



UPPSALA  
UNIVERSITET



UPTEC W 24030

Examensarbete 30 hp

Juni 2024

# Multikriterieanalys som beslutsstöd för regn- och dagvattenåtervinning

---

Emma Welin



UPPSALA  
UNIVERSITET



## Using multi-criteria analysis as a decision-making tool for rain- and stormwater harvesting

---

Emma Welin

### Abstract

Today, problems caused by water shortages are increasing in frequency and magnitude even in Sweden. However, there are great opportunities to replace the use of potable water with water of a lower quality, for example when flushing toilets and irrigation. Collecting and recycling stormwater from roofs and other hardened surfaces can be a step towards using less potable water. There are multiple factors that need to be considered when implementing such a system, and a way to oversee the different perspectives is by doing a multi-criteria analysis (MCA). This is a common decision support method when analyzing complex problems. Water Investments for Sustainability Enhancement and Reliability (WISER) is a multi-criteria analysis decision tool that was developed to facilitate transparent decision-making regarding drinking water systems.

The aim of this project was to apply and evaluate WISER to analyze various aspects of using stormwater as a supplement to potable water. The main questions in this report included what types of systems are available for stormwater recycling. Moreover, what sustainability criteria (technical, social, environmental, and economic) are appropriate to use to evaluate those systems as an alternative to drinking water use? The decision tool WISER was also applied to see if it can be used to determine whether implementing a stormwater system is a sustainable alternative. The case study was an industrial area called Kistinge in the Southwest of Sweden.

The method was based on a literature study and applying the WISER tool in the case study. Two workshops were organized where local stakeholders from the municipality in Halmstad and the local water and wastewater organization LBVA participated in the selection of relevant criteria for the case study and to assess four alternative stormwater recycling systems in WISER: local or centralized collection from roofs, and centralized collection with and without advanced treatment. Calculations were also made to assess drinking water savings, based on local precipitation data and assumptions regarding collection areas and system designs.

The result of the study showed that the available stormwater systems and their area of use vary. Most common type of stormwater recycling systems include a collection area, pipes and storage, a filter, and a pump. Potential criteria to use in a multi-criteria analysis for stormwater recycling systems were developed and evaluated on the case study. The results from the MCA showed that for this industrial area, the small stormwater recycling systems using roofs as the collection area were preferable over bigger systems which managed stormwater from the whole industrial area. However, all systems received a similar index compared to using potable water instead, indicating a weak sustainability performance.

**Keywords:** rainwater, stormwater, rainwater harvesting, stormwater harvesting

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala

Handledare: Johan Åström. Ämnesgranskare: Ingrid Wesström.

Examinator: Antonio Segalini.

## REFERAT

Vattenbrist blir allt vanligare i vårt samhälle och belastningen på vattenresurser och dricksvattensystemen ökar, även i Sverige. Det finns stora möjligheter att ersätta användningen av dricksvatten med vatten av lägre kvalitet för vissa ändamål, till exempel vid toalettspolning och bevattning. Att samla upp och använda dagvatten från tak och andra hårdgjorda ytor kan vara ett steg emot att använda mindre volymer dricksvatten. Många faktorer måste dock beaktas när ett sådant system ska implementeras. Vid sådana tillfällen kan en multikriterieanalys utföras. Water Investments for Sustainability Enhancement and Reliability (WISER) är ett Excel-baserat beslutsverktyg som är utvecklat för att underlätta transparent beslutsfattande kring dricksvattensystem och är baserat på multikriterieanalys.

Detta arbete utvärderade möjligheterna att använda regn- och dagvatten som komplement till dricksvatten. Frågeställningarna undersökte vilka typsystem som finns för regn- och dagvattenåtervinning samt vilka hållbarhetskriterier (tekniska, sociala, miljömässiga och ekonomiska) som är lämpliga för att utvärdera dessa system som ett alternativ till dricksvattenanvändning. Beslutsverktyget WISER testades även i samarbete med en lokal VA-organisation på ett nytt exploateringsområde i Kistinge industriområde.

Metoden var en litteraturstudie och tillämpning av WISER i fallstudien. Två workshops anordnades där lokala intressenter från Laholmsbuktens VA och Halmstads kommun deltog. Där valdes kriterier för att bedöma fyra alternativa regn- och dagvattenåtervinningssystem: fastighetsnära insamling av regnvatten från tak med enskild eller gemensam magasinering, samt ett storskaligt system som samlar in regn- och dagvatten i dagvattendammar med enkel eller avancerad rening.

