.](#)

För vattendragen i området finns miljö kvalitetsnormer som ställer krav på ekologisk och miljömässig status. Målet är att nå god status inom ekologi och vattenkemi, klassningen ställer även krav på att verksamheter inte får etableras om vattenförekomstens kvalitet kommer att försämrats. För att planen för området ska vara genomförbar behöver det garanteras att ingen negativ påverkan sker på varken naturskyddsområden eller vattendrag (Uppsala kommun 2021).

### 3.1.2 Vattensystem i området

Inom planen för området betonas det att naturliga hydrologiska faktorer inom området ska bevaras (Uppsala kommun 2021). Planområdet för sydöstra stadsdelarna är beläget ovanför två grundvattenförekomster (Uppsalaåsen- Uppsala och Sävjaån- Samnan) där grundvattnet i Uppsalaåsen förser Uppsala med dricksvatten (Uppsala kommun 2021). De Sydöstra Stadsdelarna täcks av två olika avrinningsområden, Fyrisåns och Sävjaåns (Figur 5). Där Sävjaåns avrinningsområde täcker en större del av området och kommer således ta emot en större del dagvatten.





**Figur 5:** Karta över avrinningsområden till Fyrisån (till vänster) och Sävjaån (till höger) som täcker olika delar av de Sydöstra Stadsdelarna. Modifierad från *Vattenkartan* © VISS.

### 3.1.3 Vattenkvalitet i Fyrisån och Sävjaån

För att värdera vattenkvaliteten i vattendrag mot miljökvalitetsnormerna görs mätningar och undersökningar av Vattenmyndigheten och även en slutlig bedömning av vattnets härkomst och ekologiska- och kemiska status som publiceras i databasen "Vatten information Sverige", VISS. Den senaste värderingen av vattenkvaliteten i Fyrisån och Sävjaån beslutades år 2021 (VISS 2022). I VISS finns även uppsatta mål för när miljökvalitetsnormerna ska nås, för vattendrag som ej uppnår god status i dagsläget. Även status för enskilda föroreningar, risk för försämrad status och påverkanskällor går att utläsa i VISS.

Både Sävjaån och Fyrisån uppnår ej god kemisk status och den ekologiska statusen är måttlig i båda (Tabell 2). I Sävjaån baseras statusen på de höga nivåer miljögifter i vattnet, av kvicksilver, PBDE och PFOS som är ett prioriterat ämne. För Fyrisån överskrider även ämnena kvicksilver och andra så som PBDE, PFOS och ANT, BaP, TBT vilket bidrar till bedömningen ej god kemisk status. Bedömningen för ekologisk status som anses måttlig för båda vattendragen, baseras det på höga värden av näringsämnen och kiselalger (en indikator). För Fyrisån detekterades ammoniak som anses som ett särskilt förorenande ämne och bidrar till sämre ekologisk status.

**Tabell 2:** Nuvarande status för vattenkvalitet för Fyrisån och Sävjaån. Data från VISS (VISS 2022). Där inga mätningar gjorts markeras med -.

Parameter	Sävjaån	Fyrisån	risk för sänkt status
<i>Ekologisk</i>	<i>måttlig</i>	<i>måttlig</i>	<i>risk</i>
<i>Kemisk</i>	<i>ej god</i>	<i>ej god</i>	<i>risk</i>
Fosfor	måttlig	måttlig	-
Kväve	måttlig	måttlig	-
Bly	god	god	-
Koppar	god	god	-
Zink	god	god	-
Kadmium	god	god	-
Krom	god	-	-
Nickel	god	god	-
Kvicksilver	ej god	ej god	risk
BaP	-	ej god	osäkert
ANT	-	ej god	osäkert
PBDE	ej god	ej god	risk
TBT	-	ej god	osäkert
Arsenik	god	-	-
NH4-N	måttlig	måttlig	-
PFOS	ej god	ej god	osäkert

## 3.2 VAL AV DATA FÖR BERÄKNINGAR OCH MODELLERING

Projektet baserades på befintliga ritningarna av Sydöstra stadsdelarna, där kvarterens utformning och användning fanns angivet. Regndata hämtades från SMHI:s mätstation Uppsala. Det system som antogs för regnvatteninsamling i området baserades på litteratur och dimensionerades efter det förväntade spillvattenflödet för varje byggnadskategori.

### 3.2.1 Kartor och ritningar över Sydöstra stadsdelarna

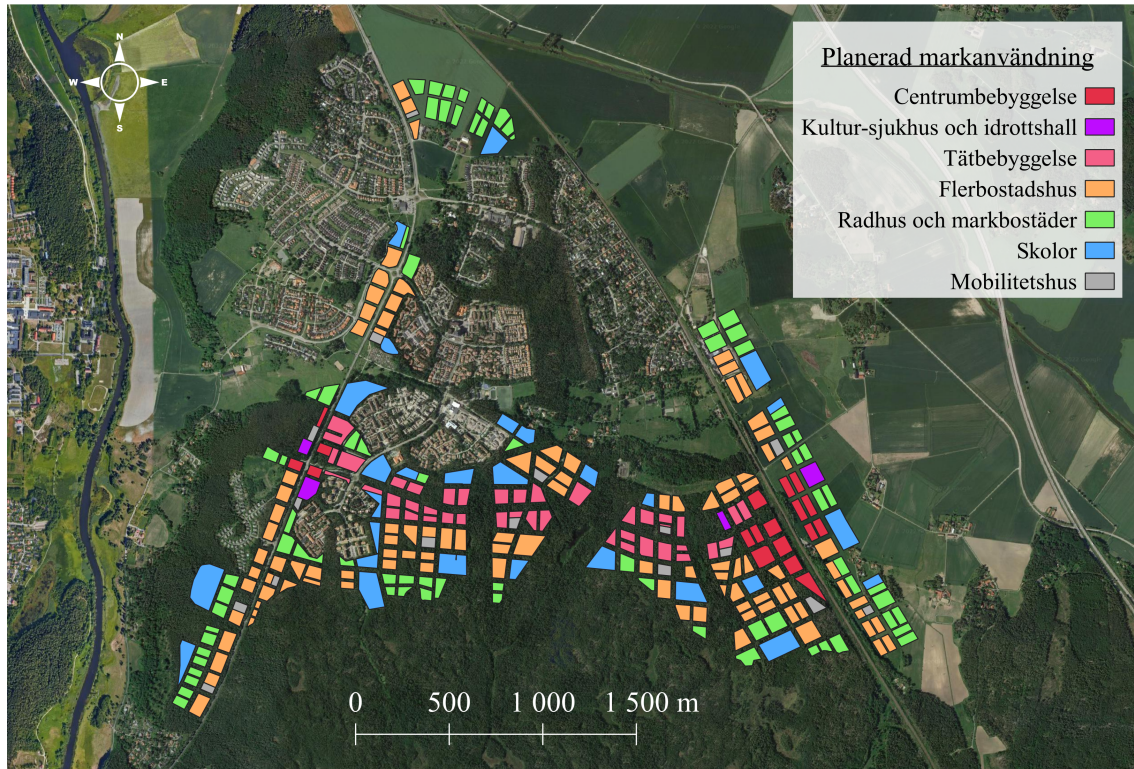
Kartor över området Sydöstra stadsdelarna med den planerade bebyggelsen tillhandahölls av Ramboll. En primärkarta över Uppsalas fastighetsindelning och byggnader laddades ner från kommunens kartverktyg. Kartor över naturskyddsområden och Natura 2000 området hämtades från Naturvårdsverkets kartverktyg. De program som användes för analys av ritningar och kartor var QGIS och AutoCAD.

### 3.2.2 Data för insamlingsyta

För att ta reda på den totala takytan i Sydöstra stadsdelarna undersöktes området i QGIS. Endast ritningar för kvarter fanns tillgängligt och plan på användningsområde. Kategorisering av olika byggnadstyper gjordes utifrån användningsområde och antal våningar (Figur 6). “Centrumbebyggelse” innefattar kontor, handel och arbetsplatser, “Tätbebyggelse” är huvudsakligen bostadshus med upp till 7 våningar med servicelokaler vid bottenplan. “Flerbostadshus” kategoriseras av bostadshus med upp till 5 våningar och småhus. “Radhus och markbostäder” innefattar även lägre flerbostadshus och markbostäder. “Skolor”



innefattar skolverksamheter som förskolor, grundskolor och gymnasieskolor. “Mobilitets-hus” är P-hus och så kallade Multihubbar där det kommer finnas återvinning, bilpool, laddstationer för elbilar och lokaler för uthyrning.



**Figur 6:** Den planerade markanvändningen i Sydöstra stadsdelarna med färgkoder för varje byggnadskategori.

För att uppskatta hur stor andel av varje kvarter som motsvaras av takyta, undersöktes exploateringsgraden av liknande tomter i centrala Uppsala för varje byggnadskategori utifrån fastighetskartan med AutoCAD. För Centrumbebyggelse analyserades byggnader i Industristaden och centrum, för Tätbebyggelse analyserades Rosendahl och för resterande byggnader baserades värdet utifrån nya och gamla liknade byggnader. Förhållandet mellan bebyggd area och tomtarea beräknades för 6 stycken byggnader i varje kategori och ett minsta värde, medelvärde och maxvärde togs fram för exploateringsgraden (Tabell 3). Takytan antogs vara samma som den bebyggda ytan. Tomtarean är avrundad till närmsta 100-tal och exploateringsgraden är avrundad till närmsta 5-tal. Avrinningskoefficienten för tak är 0,9 (Svenskt Vatten 2016a). För att kunna analysera osäkerheten i antagandet om insamlingsytans storlek användes även maximala och minimala exploateringsgraden för att se hur resultatet kan variera.

**Tabell 3:** Data för beräknad insamlingsyta i de Sydöstra stadsdelarna. Tomtarea och maximala och minimala exploateringsgrader visas.

Byggnadskategori	Tomtarea m <sup>2</sup>	Exp medel %	Exp max %	Exp min %
Centrumbebyggelse	98700	80	90	66
Kultur-sjukhus och idrottshall	29000	50	70	32
Tätbebyggelse	195900	45	54	32
Flerbostadshus	517200	30	40	22
Radhus och markbostäder	356500	35	58	17
Skolor	328500	20	29	16
Mobilitetshus	50900	80	90	66
Totalt:	1 576 700			

### 3.2.3 Data för framtida nederbörd

Den data som använts för att uppskatta nederbördsvolymen baserades på data av månadsnederbörd från SMHI:s mätstation "Uppsala". Data från en 10-årsperiod valdes, mellan åren 2011–2021 för att beräkna medelvärde för månadsnederbörd i området. Då nederbörd styrs av klimatet som förväntas förändras i framtiden, användes en klimatfaktor för att uppskatta en ökad nederbördsmängd för Sydöstra stadsdelarna i Uppsala vid år 2050.