Resultatet visade att typsystem för regn- och dagvattenåtervinning varierar i komplexitet, men består vanligtvis av en uppsamlingsyta, magasinering, grovfilter och pumpar. Potentiella kriterier att använda vid utförande av en multikriterieanalys för regn- och dagvattensystem utvecklades och tillämpades i fallstudien. Resultatet visade att WISER var användbart som beslutsstöd för regn- och dagvattenåtervinning. För Kistinge industriområde var de mindre regnåtervinningssystemen som hade tak som uppsamlingsyta att föredra framför ett storskaligt system som samlar in både regn- och dagvatten. Alla system presterade dock på liknande nivå som att använda dricksvatten i stället, vilket tyder på att regnvattenåtervinning med dessa system inte nödvändigtvis innebär en hållbarhetsmässig fördel.

**Nyckelord:** tekniskt vatten, recirkulering, regnvatten, dagvatten, takdagvatten

## FÖRORD

Detta examensarbete (30 hp) avslutar fem års studier på Civilingenjörprogrammet inom miljö- och vattenteknik på Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Arbetet är gjort på konsultföretaget Tyréns inom projektet DRIZZLE, vilket är ett forskningsprojekt vars mål är att undersöka alternativ hantering av dagvatten. Det är elva företag som är med och samarbetar i DRIZZLE-projektet, bland annat Tyréns Sverige AB (Björk 2018; Luleå Tekniska Universitet 2024)

Jag vill börja med att tacka Tyréns och min handledare Johan Åström. Tack för att du varit ett bollplank genom hela examensarbetet, det var varit väldigt lärorikt. Sedan vill jag även tacka min ämnesgranskare Ingrid Wesström (Universitetslektor inom markfysik och vattenhushållning) på Sveriges Lantbruksuniversitet för pepp och stöttning.

Även Johan Kjellin, Julia Graflund och Stefan Aguayo på Tyréns har bidragit med viktig kompetens till detta arbete, så tack för det. Jag vill även rikta ett tack till Fredrik Christensson på Laholmsbuktens VA för möjligheten att utföra en multikriterieanalys på Kistinge industriområde.

Sist men verkligen inte minst, TACK till familj och vänner för ert stöd genom hela utbildningen. Det har varit ovärderligt.

*Emma Welin*

Juni 2024

Copyright © Emma Welin och Institutionen för mark och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU)

UPTEC W 24030, ISSN 1401-5765

Digitalt publicerad i DiVA, 2024, genom institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet. (<http://www.diva-portal.org>)

# POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

## Multikriterieanalys som beslutsstöd för regn- och dagvattenåtervinning

I dagens samhälle har det blivit allt vanligare med vattenbrist och ökad belastning på dricksvattenssystemet. Trots detta används dricksvatten, ett livsmedel av hög kvalitet, för att spola toaletterna. För att sätta detta i perspektiv använder i en genomsnittlig svensk ca 140 liter dricksvatten per dag, men endast 10 liter av dessa används till mat och dryck (Svenskt Vatten 2021).

Dagvatten, vilket är regnvatten som rinner på hårdgjorda ytor, skulle efter rening kunna användas för att ersätta en del av vattenbehovet och således skapa en mer lokal cirkulär vattenanvändning. Det är redan vanligt utomlands i områden med långa torrperioder, men i Sverige är det inte lika vanligt. Att hushålla med resurser som vanligtvis går till spillo är ett steg i rätt riktning för att uppnå ett mer hållbart samhälle.

I nuläget är stödet för att ta välinformerade beslut kring implementering av återvinningssystem för regn- och dagvatten begränsad. Systemen behöver betraktas från flertalet olika perspektiv, men i dagsläget saknas ett vedertaget beslutsverktyg som skulle kunna underlätta detta.

Ett sätt att ta transparenta beslut är genom multikriterieanalys, vilket är en metod som betraktar många olika perspektiv vid beslutsfattning. Beslutsverktyget WISER har utvecklats för den svenska dricksvattenbranschen för att utvärdera och jämföra olika dricksvattensystem. Det är Excel-baserat och målet är att bidra till ett transparent beslutsfattande. Om verktyget även kan användas för att analysera alternativa regn- och dagvattensystem är inte tidigare utvärderat.

Målet med studien var att utvärdera möjligheten att använda regn- och dagvatten som komplement till dricksvatten genom att besvara följande frågor:

1. Vilka typsystem för återvinning av regn- och dagvatten finns på marknaden idag?
2. Vilka hållbarhetskriterier (tekniska, sociala, miljömässiga och ekonomiska) är lämpliga att använda för att utvärdera system för regn- och dagvattenåtervinning, som ett alternativ till att använda dricksvatten?
3. Ger beslutsverktyget WISER det stöd som behövs för att ta ställning till om regn- och/eller dagvattenåtervinning är ett hållbart alternativ? WISER testas i samarbete med Laholmsbuktens VA för en fallstudie.

Metoden som användes för att besvara frågeställningarna var en litteraturstudie för att hitta relevant fakta kring återvinningssystemen och vilka tekniska, sociala, miljömässiga och ekonomiska kriterier som kan vara lämpliga att undersöka.

Resultatet från litteraturstudien var att regn- och dagvattensystem kan variera mycket i typ och omfattning, men består vanligtvis av en uppsamlingsyta, magasinering, pumpar och grovfilter. Systemet kan även kompletteras med traditionell leverans av dricksvatten för att

säkerställa möjligheten att täcka behovet även vid långa perioder utan nederbörd. Behovet av rening påverkas av vilket användningsområde det kan användas till. Vattenkvaliteten vid trädgårdsbevattning kan exempelvis tillåtas vara lägre.

En bruttolista på lämpliga hållbarhetskriterier som kan vara relevanta vid regn- och dagvattenåtervinning togs även fram för att besvara den andra frågeställningen. Dessa var följande:

**Tekniska:** *Krav på drift och underhåll och leveranssäkerhet. Sociala:* *Förväntad mikrobiologisk hälsorisk, förväntad kemisk hälsorisk, färg/lukt och förväntad hållbarhetsupplevelse för brukaren. Miljömässiga:* *Energiförbrukning, möjlig dricksvattenbesparing, koldioxidutsläpp, materialanvändningens klimatpåverkan och klimatanpassning. Ekonomiska:* *Kapitalkostnad och drift- och underhållskostnader.*

För den tredje frågeställningen användes verktyget WISER för att undersöka fyra potentiella återvinningssystem av regn och/eller dagvatten i Kistinge industriområde, i Halmstad. LBVA upplever redan nu en hög belastning på sitt dricksvattensystem och den lär bara öka i framtiden på grund av en förväntad befolkningsökning, vilket gör att de nu utreder sätt att minska kundernas dricksvattenanvändning.

I samarbete med LBVA och Halmstads kommun genomfördes två workshopar där lämpliga kriterier valdes, som sedan bedömdes och viktades. Den potentiella dricksvattenbesparingen som de olika alternativen kan bidra med och dess kostnader beräknades med schablonvärden. Baserat på beslutfattarnas åsikter och värden för olika kriterier tilldelades de olika alternativen poäng. Bedömningsgrunden var hur alternativet presterade jämfört med att använda ett dricksvattensystem. Även ett min- och maxvärde tilldelades som en del av varje poängsättning. På så sätt kunde en känslighetsanalys göras och det slutgiltiga sammanvägda indexet per alternativ presenterades med konfidensintervall.

Resultatet från multikriterieanalysen för WISER i Kistinge industriområde var att de småskaliga regnvattensystemen var mer fördelaktiga än storskalig regn- och dagvattenåtervinning. Det tekniska kriteriet drog ner det sammanvägda indexet medan de miljömässiga kriterierna höjde det. Alla system presterade dock på liknande nivå som att använda dricksvatten istället, vilket tyder att återvinning av regn- och dagvatten med dessa system inte nödvändigtvis innebär en hållbarhetsmässig fördel.

## ORDLISTA

**Dagvatten** - Vatten som rinner på hårdgjorda ytor. Dagvatten uppkommer på grund av regnförekomst, snösmältning eller uppträngande grundvatten (Viklander et. al 2019).

**Regnvatten** – I denna rapport används regnvatten som term för dagvatten som rinner på takytor.

**Alternativ 1** – Systemet består av fastighetsnära regnvattenåtervinning separat för varje fastighet. Magasineringsenheten består av en underjordisk kassetmagasineringsenhet och reningen sker endast via grovfilter.

**Alternativ 2** - Systemet består av fastighetsgemensam regnvattenåtervinning separat för varje fastighet. Magasineringsenheten består av en underjordisk kassetmagasineringsenhet som delas mellan 3–4 fastigheter. Reningen sker endast via grovfilter.

**Alternativ 3** – Ett storskaligt återvinningssystem där regn- och annat dagvatten samlas in i två dagvattendammar från både tak och övriga hårdgjorda ytor. En damm för tekniskt vatten finns i anslutning till dagvattendammarna. Reningen består av grovfilter och sedimentation i dagvattendammar.

**Alternativ 4** – Som alternativ 3 men med avancerad vattenrening. Reningen består av grovfilter, sedimentation, luftning, ultraviolett desinfektion och ultrafilter.

**Multikriterieanalys (MKA)**– ett stöd som möjliggör beslutsfattande där olika åtgärder bedöms utifrån kriterier som sedan viktas utifrån dess relativa värde (SMHI 2018). I denna rapport är det tekniska, sociala, miljömässiga och ekonomiska kriterier som undersöks.