Enligt en rapport från SMHI (2015) kommer en ökning av årsmedelnederbörd vara mellan 10–20 % till år 2080, jämfört med år 2011. Det exakta värdet beror på utsläppsmängder och vilket klimatscenario som blir verklighet (Sjökvist et al. 2015). För nederbördsuppskattning för år 2050 och framåt antogs en klimatfaktor på 15 % för nederbördsökning i området, vilket är ett medel av SMHI:s data (Tabell 4). Nederbörd i form av snö antogs vara en liten del och antog därför också vara regn.

**Tabell 4:** Medelvärden för månadsnederbörd (Pmedel) för åren 2011 - 2021 med klimatfaktor på 15 % för åren 2050-2080.

Månad	Pmedel mm	Pmedel med klimatfaktor 15 % mm
Januari	44	50
Februari	32	37
Mars	25	28
April	29	33
Maj	40	46
Juni	54	62
Juli	53	60
Augusti	74	85
September	51	59
oktober	57	65
November	47	54
December	53	61

För att beräkna den maximala volymen dagvatten som kan samlas in av regnvatteninsamling användes en standard ekvation enligt European Committee for Standardization

(2018), se Ekvation 1. En avrinningskoefficient för taket användes och värdet sattes till 0,9 enligt European Committee for Standardization (2018). En faktor för Hydrauliska konduktivitet användes med värdet 0,9 baserat på samma metod, för att ange förhållandet mellan mängden renat vatten ut ur systemet och mängden vatten in i systemet (European Committee for Standardization 2018). Där månadsmedelregn =  $P$  (m/månad), tak area =  $A$  ( $m^2$ ) och avrinningskoefficient för tak är  $K$ . Systemets hydrauliska konduktivitet är  $\eta$ . Insamlad volym vatten är  $V$  ( $m^3$ /månad). Enligt formeln:

$$P \cdot A \cdot K \cdot \eta = V \quad (1)$$

Detta beräknades för varje byggnadskategori och summerades för att få den totala insamlade volymen per år.

### 3.3 BERÄKNINGAR AV VATTENVOLYMER OCH ENERGIÅTGÅNG

#### 3.3.1 Förbrukning av spolvatten

Behovet av vatten till toalettspolning i de Sydöstra stadsdelarna beräknades dels utifrån modelleringar av spillvatten i området och dels utifrån litteraturvärden på spolvattenåtgång per person och dag.

För att beräkna spolvattenförbrukningen för byggnadskategorierna Centrumbebyggelse, Kultur-sjukhus och idrottshall, skolor och Mobilitetshus användes modellerade spillvattentendata, där enheten var L/s. Detta för att verksamheterna inte är bostäder och antal personer som i byggnaderna var svåra att uppskatta. Medelspillvattenflödet för varje fastighet summerades för varje kvarter med en funktion i Excel, där ett medelvärde togs fram för att representera spolvattenförbrukningen för alla byggnader för varje byggnadskategori (Tabell 5). Spillvattenmodelleringen gjordes av Ramboll och baserades på dimensionering från P110 (Svenskt Vatten 2016a) och antaganden från infrastrukturplanen för de Sydöstra Stadsdelarna. Antaget att 21 % av spillvattnet är spolvatten.

För att beräkna behovet av spolvatten för varje månad för bostäder användes enheten L/person/dag. För att beräkna spolvattenbehovet för Tätbebyggelse, Flerbostadshus och Radhus och markbostäder baserades beräkningen på antagandet att 140 L/person och dygn förbrukas, där 21 % är spolvatten (Svenskt Vatten 2016b). Andelen spolvatten beräknades till 29,4 L/person/dag för de kategorierna (Tabell 5).

**Tabell 5:** Värden för spolvattenförbrukningen för byggnadskategorierna i de Sydöstra stadsdelarna.

Byggnadskategori	Spolvattenförbrukning
Centrumbebyggelse	13,96 L/s
Kultur-sjukhus och idrottshall	3,44 L/s
Skolor	7,58 L/s
Mobilitetshus	9,76 L/s
Tätbebyggelse	29,4 L/person/dag
Flerbostadshus	29,4 L/person/dag
Radhus och Markbostäder	29,4 L/person/dag



### 3.3.2 Energiförbrukning vid regnvatteninsamling

För att jämföra energiintensiteten mellan dricksvattenproduktion och regnvatteninsamling valdes kWh/m<sup>3</sup> renat vatten som enhet. Då värdena för energiförbrukningen av system för regnvatteninsamling varierade stort gjordes en känslighetsanalys för att uppskatta energiförbrukningen för systemet i området, med värdena från litteratur med liknade utformning och användning av systemet (Tabell 6). Energiförbrukningen beräknades även med värden från två installationer i Sverige, baserade på driftdata och uppskattade värden (Tabell 6).

**Tabell 6:** Energiförbrukning av liknande system för regnvatteninsamling från litteratur och två installationer i Sverige.

	Energiförbrukning kWh/m <sup>3</sup>
(Chang et al. 2017)	0,25
(Chang et al. 2017)	0,28
(Vieira et al. 2014)	0,30
(Vieira et al. 2014)	0,60
(Ward et al. 2012)	0,54
( kontorshuset Celsius) <sup>1</sup>	0,10
( Citypassagen) <sup>2</sup>	6,60

Energiåtgången för dricksvattenproduktion i Uppsala var 0,69 kWh/m<sup>3</sup> år 2021 enligt Uppsala Vatten (2022). Den resulterade energibesparingen beräknades för totala vattenvolymer enligt Ekvation 2. Där  $E_d$  är energiåtgång för dricksvattenproduktionen,  $E_r$  är energiåtgång för regnvatteninsamlingssystemet ( Tabell 6 ) och  $\Delta E$  är skillnaden i energiåtgång i kWh/m<sup>3</sup>.

$$E_d - E_r = \Delta E \quad (2)$$

### 3.4 MODELLERING AV FÖRORENINGSMÄNGDER MED STORMTAC

Modelleringsprogrammet StormTac används för att analysera kumulativa effekter i recipienter över tid och för att se föroreningsbelastningar från olika typer av markanvändning (Vikander et al. 2019). Programmet har en databas med enhetsmängder av föroreningar som används för att beräkna månads-eller årliga föroreningsmängder. Standardkoncentrationer av ämnen multipliceras med avrinningsvolymen för tidsperioden (Vikander et al. 2019). Avrinningsvolymen baserades på regndata från Uppsala och antagna avrinningskoefficienter för markanvändning i det studerade området. Standardkoncentrationen för varje förorening antogs vara konstant över tid och baseras på mätningar i Sverige och områden med liknade klimatzon (Vikander et al. 2019). StormTac kan även simulera olika typer av dagvattenhantering, till exempel dammar, diken och våtmarker (Vikander et al. 2019).

#### 3.4.1 Modelleringar med regnvatteninsamling

Modelleringar genomfördes för att analysera de föroreningsmängder som når till recipienterna då regnvatteninsamling är installerad, för nollscenario och alla scenarion med

användning av regnvatteninsamling. Två olika metoder användes, metod 1 för alla byggnadskategorier och metod 2 för Centrumbebyggelse och Flerbostadshus för att kunna jämföra resultaten. Val av föroreningar att ha med i modelleringen baserades på standardvärden för vattenkvalité (StormTac Databas 2022) och rekommendationer från Ramboll.

### Metod 1

Metod 1 testades för alla byggnadskategorier, för varje simulering av regnvatteninsamling varierades årsnederbörden, beräknad utifrån insamlad medelvoly (Ekvation 3).

$V_t$  är den totala regnvoly men som faller över de Sydöstra stadsdelarna under ett år i  $m^3$ .  $V_i$  motsvarar den insamlade regnvoly men då regnvatteninsamling installeras för respektive byggnadskategori i  $m^3$ .  $A_t$  är den totala arean för de Sydöstra stadensdelarna.  $P_i$  är den motsvarade årsnederbörd per år i mm.

$$\frac{V_t - V_i}{A_t} 1000 = P_i \quad (3)$$

Den resulterade årsnederbörden beräknad med Ekvation 3 användes som input för de olika scenarierna i StormTac (Tabell 7).

**Tabell 7:** Beräknad årsnederbörd som motsvarar förändringen av dagvattenvoly m då regnvatteninsamling installeras i området, med en klimatfaktor på 15 %.

Scenario	Årsnederbörd (mm)
Nollscenario	626
Centrum bebyggelse	616
Kultur-sjukhus och idrottshall	624
Tätbebyggelse	615
Flerbostadshus	607
Radhus och markbostäder	610
Skolor	618
Mobilitetshus	621
Alla byggnader	556

De föroreningar som modellerades baserades på schablonhalter för varje markanvändning från StormTac Databas (2022). Uppsättningen av föroreningar utgick från StormTacs standard av föroreningar, vilket är olika metaller, näringsämnen och kemikalier. Föroreningen PFOS modellerades även genom att lägga in värden för varje markanvändning manuellt i programmet, då föroreningen inte fanns som standard. Värdena för PFOS togs från StormTac Databas (2022), version från 2022-03-28. De parametrar för markanvändning som användes för varje simulering i StormTac ses i sin helhet i Appendix (Tabell A1).

### Metod 2

Metod 2 testades för Centrumbebyggelse och Flerbostadshus, då dessa fanns som kategorier för markanvändning i StormTac. Resterande kategorier var kategoriserade på samma sätt som i StormTac. För att se effekten av regnvatteninsamling på föroreningshalter

ändrades arean för typ av markanvändning. Arean minskades med den beräknade taky-  
tan för kategorierna, för att se föroreningsminskningen för just den markanvändningen.  
Markanvändningen "Centrumområde" antogs motsvara Centrumbebyggelse med en area  
på 9,8 hektar, minskades med 9,8 hektar av takyta vilket gjorde att den nya arean blev  
0 ha. Flerbostadshus antogs motsvara markanvändningen Flerfamiljshusområdesom var  
110 ha. Takytan av kategorin var 52 ha, vilket gav en ny area på 58 ha som input i Storm-  
Tac. Årsnederbörden hölls konstant på 629 mm/år med klimatfaktor för år 2050.

## 4 RESULTAT

I avsnittet nedan presenteras resultatet av de vilka vattenvolymer som kan samlas in i de Sydöstra stadsdelarna och hur dessa volymer är i förhållande till den förväntade spolvattenförbrukningen. Sedan presenteras känslighetsanalysen med olika värden för energiförbrukning och den potentiella energibesparingen för användning av regnvatteninsamling redovisas. Till sist visas effekten på föroreningsmängder och den minskning som kan ske i dagvattnet som når till Fyrisån och Sävjaån.