**Tekniskt vatten** – Vatten som kan användas som komplement till en kund när kvaliteten tillåts vara lägre än för dricksvatten. Det kan exempelvis vara renat avloppsvatten och ytvatten (Frihammar & Barup 2021), men i denna rapport avses tekniskt vatten vara insamlat regn- och dagvatten.

**Typs-system** – de olika system som kan användas för regn- och dagvattenåtervinning. De kan vara både små- och storskaliga och inkludera olika antal systemdelar.

**Referensalternativ** – I multikriterieanalysen jämförs de olika alternativen med referensalternativet att använda dricksvatten och att använda konventionell dagvattenhantering. Alternativen tilldelas sedan poäng baserat på om de anses bidra till en positiv eller negativ förändring jämfört med referensalternativet.

**WISER** - Water Investments for Sustainability Enhancement and Reliability (WISER) är ett Excel-baserat beslutsstödsverktyg som utvecklats för dricksvattenbranschen (Sjöstrand et. al 2021).

# Innehållsförteckning

|                                                        |           |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INLEDNING</b>                                     | <b>1</b>  |
| 1.1 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR                         | 1         |
| 1.2 AVGRÄNSNINGAR                                      | 2         |
| <b>2 BAKGRUND</b>                                      | <b>3</b>  |
| 2.1 ÅTERVINNING AV REGN- OCH DAGVATTEN                 | 3         |
| 2.1.1 Användningsområden för tekniskt vatten           | 3         |
| 2.2 VATTENKVALITET                                     | 4         |
| 2.2.1 Reningstekniker                                  | 4         |
| 2.3 MULTIKRITERIEANALYS                                | 5         |
| 2.3.1 Bestäm kriterier                                 | 5         |
| 2.3.2 Värdering av alternativ                          | 6         |
| 2.3.3 Viktning av kriterium                            | 6         |
| 2.3.4 Linjär additiv metod                             | 6         |
| 2.4 FALLSTUDIE - LBVA                                  | 6         |
| <b>3 METODER</b>                                       | <b>8</b>  |
| 3.1 LITTERATURSTUDIE                                   | 8         |
| 3.1.1 Sökord och databassökning                        | 8         |
| 3.1.2 Metod för att bestämma bruttolista med kriterier | 8         |
| 3.2 WISER                                              | 9         |
| 3.3 FALLSTUDIE KISTINGE INDUSTRIOMRÅDE                 | 9         |
| 3.3.1 Workshop 1                                       | 11        |
| 3.3.2 Workshop 2                                       | 12        |
| 3.3.3 Uppskattning av besparad dricksvattenvolym       | 12        |
| 3.3.4 Kostnadsuppskattningar                           | 15        |
| 3.3.5 Känslighetsanalys                                | 18        |
| <b>4 RESULTAT</b>                                      | <b>20</b> |
| 4.1 TYPSSYSTEM REGN- OCH DAGVATTENÅTERVINNING          | 20        |
| 4.1.1 Magasinering                                     | 22        |
| 4.1.2 Sammanfattning av resultat                       | 22        |
| 4.2 KRITERIER VID MULTIKRITERIEANALYS                  | 22        |
| 4.3 TEKNISKA KRITERIER                                 | 24        |
| 4.3.1 Krav på drift och underhåll                      | 24        |
| 4.3.2 Leveranssäkerhet                                 | 25        |
| 4.4 SOCIALA KRITERIER                                  | 25        |
| 4.4.1 Förväntad mikrobiologisk hälsorisk               | 25        |
| 4.4.2 Förväntad kemisk hälsorisk                       | 26        |



|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.4.3 Färg/lukt.....                                                | 27        |
| 4.4.4 Förväntad hållbarhetsupplevelse för brukaren.....             | 27        |
| 4.5 MILJÖMÄSSIGA KRITERIER .....                                    | 28        |
| 4.5.1 Energiförbrukning.....                                        | 28        |
| 4.5.2 Möjlig dricksvattenbesparing.....                             | 28        |
| 4.5.3 Koldioxidutsläpp.....                                         | 28        |
| 4.5.4 Klimatanpassning.....                                         | 28        |
| 4.5.5 Materialanvändningens klimatpåverkan .....                    | 29        |
| 4.6 EKONOMISKA KRITERIER .....                                      | 29        |
| 4.6.1 Kapitalkostnad .....                                          | 29        |
| 4.6.2 Drift- och underhållskostnader .....                          | 29        |
| 4.7 FALLSTUDIE.....                                                 | 29        |
| 4.7.1 Beräknad dricksvattenbesparing .....                          | 30        |
| 4.7.2 Sammanställning poängsättning .....                           | 31        |
| 4.7.3 Sammanvägt index.....                                         | 34        |
| 4.7.4 Känslighetsanalys: Korrelationsanalys .....                   | 36        |
| <b>5 DISKUSSION .....</b>                                           | <b>39</b> |
| 5.1 WISER – FALLSTUDIE KISTINGE INDUSTRIOMRÅDE.....                 | 39        |
| 5.2 KRITERIET ”UPPLEVD HÅLLBARHETSUPPLEVELSE FÖR BRUKAREN”<br>..... | 40        |
| 5.3 LÄRDOMAR .....                                                  | 41        |
| 5.4 VIDARE STUDIER FÖR ANVÄNDNING AV WISER.....                     | 41        |
| 5.5 VIDARE STUDIER FÖR MÖJLIGGÖRA BESLUTFATTANDE....                | 42        |
| <b>6 SLUTSATSER .....</b>                                           | <b>44</b> |
| <b>7 REFERENSER.....</b>                                            | <b>45</b> |

# 1 INLEDNING

Vattenbrist kan uppkomma i stora delar av världen, även i Sverige. En ökande befolkning och mer extremt väder gör att vattenbrist kan få konsekvenser på hela samhällen eftersom det har en stor påverkan på hushåll, jordbruk och industrier (Lundin Unger 2017). Att effektivisera användningen av dricksvatten är att arbeta i linje med flera mål i Agenda 2030, exempelvis rent vatten och sanitet (Frihammar & Barup 2021; Raimondi et. al 2023).

När dricksvattenkvalitet inte är ett krav för användning kan det ersättas av andra vattenkällor av lägre kvalitet. Tekniskt vatten definieras som en alternativ vattenkälla när användningen av vattnet inte kräver dricksvattenkvalitet. Detta kan exempelvis vara renat avloppsvatten, ytvatten eller liknande (Frihammar & Barup 2021). Regn- och dagvattenåtervinning, vilket är att samla in regnvatten från tak och andra hårdgjorda ytor, kan användas som ett komplement till dricksvatten och vid bland annat spolning av toalett, bevattning och tvättning av kläder.

I dagsläget används uppemot två tredjedelar av Sveriges totala vattenanvändning av industrier (Rabe 2023). I detta inkluderas både allmän och enskild vattenförsörjning (Statistikdatabasen 2022). Att utveckla system som möjliggör användning av regn- och dagvatten för detta ändamål kan göra stor skillnad för belastningen på vattenresurser och på den lokala vattenförsörjningen (Rabe 2023).

Långsiktigheten och konkurrenskraften av regnvattenåtervinning i relation till andra alternativ har inte utretts i stor utsträckning, vare sig i Sverige eller internationellt (Sharma et. al 2015). Ett ökat intresse för vattenbesparande åtgärder har gjort att det är av värde att ta fram ett beslutsstöd för implementering av regn- och dagvattenåtervinning. Multikriterieanalys är ett beslutsstöd som används för att underlätta transparent beslutsfattande genom att beakta flera olika perspektiv (Dean 2020). Det finns ett beslutsstödsverktyg på marknaden idag som heter Water Investments for Sustainability Enhancement and Reliability (WISER) som används inom dricksvattenbranschen. WISER är Excel-baserad och erbjuder möjligheter att analysera olika aspekter av hållbarhet, med eller utan osäkerheter (Sjöstrand et. al 2021). Verktygets relevans för bedömning av tekniskt vatten såsom regn- och dagvatten är inte utforskad.

## 1.1 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Syftet med projektet var att utvärdera möjligheten att använda recirkulering av regnvatten som komplement till dricksvatten. Detta gjordes genom att tillämpa beslutsverktyget WISER på en fallstudie och utvärdera om det är ett funktionellt beslutsverktyg. Projektet utfördes i samarbete med en kommunal VA-organisation för att hitta lämpliga ekonomiska, sociala, miljömässiga och tekniska kriterier för poängsättning, viktning och analys.

Frågeställningarna som undersöktes i denna rapport var följande:

1. Vilka typsystem för återvinning av regn- och dagvatten finns på marknaden idag?

2. Vilka hållbarhetskriterier (tekniska, sociala, miljömässiga och ekonomiska) är lämpliga att använda för att utvärdera system för regn- och dagvattenåtervinning, som ett alternativ till att använda dricksvatten?
3. Ger beslutsverktyget WISER det stöd som behövs för att ta ställning till om regn- eller dagvattenåtervinning är ett hållbart alternativ? WISER testas i samarbete med Laholmsbuktens VA för en fallstudie.