### 4.1 POTENTIELL VOLYM INSAMLAT DAGVATTEN

Resultatet för regnvatteninsamling i hela stadsdelen visade att 31 % av spolvattenmängden för ett år kunde ersättas av insamlat dagvatten (Tabell 8) då medel exploateringsgrad antogs. För enskilda byggnadskategorier varierade mängden spolvatten som kunde ersättas. För Centrumbebyggelse kunde den insamlade dagvattenvolymer ersätta 44 % av spolvattenbehovet. För bostäder visades en lägre siffra, där värdena för besparingen var 35 % för Radhus och markbostäder, 30 % för Flerbostadshus och 17 % för Tätbebyggelse. För Skolor visades den högsta besparingen, där 68 % av spolvattenbehovet för ett år kunde täckas.

**Tabell 8:** Tabell över volym insamlat vatten med medel exploateringsgrad, behov av spolvatten för ett år och den resulterande besparingen av vatten för varje byggnadskategori.

Byggnadskategori	Insamlad volym m <sup>3</sup> /år	Spolvatten m <sup>3</sup> /år	Besparing %
Centrumbebyggelse	40933	92451	44
Kultur-sjukhus och idrottshall	7517	22782	33
Tätbebyggelse	45700	261536	17
Flerbostadshus	80435	267905	30
Radhus och markbostäder	64683	185704	35
Skolor	34059	50199	68
Mobilitetshus	21109	64636	33
Alla byggnader	294436	945213	31

För att se hur volymen insamlat vatten kunde variera beroende av uppskattad takyta beräknades även den insamlade volymen dagvatten med max och min antagen exploateringsgrad för byggnadskategorierna (Tabell 9). Resultaten visade att vattenbesparingen för alla byggnader varierade mellan 22-42 % beroende av antagen exploateringsgrad. För Skolor kunde regnvatteninsamling ge upp till 98 % besparing av spolvattnet.

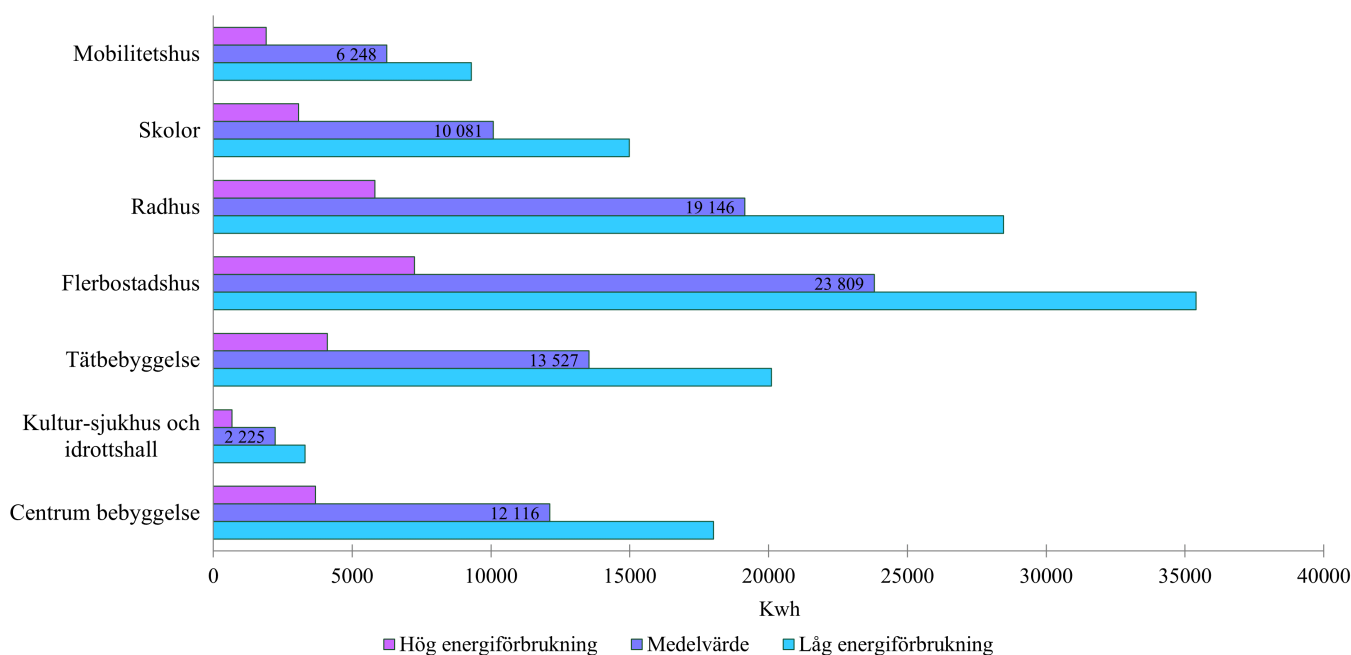
**Tabell 9:** Tabell över volymen insamlat vatten med min och max antagen exploateringsgrad, behov av spolvatten för ett år och resulterande vattenbesparing för varje byggnadskategori.

Byggnadskategori	max volym m <sup>3</sup> /år	min volym m <sup>3</sup> /år	max besparing %	min besparing %
Centrum bebyggelse	46049	33770	50	37
Kultur-sjukhus och idrottshall	10524	4811	46	21
Tätbebyggelse	54839	32497	21	12
Flerbostadshus	107247	58986	40	22
Radhus och markbostäder	107190	31418	58	17
Skolor	49385	27247	98	54
Mobilitetshus	23748	17415	37	27
Alla byggnader	398982	206143	42	22

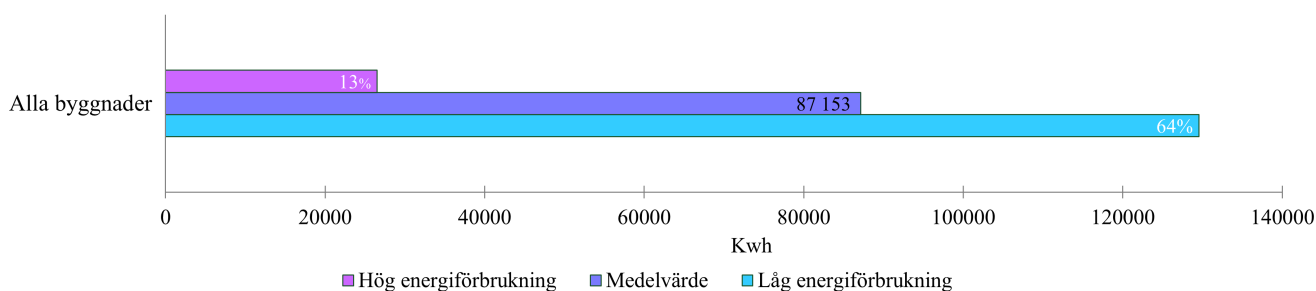
Högsta maximala besparing av dricksvatten för ett år var för byggnadskategorierna Skolor (98 %) och Radhus och markbostäder (58 %) och Centrumbebyggelse (50 %) (Tabell 9). Den minsta vattenbesparingen vid min antagen exploateringsgrad syntes för Tätbebyggelse (12 %), Radhus och Markbostäder (17 %) och Kultur- sjukhus och idrottshall (21 %). Hur väl det insamlade dagvattnet kunde motsvara spolvattenbehovet varierade även över året, beroende av variationen av nederbörd över årstiderna (Tabell 4).

## 4.2 ENERGIFÖRBRUKNING MED REGNVATTENINSAMLING

Känslighetsanalysen med värden från litteratur visade att energiförbrukningen av regnvatteninsamling i stadsdelen varierade stort, jämfört med energin som krävs för att producera samma volym dricksvatten. Vid antagandet om en lågt energiförbrukning på 0,25 kWh/m<sup>3</sup> (Chang et al. 2017) visades en besparing på 64 % respektive antagandet en hög energiförbrukning på 0,6 kWh/m<sup>3</sup> (Vieira et al. 2014) visade en besparing på 13 % per år. Den byggnadskategori som hade störst energibesparing var Flerbostadshus där medelvärdet var 23 000 kWh/år (Figur 7a). Värdena för alla beräknade energiförbrukningar ses i Appendix (Tabell A2).



(a)



(b)

**Figur 7:** Energibesparing i kWh per år jämfört med energin för produktion av samma volym av dricksvatten, där (a) visar energibesparingen för alla olika byggnadskategorier och (b) visar energibesparingen för alla byggnader i hela området. Staplarna motsvarar energibesparingen vid låg (0,25 kWh/m<sup>3</sup>), medel (0,39 kWh/m<sup>3</sup>) och hög (0,60 kWh/m<sup>3</sup>) antagen energiförbrukning.

Det totala energibehovet för regnvatteninsamling i de Sydöstra Stadsdelarna visades variera mellan 73 600 och 176 700 kWh per år, för att behandla maxvolymen dagvatten på 294 400 m<sup>3</sup> i medel. Energin för att producera samma mängd dricksvatten skulle vara 203 200 kWh per år. Den största möjliga energibesparingen skulle således vara 129 600 kWh per år, respektive minsta 26 500 kWh per år (Figur 7b). Resultatet visade en energibesparing på 57 % med antagandet om medel energiförbrukning, vilket motsvarar 87 200 kWh som besparas per år i då regnvatteninsamling används i stadsdelen (Figur 7b).

Energiförbrukningen med värden från etablerade system för regnvatteninsamling i Sverige visade stora skillnader. Citypassagens värde för energiförbrukning på 6,6 kWh/m<sup>3</sup> gav ett totalt värde på 194 000 kWh per år för regnvatteninsamling i hela stadsdelen, medan

uppskattningen från kontorshuset Celsius med en energiförbrukning på 0,1 kWh/m<sup>3</sup> gav ett värde på 30 100 kWh per år. Jämfört med energiförbrukningen för motsvarande volym dricksvatten skulle ingen energibesparing ske för resultatet med Citypassagens energiförbrukning, där energiförbrukningen skulle ökat med 957 % jämfört med värdet för dricksvattenproduktionen. Resultatet med energiförbrukningen från kontorshuset Celsius visade en minskning av energibehovet med 85 % jämfört med dricksvattenproduktionen.

### 4.3 MODELLERING AV FÖRORENINGSNIVÅER

Modelleringen i StormTac visade en minskad föroreningsbelastning då regnvatteninsamling installerades i hela Sydöstra Stadsdelarna, då nederbörden minskades med den insamlade volymen dagvatten (Tabell 8) och även i scenarierna med enskilda byggnadstyper (Tabell 10).

**Tabell 10:** Totala föroreningsmängder i Kg/år för varje scenario av regnvatteninsamling. Där nollscenario är föroreningshalterna utan regnvatteninsamling och resterande är scenarion med regnvatteninsamling installerat i olika byggnadskategorier.

	NOLL	ALLA	CEN	KULT	TÄTB	FLERB	RAD	SKOL	MOBI
P	260	219	251	260	256	248	252	253	260
N	2700	2061	2610	2700	2555	2482	2518	2532	2700
Pb	15	13	15	15	14	14	14,7	14,8	15
Cu	35	30	34	35	34	33,4	34	34	35
Zn	110	93	110	110	110	104	105	105,5	110
Cd	7,10E-01	6,20E-01	7,00E-01	7,10E-01	6,90E-01	6,90E-01	6,90E-01	7,00E-01	7,10E-01
Cr	11	9,5	11	11	11	10,6	10,5	10,55	11
Ni	11	8,6	10	10	10	9,8	9,97	10	10
Hg	7,50E-02	6,40E-02	7,30E-02	7,40E-02	7,30E-02	7,10E-02	7,20E-02	7,30E-02	7,40E-02
SS	100000	83720	97388	99297	97090	93873	95459	97060	98196
Oil	1200	1056	1200	1200	1200	1187	1154	1161	1200
PAH16	5,70E-01	5,00E-01	5,60E-01	5,60E-01	5,50E-01	5,50E-01	5,60E-01	5,60E-01	5,60E-01
BaP	5,80E-02	5,00E-02	5,70E-02	5,80E-02	5,70E-02	5,60E-02	5,70E-02	5,70E-02	5,80E-02
ANT	1,10E-02	1,00E-02	1,10E-02	1,10E-02	1,10E-02	1,06E-02	1,00E-02	1,06E-02	1,10E-02
PBDE99	3,20E-04	2,70E-04	3,11E-04	3,20E-04	3,17E-04	3,02E-04	3,00E-04	3,17E-04	3,20E-04
PBDE209	2,30E-02	1,70E-02	2,30E-02	2,30E-02	2,25E-02	2,10E-02	2,20E-02	2,20E-02	2,30E-02
TBT	1,60E-02	1,40E-02	1,60E-02	1,60E-02	1,50E-02	1,50E-02	1,57E-02	1,58E-02	1,60E-02
As	3,5	3,1	3,4	3,5	3,47	3,34	3,46	3,48	3,5
Cl	32000	27048	31124	32000	31682	30212	30421	31650	32000
Fe	4100	3606	4016	4100	3986	3992	3986,2	4009	4008
NH4-N	900	734	873	893	869	842	860	865	892
PFOS	2,50E-02	2,19E-02	2,41E-02	2,41E-02	2,35E-02	2,37E-02	2,41E-02	2,43E-02	2,40E-02

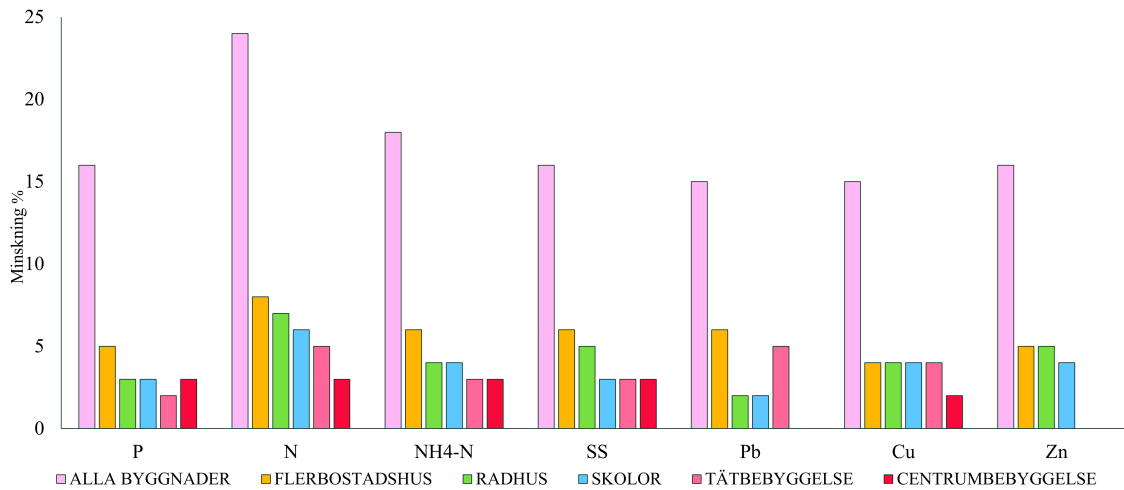
För alla föroreningar hade mängden minskat mellan 11-27 % då regnvatteninsamling antas ha installerats på alla byggnader inom Sydöstra Stadsdelarna. Resultatet visade även skillnader i minskning mellan olika ämnen, för de olika scenarierna som modellerades (Figur 8a, 8b och 8c). För scenariot med regnvatteninsamling installerat på alla byggnader i området visades den största minskningen ske för föroreningarna PBDE 209 (27 %), N (24 %) och Ni (22 %) (Figur 8a, 8b och 8c).

Flerbostadshus visades ha störst minskning utifrån byggnadskategorierna, där den största enskilda minskningen vid installation i Flerbostadshus var för Ni och PBDE 209 som

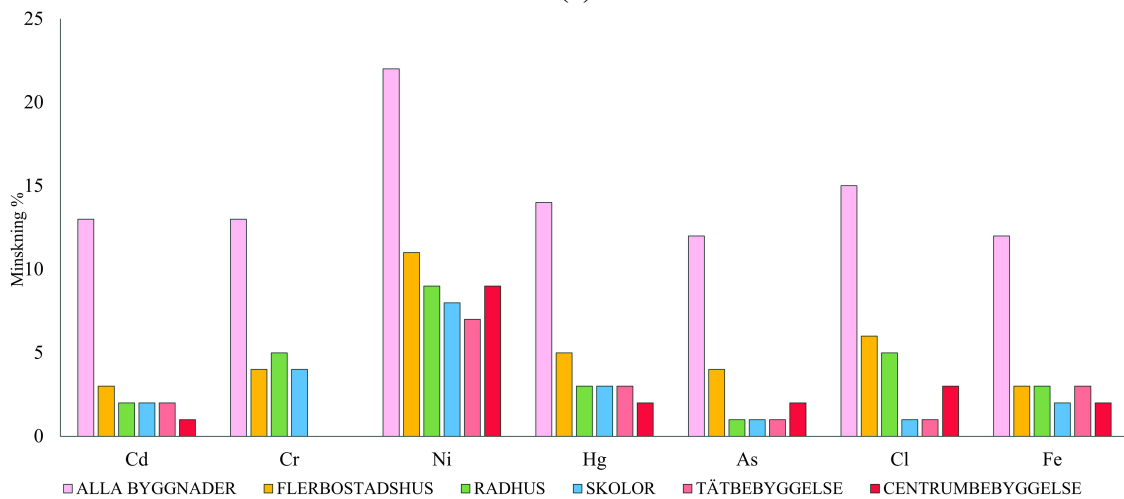
minskades med 11 % i dagvattnet. Vid regnvatteninsamling på endast Centrumbebyggelse visades även föroreningen Ni minskas med störst andel på 9 % (Figur 8b). Däremot minskade inte alla föroreningar i scenariot för Centrumbebyggelse, oförändrade var halterna av Pb, Zn, Cr, olja, ANT, PBDE 209 och TBT. Liknande minskning visades för Radhus och Markbostäder och Skolor. Där Radhus och Markbostäder visade en lite större minskning för de flesta föroreningarna (Figur 8a, 8b och 8c). Där Cl och PBDE99 visade störst skillnad. Tätbebyggelse visades ge störst minskning för Ni på 7 %, följt av PFOS på 6 % och ingen minskning visades för Zn, Cr, olja och ANT.

För byggnadskategorierna Kultur-sjukhus och idrottshall och för Mobilitetshus syntes endast en föroreningsminskning på 1 % i medel och visades därför inte i jämförelsen. Alla föroreningsminskningar i % ses i sin helhet i Appendix (Figur A1)

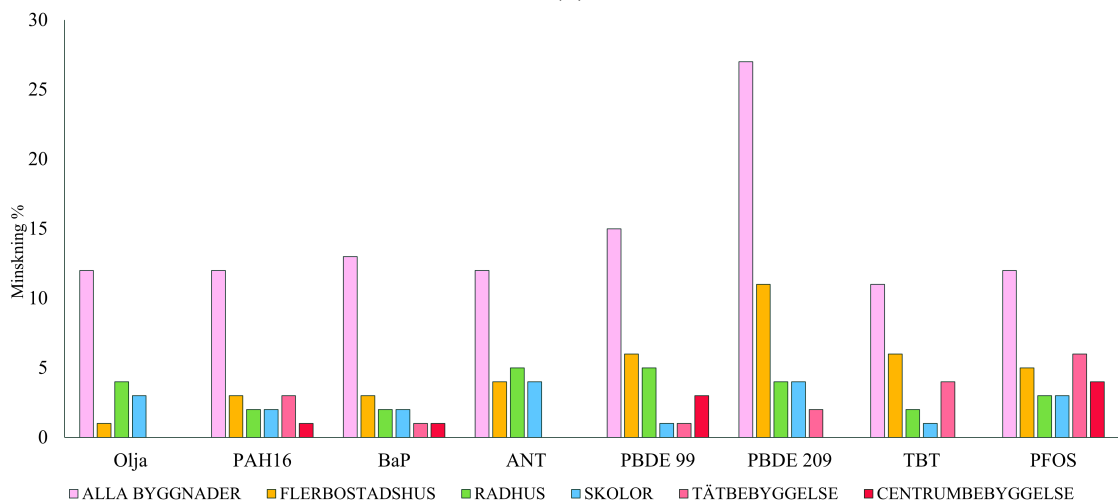




(a)



(b)