## **1.2 AVGRÄNSNINGAR**

I denna rapport undersöktes endast recirkulering av regn- och dagvattenvatten som komplement till dricksvatten. Detta vatten avser inte att användas vid förtäring, utan i stället som komplement där vattenanvändningen inte behöver vara av dricksvattenkvalitet. Rapporten behandlade således endast tekniskt vatten som har ursprung från insamlat regn- och dagvatten.

De system som analyserats för att besvara den första frågeställningen är endast de vars magasinering möjliggör direkt användning för användaren. Det finns även återvinning av regn- och dagvatten som exempelvis perkolationsmagasin där regnvatten leds ner till grundvattnet. Detta avhandlas inte i denna rapport eftersom grundvattnet sedan behöver pumpas upp för att bli tillgänglig för användaren.

## **2 BAKGRUND**

Dagvatten är vatten som inte perkolerar ner i marken utan avrinner till andra ytor. Dagvatten uppkommer på grund av regnförekomst, snösmältning eller uppträngande grundvatten (Viklander et. al 2019).

Nedan diskuteras återvinning av regn- och dagvatten, dess vattenkvalitet och potentiella användningsområden. Även multikriterieanalys och fallstudien presenteras.

### **2.1 ÅTERVINNING AV REGN- OCH DAGVATTEN**

Regn- och annat dagvatten har länge varit en användbar vattentillgång, det finns exempel på hur detta användes redan i antika Grekland (Sharma et. al 2015). Under torrperioder minskar grundvattenreserven vilket kan leda till vattenbrist i både små och stora vattentäkter. Även när den högsta kapaciteten för dricksvattenproduktionen nås blir det problem med vattenbrist (Jephson & Kristiansson 2023).

Insamling av vatten kan göras från hårdgjorda ytor som exempelvis tak och parkeringsplatser (Frihammar & Barup 2021). Om uppsamlingen sker på tak underlättas uppskattningen av insamlad vattenvolym, flöde och vattenkvalitet (Jephson & Kristiansson, 2023). Om ett insamlingssystem för regnvatten fungerar väl kan uppemot 90 % av vattnet som hamnar på taket samlas in (Khoury-Nolde 2001). Av den anledningen har regnvattenåtervinning återigen blivit mer aktuellt som ett komplement till dricksvatten i stora delar av världen (Sharma et. al 2015). Det används redan i stor utsträckning i arida och semi-arida områden (Abdelkader et. al 2023).

#### **2.1.1 Användningsområden för tekniskt vatten**

Dricksvatten är i Sverige ett livsmedel som regleras i hög grad med tydliga krav på dess vattenkvalitet (Svenskt Vatten 2021). Det vatten som inte är av dricksvattenkvalitet men kan erbjudas som komplement till kunders tekniskt vatten (ibid.). Utöver att tekniskt vatten är aktuellt för att uppnå hållbar dricksvattenanvändning kan det även under vissa förhållanden vara ekonomiskt fördelaktigt, särskilt med tanke på att kostnaden för dricksvatten förväntas öka i framtiden (Khoury-Nolde 2001; Cory & Taylor 2017).

Ett sorts tekniskt vatten erhålls genom att samla in regn- och dagvatten. Beträffande lagstiftning kring regn- och dagvatten varierar den baserat på användningsområde (Frihammar & Barup 2021). Om vattnet behandlas ökar de potentiella användningsområdena, men enligt Sharma et. al (2015) finns det begränsad kunskap kring hur återvinning av regn- och dagvatten kan användas eftersom det är ett flertal aspekter som påverkar lämpligheten. Dessa inkluderar hur användning av regnvatten påverkar den allmänna hälsan av en population, kostnaderna kring användning och konstruktion av ett regnvattenåtervinningssystem, dess påverkan på dagvattensystemet, energibehovet som pumparna kräver och den sociala acceptansen av att använda vatten av lägre kvalitet (Sharma et. al 2015).

Eftersom klimatet blir alltmer extremt kan regnvatteninsamling även användas som ett steg i att utjämna dagvattenflödet. Det beror på att regnvattnet samlas upp i stället för att tillåtas avrinna till en annan yta vilket minskar den totala mängden vatten som dagvattensystemet behöver hantera (ibid.).

## **2.2 VATTENKVALITET**

Kvaliteten på vatten påverkas av luftföroreningar men även av ytan som regnet landar på (Ogale 2024) och hur väl underhållet systemet är (Worm & van Hattum 2006). Att använda takytor för insamling innebär vanligtvis bättre vattenkvalitet än insamling från marken eftersom tak generellt är mindre förorenade. Innehållet i regnvattnet varierar även beroende på närhet till vägar och hur frekventa regnfallen är. Parkeringsytor riskerar att förorena vattnet genom tungmetaller och oljespill (Frihammar & Barup 2021).