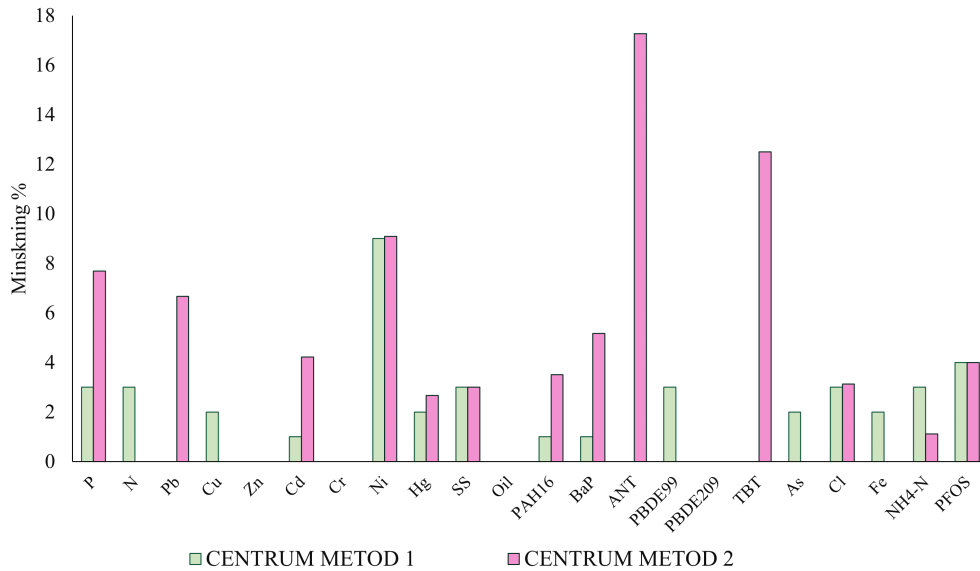


(c)

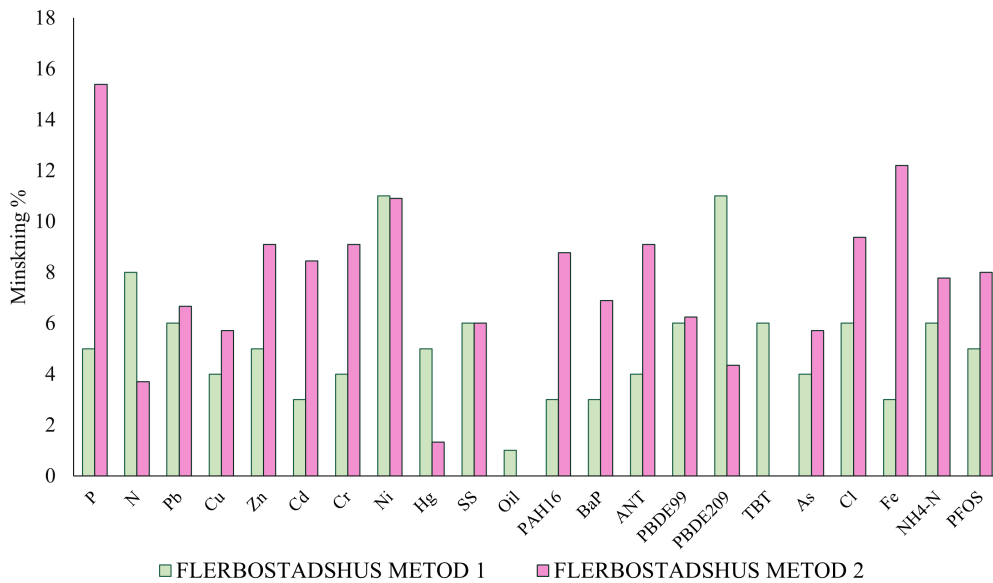
**Figur 8:** Minskning av föreningsmängder i % vid regnvatteninsamling för alla olika byggnadskategorier och alla byggnader, där (a) visar minskning av föroreningarna P, N, NH4-N, SS, Pb, Cu och Zn. (b) visar minskning av Cd, Cr, Ni, Hg, As, Cl och Fe. (c) visar minskning av Olja, PAH16, BaP, ANT, PBDE99, PBDE209, TBT och PFOS.

## Jämförelse av metoder i StormTac

Jämförelsen av de två olika metoder som testades i StormTac för två av kategorierna visade på skillnader i föroreningsminskning, trots att samma insamlade vattenvolym modellerades i programmet.



(a)



(b)

**Figur 9:** Jämförelse av olika metoder i StormTac, där första metoden var varierad årsnederbörd och andra metoden var varierad area för markanvändning. Minskningen av föroreningsmängder i % vid regnvatteninsamling för byggnadskategorierna Centrumbebyggelse (a) och Flerbostadshus (b).

Jämförelsen för Centrumbebyggelse visade på samma föroreningsminskning för Zn, Cr, Ni, Hg, SS, Olja, PBDE209, Cl och PFOS (Figur 9a). Metod 2 med minskad area av mar-

kanvändningen visade större minskning för P, Pb, Cd, PAH16, BaP, ANT och TBT. Där ANT visades ha den enskilt största minskningen på 17 %. Metod 1 med minskad årsnederbörd gav störst föroreningsminskning för N, PBDE99, As, Fe och NH4-N, där metod 2 visades oförändrade värden för alla utom NH4-N (Figur 9a).

Då de olika metoderna jämfördes för Flerbostadshus visades endast SS ge exakt samma föroreningsminskning (Figur 9b). Här gav även metod 2 större minskning för P, Pb, Cd, PAH16, BaP och ANT men även för föroreningarna Cu, Zn, Cr, PBDE99, As, Cl, Fe, NH4-N och PFOS. Metod 1 gav störst minskning för N, Ni, Hg, Olja, PBDE209 och TBT. Ingen minskning visades för metod 2 för Olja och TBT (Figur 9b).

## 5 DISKUSSION

### 5.1 REGNVATTENINSAMLING I DE SYDÖSTRA STADSDELARNA

#### 5.1.1 Potential för regnvatteninsamling - vattenvolym

Resultatet visade att totalt kan 294 000 m<sup>3</sup> dagvatten samlas in i hela Sydöstra stadsdelarna då medel exploateringsgrad var antaget, vilket skulle ersätta 31 % av spolvattenförbrukningen per år. För specifika byggnadskategorier visades Skolor och Centrumbebyggelse vara de byggnader där volymen insamlat vatten var mest lik den efterfrågade spolvattenvolymen, där 68 % respektive 44 % kunde ersättas över ett år (Tabell 8). För varje enskild månad varierar vattenbesparingen, då det är mindre nederbörd under vintern och på sommaren kan det uppstå ett överskott av regnvatten.

Då exploateringsgraden varierades till max för varje byggnadskategori kunde 399 000 m<sup>3</sup> dagvatten samlas in, vilket är en ökning med 36 % (Tabell 9). Då exploateringsgraden varierades till minimum för varje byggnadskategori kunde endast 206 000 m<sup>3</sup> dagvatten samlas in (Tabell 9), vilket är en minskning med 30 %. Alltså kan den insamlade volymen vatten variera mellan +/- 30 % vilket påverkar resultaten av energibesparingen på samma sätt. Påverkan skulle även ske på de modellerade föroreningshalterna i StormTac som beror av den beräknade volymen.

#### 5.1.2 Potential för regnvatteninsamling - energibesparing

Energiförbrukningen av regnvatteninsamling i stadsdelen visade på stora variationer och potential för energibesparing. Det visades att upp till 64 % av energin kunde sparas, jämfört med energin för att producera samma mängd dricksvatten i Uppsala. Även om tekniken inte skulle installeras på alla byggnader i området, utan bara på kommunala byggnader så som kategorierna Skolor, Mobilitetshus, Kultur-sjukhus och idrottshall så skulle en vattenbesparing och energibesparing kunna göras enligt resultatet.

Enskilt störst energibesparing vid installering av regnvatteninsamling skulle ske om det användes på alla Flerbostadshus, då den kategorin har flest antal byggnader i området. Resultatet med värden från befintliga installationer i Sverige visade en stor skillnad i energiåtgång, där energiförbrukningen som mest skulle vara 957 % högre än energin för dricksvattenförbrukningen. Denna energi skulle inte vara realistiskt att lägga på regnvatteninsamling, inte heller miljömässigt försvarbart att bygga ett så energikrävande system. I kontrast med värden från Citypassagen visade resultatet med värden från kontorshuset Celsius en energibesparing på 85 % då regnvatteninsamling skulle användas, vilket ger en besparing på 173 000 kWh/år. Det är en stor skillnad i värden mellan de etablerade systemen i likande byggnader och belyser osäkerheten som finns. Varför energiåtgången visades vara så olika för de etablerade systemen kan bero på att Citypassagens värde är driftdata från ett år då systemet inte användes i sin fulla potential och att värdet för systemet i kontorshuset Celsius baseras på en uppskattning (Ecoloop 2021).

### 5.1.3 Potential för regnvatteninsamling - föroreningsminskning

Resultatet i StormTac med minskad årsnederbörd visade att föroreningsmängderna skulle minska för hela området, även för de scenarion där regnvatteninsamling endast skulle installeras i enskilda byggnadskategorier. I medel minskade den totala mängden föroreningar med 15 % i dagvattnet då systemet installeras i hela stadsdelen. De föroreningsmängder som minskade mest var PBDE99, N och Ni (Figur 8a, 8b och 8c) där PBDE99 är klassad som "ej god status" i båda vattendragen (Tabell 2). N påverkar den ekologiska statusen som idag är "måttlig", med risk för försämring. Andra föroreningar som ANT, TBT och PFOS är klassade med "ej god status" i vattendragen Fyrisån och Sävjaån. Dessa värden bidrar i hög grad till den totala kemiska statusen för recipienterna och behöver minskas för att uppnå en god status.

Flerbostadshus var den byggnadskategori som bidrog till störst enskilda föroreningsminskning, som var 11 % för Ni och PBDE99 (Figur 8b och 8c) med ett medel av 5 % minskning för alla föroreningar. För PFOS var minskningen till 6 % (Figur 8c). Att flerbostadshus ger störst föroreningsminskning förklaras dels som tidigare, att kategorin har flest antal byggnader och störst insamlingsyta för dagvattnet.

De andra ämnen som idag påverkar statusklassningen i vattendragen är bland annat P som skulle kunna minska med 16 % i scenariot med regnvatteninsamling i hela stadsdelen (Figur 8a). Hg är även en förorening som är klassad med "ej god" status, som skulle kunna minska med upp till 14 % (Figur 8b). De installationer som görs av regnvatteninsamling kan alltså minska föroreningsmängden som når recipienterna, men behövs i större etablering för att ge stor effekt.

Metod 2 med minskad area för markanvändning visade att Centrumbebyggelse skulle ge störst föroreningsminskning för ANT och TBT, Vilket inte syntes för metod 1 (Figur 9a). För Flerbostadshus visade metod 2 störst minskning för P och Fe, till skillnad från metod 1 där PBDE209 och Ni minskade mest (Figur 9b). Metodernas skillnader beror på föroreningskoncentrationerna för de olika markanvändningarna som påverkade resultatet i högre grad för metod 2. Centrumbebyggelse kan vara en stor källa till förorening av till exempel ANT och TBT, vilket avspeglas i resultatet då de halterna minskar då markanvändningen minskades.

### 5.1.4 Antaganden och osäkerheter

Detta projekt har gjorts med en rad förenklingar, dels för att kunna få en överblick av en hel stadsdel och för att göra beräkningar trots att området fortfarande är i planeringsstadiet. De Sydöstra stadsdelarna kommer att bestå av hundratals byggnader, där alla byggnader inom samma kategori antogs ha lika stor exploateringsgrad, vilket inte stämmer i verkligheten och har påverkat resultatet av vattenvolym och energiförbrukning. En annan osäkerhet är den klimatfaktor som användes för att beräkna den förändrade årsnederbörden i framtiden. Klimatfaktorn på 15 % baserades på medelvärdet av bästa och sämsta scenario för uppvärmning, vilket inte är helt säkert då vi inte vet vilket scenario som kommer att bli verklighet. Den framtida nederbörden kan även variera från år till år, vilket inte syns med ett medelvärde. Antagandet om att all nederbörd sker i form av regn

bidrar till en stor osäkerhet och överskattning av nederbördsmängd. Snö kommer fortfarande att falla under vintrarna och gör att nederbörden inte kan samlas in på samma sätt.

Förbrukningen av spolvatten för byggnaderna antogs vara lika som idag, vilket inte alls behöver stämma, speciellt då Uppsala vatten sett en minskning på 1 % per år de senaste åren (Uppsala Vatten 2015). En mindre spolvattenförbrukning skulle göra att en större andel kan ersättas av regnvatten (som antas öka i framtiden), alltså vore det troligt att besparingen av vatten till spolning kan vara högre än 22-42 % som visas i resultaten (Tabell 9). Förbrukningen baserades dels på modellerade spillvattenvärden, dels antal personer som uppskattas bo i byggnaderna, vilket är uppskattningar och inga exakta värden.

I starten av projektet var tanken att ge förslag på lagringsdimensionering för regnvatteninsamling i området, men det visades vara en för komplicerad metod för att ge rimliga värden för byggnaderna i de Sydöstra Stadsdelarna. Rekommendationen via EU standarden innebar en simulering med dygnsdata, vilket inte var möjligt att genomföra i detta projekt. Dimensioneringen av systemet är en väldigt viktig del som påverkar effektivitet och kostnad av systemet (de Sá Silva et al. 2022) men som borde göras i ett senare skede då fler detaljer finns tillgängliga om byggnadernas tänkta utformning och planerade användning. Egentligen är lagringsdimensioneringen en begränsande faktor i beräkningen om hur mycket dagvatten som kan samlas in, vilket gör att resultaten kan vara överskattade.

Energibesparingen visades variera stort i känslighetsanalysen då de utvalda litteraturvärden av energiförbrukning användes (Figur 7b). Värden från etablerade installationer av regnvatteninsamling varierade ännu mer, vilket påvisar att uppskattningen av energiförbrukning för installering av regnvatteninsamling i en hel stadsdel är komplex. Att ha en för stor energiförbrukning som är mycket större än för dricksvattenproduktionen är inte försvarbart för ett system som ska vara resursbesparande och bidra till bättre miljö och bidrar även till ökade kostnader, som redan är ett problem med tekniken (Arden et al. 2021).

Antaganden i StormTac för modelleringen av föroreningar var dels att en standardkoncentration för varje markanvändning användes, som i verkligheten kan vara större eller mindre beroende på hur förorenat området är. Egentligen varierar värdena av föroreningshalter över tid, men i StormTac antogs värdena vara konstanta. De enskilda värdena är även baserade på olika mätningar och studier, som har gjorts på olika sätt med olika säkra resultat. StormTac har alltså en inbyggd osäkerhet för de olika föroreningarna. För StormTac antogs den insamlade vattenvolymen beräknad med medel exploateringsgrad, om modelleringen hade gjorts med max exploateringsgrad hade föroreningssminskningen varit större och med min exploateringsgrad skulle hade den varit mindre.

Då de olika metoderna i StormTac jämfördes för Flerbostadshus och Centrumbebyggelse visades stora skillnader i vilka föroreningar som minskades (Figur 9a och 9b). Detta visar att metoden för att likna regnvatteninsamling i StormTac beror till stor del hur den utförs, trots att samma mängd vatten räknas bort ur modellen. Metod 1 med minskad årsnederbörd ger egentligen inte svar på vilka områden som förorenar mest, utan minskar mängderna i hela området i modellen. Metod 2 däremot med minskad markanvändningsarea,

ger en mer exakt bild hur mycket de olika kategorierna kan minska specifika föroreningar lokalt. Metod 2 visar till exempel att ANT minskas med 18 % för Centrumbebyggelse och metod 1 ger ingen minskning (Figur 9a), vilket kan betyda att Centrumbebyggelse har höga koncentrationer ANT, som då minskas i metod 2 då arean minskas. Detta ses däremot inte i metod 1, troligen för att totalt är ANT koncentrationen låg (Tabell 10) och inte påverkas av den lilla minskning som den insamlade volymen dagvatten som kan göras i Centrumbebyggelsen i området. Resultatet för PFOS som behövdes läggas in manuellt, har stora osäkerheter då det endast fanns en begränsad mängd data som värdena av dagvattenhalterna baserades på (StormTac Databas 2022), vilket innebär att resultatet av den föroreningsminskningen kan vara överskattat. Bristen på data för PFOS är stor i dagvattenutredningar.

Resultaten i StormTac och dess effekt på föroreningsbelastningen i stort är relativt osäkra. Egentligen är takvatten relativt rent, jämfört med dagvatten från andra ytor som är mer förorenade. I StormTac ingick andra ytor än enbart tak i modelleringen, vilket troligen resulterade i överskattade föroreningsminskningar från regnvatteninsamling i stadsdelen. I ett större perspektiv är det inte heller säkert att de minskade föroreningsnivåerna i dagvatten skulle ge minskade föroreningskoncentrationer i recipienterna, dels då recipienterna nås av dagvatten från andra delar i avrinningsområdena och dels då de totala föroreningsmängderna kommer öka bara att området bebyggs. Alltså ger regnvatteninsamling och dess föroreningsminskningar enbart en lindrande effekt på ökade föroreningsnivåer i de Sydöstra Stadsdelarna. Däremot kan en mer positiv effekt ses av regnvatteninsamling i kombination med dagvattendammar, som kommer att anläggas i området. Minskade avrinningsvolymen gör att dagvattendammarnas reningseffekt förbättras.

## **5.2 EFFEKTEN AV SYSTEMET JÄMFÖRT MED TIDIGARE STUDIER**

Resultatet av hur mycket dricksvatten som kan sparas i de Sydöstra Stadsdelarna och ersättas av dagvatten (Tabell 9) visades vara mindre än vad som presenterades i området Ringdansen i Norrköping, där 60 % av spolvattnet kunde ersättas (Villarreal och Dixon 2005). Jämfört med internationella studier om regnvatteninsamling till toalettspolning visade även resultatet från de Sydöstra Stadsdelarna en lägre vattenbesparing i de flesta fall. En studie från Storbritannien visade att regnvatteninsamling kunde ersätta 36 - 46 % av det årliga spolvattenbehovet till toaletter (Santos och Taveria-Pinto 2012), vilket är ett exempel av en studie med högre vattenbesparing. Ett flertal andra studier visade vattenbesparingen utifrån den totala dricksvattenförbrukningen. En studie med modellerade värden från flera städer i Brasilien visades en total dricksvattenbesparing på 41 % i medel, med en variation mellan 12 - 79 % (de Sá Silva et al. 2022). Om resultatet från detta projektet skulle visa den totala dricksvattenbesparingen för systemet, så skulle besparingen vara 7 % i medel vilket är mycket lägre än de modellerade värdena från Brasilien.

Utifrån de installerade systemen i kontorshus i Sverige visades Citypassagen ha en vattenbesparing på 45 % (Ecoloop 2021), vilket är lägre än besparingen för både Ringdansen och högre än resultatet presenterat i Tabell 9. Däremot om jämförelsen görs utifrån byggnadskategori är en besparing på 45 % likt scenariot för centrumbebyggelse, 44 % i medel (Tabell 8) där kontorsbyggnader även ingår.

Jämfört med andra vattenbesparande tekniker enligt värden från Ecoloop (2021) visade resultatet för regnvatteninsamling i detta projekt liknade besparing som snålspolande toaletter, som var upp till 53 %. Recirkulerande duschsystem visade en lägre besparing på upp till 30 % (Ecoloop 2021) jämfört med resultatet för regnvatteninsamling. Att kombinera system för regnvatteninsamling och recirkulering skulle kunna ge ännu större besparing och användning av hushållsvatten.

Energibesparingens stora variation mellan 13-64 %, beror på de komponenter och reningssteg som ingår i systemet. Typ av pump, höjd av systemet och vattentryck är detaljer som påverkar energiåtgången (Crosson et al. 2021) och är svårt att uppskatta utan mer detaljerade planer av byggnaderna. De redan installerade systemen i Sverige visade ännu större variation på värdena för energiförbrukning, vilket gör det svårt att uppskatta den verkliga energiåtgången och den framtida kostnaden för användning av regnvatteninsamling i de Sydöstra Stadsdelarna.

### **5.3 HINDER OCH INCITAMENT FÖR REGNVATTENINSAMLING I DE SYDÖSTRA STADSDELARNA**

I översiktsplanen för de Sydöstra Stadsdelarna nämns miljöfokus och stora ambitioner för hållbarhet, där det betonas att dagvatten ska användas som en resurs och ersätta dricksvatten där det är möjligt (Uppsala kommun 2021). För att det ska bli verklighet behövs det satsas på nya tekniker i praktiken och att byggas med tanke på framtiden. Tekniken för regnvatteninsamling har visat sig användbar för att spara dricksvatten och visar sig fungera även i Sverige (Ecoloop 2021). Varför regnvatteninsamling inte används i större skala i Sverige beror till stor del på det låga priset av dricksvatten som följd av att det finns god tillgång på råvatten i Sverige (de Sá Silva et al. 2022). Denna tillgång på råvatten kommer att förändras och minska i framtiden (Schultze et al. 2022), vilket gör att vattnet kommer att bli mer värdefullt och system för vattenbesparing kommer bli vanligare, likt länder som Australien och Sydkorea (Campisano et al. 2017).