Vattenkvaliteten i regnvattnet påverkas även av reaktioner med luften (de Kwaadsteniet et. al 2013). Regnvatten har ett pH under 7, vilket gör att det även kan reagera med materialet det rinner på (Struck 2011). Vattenkvaliteten kan även påverkas av avföring från fåglar och andra djur, vilket ökar risken för smittämnen (Sharma et. al 2015).

Det första regnet som faller på en yta (ofta ca 20–25 l/m<sup>2</sup>) innehåller ofta mest föroreningar och bör avledas och inte samlas in (Khoury-Nolde 2001). Detta kallas ”first-flush” och översätts till första spolningen (Jephson & Kristiansson 2023). Även i fall där första spolningen avleds kvarstår behovet av rening på resterande vatten (Ogale 2024).

### **2.2.1 Reningstekniker**

Reningstekniker för recirkulering av vatten kan variera. För att uppnå mest fördelaktig rening kan flera reningstekniker kombineras (Jephson & Kristiansson 2023). Dagvatten fodrar generellt mer rening än regnvatten som samlas in på tak (Frihammar & Barup 2021).

Ultrafilter är en reningsteknik där patogener och andra partiklar effektivt avskiljs genom hålfiber, exempelvis med porstorleken 0,01 µm (Sekizovic & Warman 2023). En annan teknik är luftning, där exempelvis syre används för att reagera med metaller som därigenom avskiljs (Jephson & Kristiansson 2023). Ultraviolett ljus (UV) avdödar patogener genom strålning av en viss våglängd (Valentin et. al u.å.). En sammanställning av potentiella reningstekniker för regn- och dagvatten ges i Bilaga 1, I Tabell A1 sammanfattas olika reningstekniker som kan användas för rening av regn- och dagvatten.

Vilket användningsområde för regnvatten som är mest relevant beror på vattnets renhetsgrad. Filtrering genom sand är en vanlig och fördelaktig metod för rening av föroreningar som är vanliga i regnvatten (Ahmed et. al 2010). Dagvatten utan rening kan i viss mån användas till bevattning (förutsatt att det inte är grödor som ska konsumeras), medan luftning, ultrafilter och ultraviolett-strålning exempelvis kan vara lämpligt där större exponering sker mot människor. Även om användningsområdet är spolning av toalett och tvätt av kläder fodrar denna användning ofta avancerad rening (Frihammar & Barup 2021).

## 2.3 MULTIKRITERIEANALYS

Multikriterieanalys (MKA) är ett paraplybegrepp för beslutsstöd. Målet är att med kriterier jämföra alternativa sätt att uppnå ett mål utifrån kriterier. Alternativen bedöms utifrån samma kriterier vilket skapar en övergripande bild av problemet och de olika valmöjligheterna (Dean 2022). Resultatet visar således vilket alternativ som är mest lämplig utifrån förutsättningarna (Dodgson et al. 2009). MKA kan användas för att ta fram ett alternativ, ranka olika alternativ eller dela in alternativen i två olika kategorier: fördelaktiga eller icke-fördelaktiga. Ett kriterium resulterar i en bedömning, som ofta representeras i poäng och/eller färgkodning. Resultatet används för att avgöra alternativens lämplighet och redovisas vanligtvis i en tabell (ibid.).

Det finns många olika sätt att utföra en multikriterieanalys. Vilken multikriterieanalysmetod som är mest lämplig beror på vilket beslut som ska tas, hur djupgående analysen ska vara, vilka krav som ställs av uppdragsgivaren och vilken data som finns att tillgå (ibid.).

Enligt Melville-Shreeve et al. (2016), kan följande steg användas för att göra en multikriterieanalys. Några av dessa kommenteras närmre nedan.

1. Definiera det slutgiltiga målet med multikriterieanalysen. Då blir det lättare att undersöka vilka alternativ som finns att tillgå och vilka kriterier som är lämpliga (Dodgson et al. 2009).
2. Undersök vilka alternativ som är lämpliga, vilket exempelvis kan göras med litteraturstudie.
3. Bestäm vilka kriterier som alternativen ska undersökas utifrån.
4. Utför värderingen, vanligtvis med en prestandamatrix.
5. Utvärdera det framtagna resultatet.

Kriterierna viktas även baserat på dess relevans för det definierade målet (ibid.). Val av lämpliga kriterier, värdering av alternativ och viktning diskuteras separat nedan.