Att installera regnvatteninsamling på alla tak på alla byggnader i de Sydöstra Stadsdelarna är inte realistiskt på grund av att tekniken är obeprövad i så stora områden, har höga kostnader och visar låg effektivitet på vissa byggnader. Ett mer realistiskt scenario kan vara en viss användning av regnvatteninsamling i stadsdelen, som även skulle ge effekt på vattenbesparing och energibesparing. Det är oklart om denna föroreningsminskning skulle kunna leda till en förändrad status i vattendragen, då en ökning av föroreningar sker då området bebyggs men att regnvatteninsamling endast lindrar den effekten. Mer än enbart regnvatteninsamling behövs för att förbättra den ekologiska och kemiska statusen i Fyrisån och Sävjaån, andra åtgärder så som minskade utsläppsmängder och ökad rening behövs, enligt rekommendationer från VISS (2022).

Metoden "First flush" som används i system för regnvatteninsamling (Vikander et al. 2019) är ur föroreningssynpunkt en mindre bra metod, då den vattenvolym med störst mängdföroreningar släpps ut i dagvattenledningarna och förs till recipienterna.



Ekonomi är en viktig faktor att väga in då regnvatteninsamling ska planeras, då det är en så pass ny och ej väletablerad teknik i det moderna samhället. Flera studier har belyst att tekniken har få ekonomiska fördelar och lång återbetalningstid (Arden et al. 2021). Dock har en studie kommit fram till att regnvatteninsamling kan vara ekonomiskt fördelaktigt i tätbebyggda områden (Dijk et al. 2020), vilket kommer att byggas i de Sydöstra Stadsdelarna. Om perspektivet förstoras till indirekta effekter av ett system för regnvatteninsamling som minskat råvattenuttag, en avlastning av dricksvattennätet, minskade dagvattenvolymer och alla resurser som sparas av regnvatteninsamling, ges en annan bild av investeringens värde (Campisano et al. 2017). Därför skulle den ekonomiska bilden av tekniken se annorlunda ut om det kunde beräknas hur alla positiva miljöeffekter skulle bidra med värde.

För de Sydöstra stadsdelarna är besparingen av råvatten så som grundvatten en speciellt viktigt faktor, som nämns i både Uppsala Kommuns Uppsala kommun (2021) mål för området och i Uppsala Vattens mål för deras framtida VA-system (Uppsala Vatten 2015). Något som kan förverkligas med installering av regnvatteninsamling i stadsdelen. Regnvatteninsamling är en teknik som kan kopplas samman med flera av målen inom Agenda 2030, speciellt mål 6 - Sanitet och rent vatten för alla, vars delmål rör dricksvattenbesparing, ökad återanvändning och effektivisering av vatten (FN 2015). Mål 11, Hållbara städer och samhällen, kan även kopplas till regnvatteninsamling, då det minskar städernas miljöpåverkan och bidrar till ökad resurseffektivitet. Sedan i ett större perspektiv kan systemet bidra till mål 13 och 15, genom att minska klimatpåverkan att värna om ekosystem och biologisk mångfald.

Redan syns effekterna av ett klimat i förändring (Crosson et al. 2021), tidigare somrar har inneburit torka och översvämningar i Europa. Alla städer kommer behöva hushålla och lagra vatten, särskilt det som ska används som livsmedel (Schultze et al. 2022). Framtiden behöver bli mer resurseffektiv med avseende på dagvattenhantering och endast använda vatten av dricksvattenkvalité till de syften där det verkligen behövs. För att tekniken ska etableras mer behövs mer krav på vattenbesparing från myndigheter och mer innovation inom byggsektorn (de Sá Silva et al. 2022).

### **5.3.1 Framtida studier**

Vidare undersökningar och forskning skulle behöva göras för att utveckla tekniken och undersöka samband, mellan lagringsvolym och energibehov och lagringsvolym och föroreningsminskning. Även undersökningar hur systemet byggs energieffektivt behövs. Fler praktiska tester skulle vara till stor nytta, likt innovationsprojekten som drivs av REWAISE där olika lagringstankar och regnvatteninsamlingsystem testas.

Fler effekter av regnvatteninsamling borde undersökas framåt, Hur skulle regnvatteninsamling för infiltration påverka den vattenbrist som brukar uppstå under sommaren? Mer exakta modelleringar av förorenings effekt borde göras genom att använda metod 2, med minskad markanvändningsarea men mer detaljerat och för alla byggnadskategorier, för att få en mer exakt bild av den förbättring som kan ske. Tekniken behöver effektiviseras och det behöver belysas vilka fördelar och även nackdelar som tekniken för med sig.

## 6 SLUTSATSER

Syftet med projektet var att ta reda på vilken effekt regnvatteninsamling skulle ha i de Sydöstra Stadsdelarna, med fokus på hur stora volymer dagvatten som kan samlas in och hur stor del spolvattnet kan ersättas av detta, vilken energiförbrukning systemet skulle kräva och om föroreningsbelastningen till recipienterna skulle påverkas.

Resultatet visade att 294 000 m<sup>3</sup> dagvatten skulle kunna samlas in i medel i stadsdelarna varje år, vilket kunde ersätta mellan 22-42 % av den totala spolvattenförbrukningen i området. Högst maximala besparing av dricksvatten för ett år sågs hos byggnadskategorierna Skolor (98 %) och Radhus och markbostäder (58 %) och Centrumbebyggelse (50 %).

Energiförbrukningen av regnvatteninsamling i de Sydöstra stadsdelarna visades variera stort, mellan 13-64 % energibesparing jämfört med dricksvattenproduktionen i Uppsala. Redan etablerade system i Sverige visade ännu större variation och en ökning av energiförbrukning, vilket indikerar att energiförbrukningen är osäker att beräkna i förhand utan specificerat system av filter och pump.

Modelleringen i StormTac visade att regnvatteninsamling har en påverkan på föroreningsmängder som når recipienterna inom avrinningsområdena. Föroreningsbelastningen kunde minska med 15 % i medel om regnvatteninsamling installerades i hela stadsdelen, med en större minskning för flera föroreningar som idag klassas med "ej god" status i Fyrisån och Sävjaån. Även om regnvatteninsamling skulle installeras på vissa byggnadskategorier skulle föroreningsbelastningen minska, där Flerbostadshus gav den största enskilda effekten.

För att regnvatteninsamling ska etableras på ett effektivt sätt, både ekonomiskt och resursmässigt, behövs fler undersökningar göras av systemets utformning. Att installera tekniken på alla byggnader i stadsdelen är inte realistiskt, däremot om tekniken skulle installeras på alla större byggnader som Skolor, Centrumbebyggelse och Flerbostadshus kan stora besparingar ske av dricksvatten, energi och miljö, beroende på systemets utformning.

## REFERENSER

- Arden, S., B. Morelli, S. Cashman, M. X.C., M. Jahne och J. Garland (2021). "Onsite Non-potable Reuse for Large Buildings: Environmental and Economic Suitability as a Function of Building Characteristics and Location". I: *Water research* 191. DOI: 10.1016/j.watres.2020.116635.
- Blacken, B., F. Hamann, R. Ashley, M. Vikander och S. vatten (2020). *Vilka nyttor kan blå-grön infrastruktur bidra med?* 2020-12. Svenskt Vatten AB.
- Campisano, A., D. Butler, S. Ward, M. J. Burns och E. Friedler (2017). "Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives". I: *Water Research* 115. DOI: 10.1016/j.watres.2017.02.056.
- Chang, J., W. Lee och S. Yoon (2017). "Energy consumptions and associated greenhouse gas emissions in operation phases of urban water reuse systems in Korea". I: *Journal of Cleaner Production* 141. DOI:10.1016/j.jclepro.2016.09.131, s. 728–736.
- Crosson, C., D. Tong, Y. Zhang och Q. Zhong (2021). "Rainwater as a renewable resource to achieve net zero urban water in water stressed cities". I: *Resources, Conservation and Recycling* 164. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105203.
- de Sá Silva, Á. C. R., A. M. Bimbató, J. A. P. Balestieri och M. R. N. Vilanova (2022). "Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: A review". I: *Sustainable Cities and Society* 76. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103475.
- Dijk, S. van, A. W. Lounsbury, A. Y. Hoekstra och R. Wang (2020). "Strategic design and finance of rainwater harvesting to cost-effectively meet large-scale urban water infrastructure needs". I: *Water research* 184. DOI: 10.1016/j.watres.2020.116063.
- Ecoloop (2021). *Vattenbesparande åtgärder- Exempelsamling för kommuner och hushåll*. Ecoloop, WRS. URL: [Tillg%C3%A4nglig:%20http://www.ecolooop.se/wp-content/uploads/2020/10/Rapport-Vattenbesparande-atgarder-Exempelsamling\\_210122.pdf](http://www.ecolooop.se/wp-content/uploads/2020/10/Rapport-Vattenbesparande-atgarder-Exempelsamling_210122.pdf).
- EPA Victoria (2020). *About stormwater*. Environment Protection Authority Victoria. URL: <https://www.epa.vic.gov.au/for-community/environmental-information/water/stormwater/about-stormwater> (hämtad 2022-03-20).
- European Committee for Standardization (2018). *DS/EN 16941-1:2018: On-site non-potable water systems - Part 1: Systems for the use of rainwater*. ICS 93.025. Bryssel: CEN-CENELEC Management Centre.
- FN (2015). *TRANSFORMING OUR WORLD: THE 2030 AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT*. A/RES/70/1. United Nations. URL: <https://www.sustainabledevelopment.un.org>.
- Granberg, A., D. Hellström, H. Aspegren, P. Ericsson, S. Johansson, H. Kant, L. Ludvigsson-Olafsen, L. Osterman, K. M. Persson, L. Reinius, B. Rutberg och L. Söderberg (2013). *Vattenförsörjningen i Uppsala stad*. 2013-15. Tillgänglig: <http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport2013-15.pdf>. Svenskt Vatten Utveckling.
- Nachshon, U., L. Netzer och Y. Livshitz (2016). "Land cover properties and rain water harvesting in urban environments". I: *Sustainable Cities and Society* 27. DOI: 10.1016/j.scs.2016.08.008.

- Naturvårdsverket (2022). *Skyddade områden, naturreservat*. Kartografiskt material. URL: <https://www.metadatakatalogen.naturvardsverket.se/metadatakatalogen/GetMetaDataById?id=2921b01a-0baf-4702-a89f-9c5626c97844> (hämtad 2022-03-15).
- (u.å). *Natura 2000-områden*. Naturvårdsverket. URL: <https://www.naturvardsverket.se/annesomraden/skyddad-natur/olika-former-av-naturskydd/natura-2000-omraden/> (hämtad 2022-03-20).
- Pamuru, S. T., E. Forgione, K. Croft, B. V. Kjellerup och A. P. Davis (2022). "Chemical characterization of urban stormwater: Traditional and emerging contaminants". I: *Science of the Total Environment* 813. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.151887.
- REWISE (2022). *Röda Oasen i Sege Park*. REWISE. URL: <https://rewise.vasyd.se/News/Roda-Oasen-i-Sege-Park> (hämtad 2022-03-28).
- (u.å). *Om projektet*. REWISE. URL: <https://rewise.vasyd.se/Artiklar/Om-projektet> (hämtad 2022-03-28).
- Santos, C. och F. Taveria-Pinto (2012). "Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods". I: *Resources, Conservation and Recycling* 71. DOI: 10.1016/j.resconrec.2012.11.004.
- Schultze, L., C. Keskitalo, I. Bohman, R. Johannesson, E. Kjellström, H. Larsson, E. Lindgren, S. Storbjörk och G. Vulturius (2022). *Första rapporten från nationella expertrådet för klimatanpassning*. 1. <https://klimatanpassningsradet.se/publikationer/forsta-rapporten-fran-nationella-expertradet-for-klimatanpassning-1.180035>. Nationella expertrådet för klimatanpassning.
- Simpson, I. M., R. J. Winston och M. R. Brooker (2022). "Effects of land use, climate, and imperviousness on urban stormwater quality: A meta-analysis". I: *Science of the Total Environment* 809. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152206.
- Sjökvist, E., M. Asp, J. Mårtensson, S. Berggreen-Clausen, G. Berglöv, E. Björck, A. Johnell, A. Nylén L. Ohlsson och H. Persson (2015). *Framtidsklimat i Uppsala län - enligt RCP-scenarier*. Klimatologi 20. SMHI. URL: <http://www.smhi.se/publikationer/framtidsklimat-i-uppsala-lan-enligt-rcp-scenarier-1.96113>.
- StormTac Databas (2022). *Stormwater, baseflow, surface water and wastewater database v.2022-03-28*. StormTac Corporation. URL: <https://www.stormtac.com> (hämtad 2022-05-06).
- Svenskt Vatten (2011). *Hållbar dag- och dränvattenhantering – råd vid planering och utförande*. P105. Svenskt Vatten AB.
- (2016a). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten*. P110 - Del 1. Svenskt Vatten AB.
- (2016b). *Produktion av dricksvatten*. Svenskt Vatten AB. URL: <https://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/dricksvattenfakta/produktion-av-dricksvatten/> (hämtad 2022-02-27).
- (2021). *Dricksvattenfakta*. Svenskt Vatten AB. URL: <https://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/dricksvattenfakta> (hämtad 2022-02-27).
- Uppsala kommun (2021). *Fördjupad översiktsplan för de sydöstra stadsdelarna inklusive bergsbrunna*. P110 - Del 1. Uppsala: Uppsala kommun.

- Uppsala Vatten (2015). *Underlagsrapport: VA 2050 i Uppsala kommun*. Uppsala kommun. URL: <https://www.uppsala.se/kommun-och-politik/publikationer/va-2050-i-uppsala-kommun/>.
- (u.å). *Vattenförsörjningen i Uppsala stad*. <https://www.uppsalavatten.se/om-oss/verksamhet-och-drift/dricksvatten/>. Uppsala Vatten AB.
- Ward, S., D. Butler och A. Memon F (2012). "Benchmarking energy consumption and CO2 emissions from rainwater-harvesting systems: an improved method by proxy". I: *Water and Environment* 26. DOI:110.1111/j.1747-6593.2011.00279.
- Vieira S, A., C. Beal och R. Ghisi E. Stewart (2014). "Energy intensity of rainwater harvesting systems: A review". I: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 34. DOI:10.1016/j.rser.2014.03.012.
- Vikander, M., H. Österlund, A. Müller, J. Marsalek och M. Borris (2019). *Kunskapssammanställning - dagvattenkvalitet*. 2019-2. Svenskt Vatten AB.
- Villarreal E, L. och A. Dixon (2005). "Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden". I: *Building and Environment* 40. DOI:10.1016/j.buildenv.2004.10.018.
- VISS (2022). *Fyrisån Ekoln - Sävjaån*. Vatteninformation Sverige. URL: <https://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterMSCD=WA67670465> (hämtad 2022-04-27).
- Zanni, S., S. Cipolla S, E. di Fusco, A. Lenci, M. Altobelli, A. Currado, M. Maglionico och M. Bonoli (2019). "Modeling for sustainability: Life cycle assessment application to evaluate environmental performance of water recycling solutions at the dwelling level". I: *Sustainable Production and Consumption* 17. Återgiven med tillstånd, licens: 5277651131658, s. 49.

# A APPENDIX

## A.1 INDATA I STORMTAC

Den indata för varje simulering i StormTac som var samma för alla körningar.

**Tabell A1:** Indata för avrinningsområden i Sydöstra staden. Utan rening med i modellen. Med Volymavrinningskoefficienter  $\phi V$  och area per markanvändning (ha).

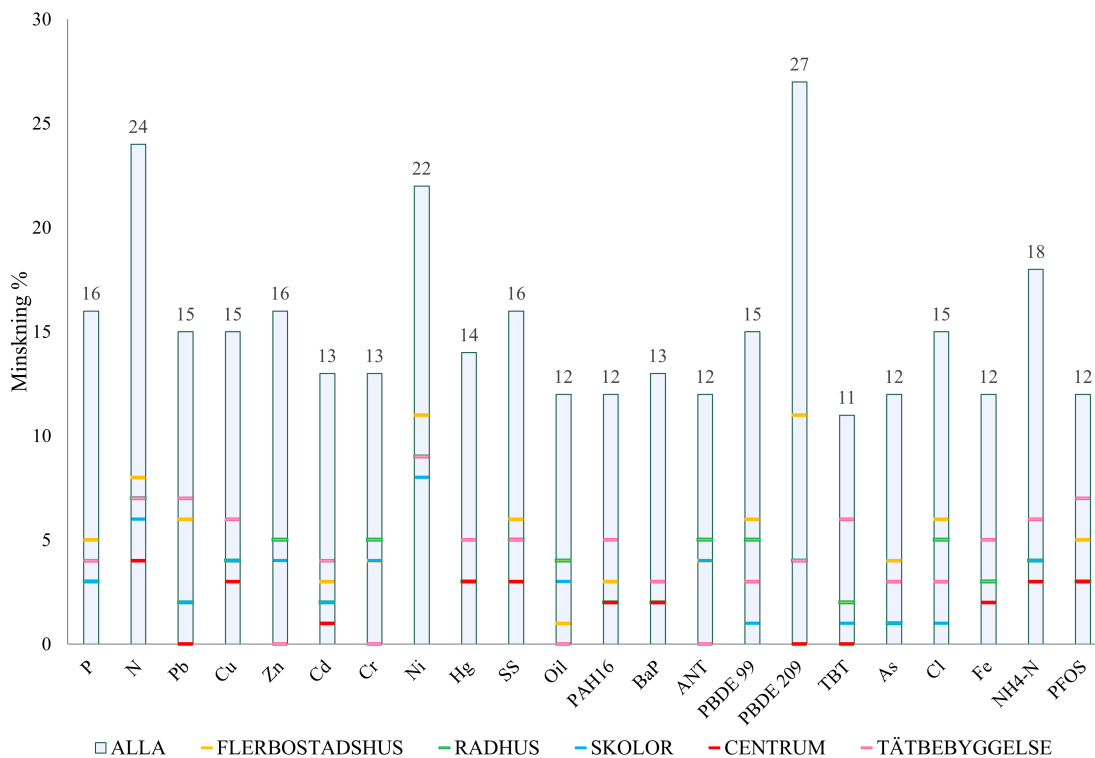
Markanvändning	$\phi V$	$\phi$	A3 - Fyrisån	A4 - Sävjaån	Tot
Väg 1	1,2	1,2	31,7	70,4	100
Parkering	1,2	1,2	2,5	0	2,5
Flerfamiljshusområde	0,3	0,45	36	71	110
Koloniområde	0,1	0,15	0,33	0	0,33
Centrumområde	1	1,1	1,4	8,4	9,8
Parkmark	0,1	0,1	9,4	24	33,4
Skogsmark	0,5	0,1	9,5	32,1	41,6
Jordbruksmark	0,1	0,1	0,53	13,4	13,9
Ängsmark	0,5	0,1	1,5	9,6	11,1
Banvall	0,5	0,5	4,9	8,7	13,6
Skolområde	0,2	0,5	13,7	19,2	32,9
Idrottsplats	0,25	0,25	2,1	7	9,1
Skogsmark	0,5	0,1	4,1	5,2	9,3
Sjukhusområde	1,1	1,1	1,38	0	1,38
Vägdike vid motorväg	0,1	0,1	6	22,1	28,1
Villa- och radhusområde	0,3	0,3	10,8	2,1	12,9
Parkeringsanläggningar	1,2	1,2	1,7	3	4,7
Torg	1,2	1,2	1,1	1,9	3
Industriområde	0,5	0,5	0	57,5	57,5
Kontorsområde	0,5	0,5	0	0,41	0,41
Simbassängsområde	1,1	1,1	0	1,1	1,1
Djurhållning	0,2	0,2	0	19,3	19,3
Betongplatta	1,2	1,2	0	0,41	0,41
Totalt	0,37	0,43	140	380	520
Red avrinningsyta (hared)	;	;	53	140	190
Red dim, area (hared)	;	;	64	160	220

## A.2 RESULTAT ENERGIBERÄKNING

**Tabell A2:** Energiförbrukningen för regnvatteninsamling med olika antagna värden från litteratur och installationer i Sverige.

	$kWh/m^3$	Centrum	kultur	Tätb	Flerb	Radhus	Skolor	Mobili	Alla:
Uppsala Vatten	0,69	35000	10000	70000	185000	128000	118000	18000	564000
(chang 2017)	0,25	13000	4000	25000	67000	46000	43000	7000	204000
(chang 2017)	0,28	14000	4000	28000	75000	52000	48000	7000	229000
(Vieira 2014)	0,30	15000	5000	30000	80000	55000	51000	8000	245000
(Vieira 2014)	0,60	31000	9000	61000	161000	111000	102000	16000	490000
(Ward 2012)	0,54	28000	8000	55000	145000	100000	92000	14000	441000
citypassagen	6,6	337000	99000	669000	1767000	1218000	1122000	174000	5386000
celcius	0,10	5000	2000	10000	27000	19000	17000	3000	84000

**RESULTAT FÖRORENINGSMINSKNING** Den minskning i % för alla föroreningar modellerade i StormTac, jämfört med nollscenario utan regnvatteninsamling.



**Figur A1:** Minskning i % av föroreningsmängder av regnvatteninsamling på olika byggnadskategorier.