### 2.3.1 Bestäm kriterier

Kriterierna bör bestämmas på ett sådant sätt att de bidrar till att uppnå det slutliga resultatet (ibid.). Det finns inte en specifik uppsättning kriterier som är generellt lämplig, utan det varierar från fall till fall. Kriterierna bör vara så få som möjligt samtidigt som de ska täcka så mycket som möjligt som är av värde för det slutgiltiga målet. Kriterierna måste även upplevas som relevanta av beslutsfattarna, vara mätbara och inte överlappa med andra kriterier (Dean 2022).

Kriterier kan vara både hårda och mjuka. De mjuka parametrarna värderas utifrån personlig erfarenhet och åsikter, medan hårda parametrar bedöms utifrån valda eller beräknade värden (Dean 2020).

### 2.3.2 Värdering av alternativ

Vid värderingen av de olika alternativen är det fördelaktigt att jämföra med ett referensalternativ (Dodgson et al. 2009). Referensalternativet är vanligtvis att ingen förändring sker jämfört med systemet som finns i nuläget (Sjöstrand et. al 2021). Värderingen kan göras utifrån både direkta och indirekta konsekvenser av alternativet, men det kan leda till att det blir svårare att jämföra och värdera olika kriterier. Ett exempel på detta är om de ekonomiska kriterierna bedöms utifrån en specifik fastighet, medan de sociala görs övergripande för hela samhället. Då undersöks sociala faktorer utifrån ett helt samhälle medan de ekonomiska faktorerna beräknas på individnivå, vilket kan resultera i inkonsekventa uppskattningar (Dean 2022).

### 2.3.3 Viktning av kriterium

De olika alternativen viktas baserat på beslutsfattarnas åsikter. Viktningen som tas fram ska understryka värderingar som påverkas av beslutet, där ett högt värde på skalan uppskattas vara mer värdefullt (Dodgson et al. 2009). Ett exempel på när ett kriterium kan viktas ner är när prisskillnaderna mellan olika alternativ är försumbar. Om det i stället är stor prisskillnad ska det i stället visas i viktningen genom att tillsätta ett högt värde på det billigaste alternativet (ibid.). Värderingarna och dess viktningar sammanställs sedan för att ge ett slutligt resultat.

### 2.3.4 Linjär additiv metod

Linjär additiv metod är en väletablerad multikriterieanalysmetod som är applicerbar för många användningsområden. Beräkningarna som utförs är enkla jämfört med andra metoder. Kriterierna som används behöver vara oberoende av varandra. Slutresultatet blir ett enda värde för varje alternativ som beror på viktningen och de tilldelade värden som alternativen fått (ibid.). Viktningen och värderingen multipliceras separat för varje kriterium och adderas till det slutgiltiga värdet enligt Ekvation (1).

$$I = \sum_{k=1}^K V_k P_{k,N} = V_1 P_{1,1} + V_2 P_{2,1} + \dots \quad (1)$$

Där  $I$  är det sammanvägda indexet,  $V$  är den tilldelade vikten för ett givet kriterium  $k$  för alternativ  $N$ ,  $P$  är det tilldelade värdet som alternativet fick i det kriteriet. Efter detta har gjorts för alla alternativ rankas de utifrån slutbetygen (Sjöstrand et. al 2021).

## 2.4 FALLSTUDIE - LBVA

Laholmsbuktens VA (LBVA) tar hand om vatten och avlopp i Halmstad och Laholm med omnejd. LBVA arbetar aktivt med innovation och mot att ha en miljöprofilering. De arbetar aktivt för att bli mer hållbara i enlighet med de globala målen (Laholmsbuktens VA 2024).

Ett aktuellt projekt inom LBVA och Halmstads kommun är att utvidga Kistinge södra industriområde med ett nytt verksamhetsområde. Detta industriområde ligger mellan Laholm och Halmstad. Utöver detta beräknas LBVA få en populationsökning på 80 000 personer i sitt serviceområde inom de kommande 25 åren. Dricksvattenledningarna är stundvis för högt

belastade redan nu, vilket gör att LBVA är intresserade av att undersöka lösningar för att få dricksvattnet att räckta till (Sjöholm et. al 2020). LBVA erbjuder exempelvis gratis vattentunnor till fastighetsägare att placera under stuprören (Christensson 2024a).



### 3 METODER

En litteraturstudie gjordes först för att samla information kring regn- och dagvattenåtervinning och multikriterieanalyser. Sedan implementerades WISER på Kistinge industriområde. För att kunna använda beslutsverktyget WISER på det området hölls bland annat två workshops med LBVA där kriterier valdes och viktades. Varje del beskrivs separat nedan.

#### 3.1 LITTERATURSTUDIE

##### 3.1.1 Sökord och databassökning

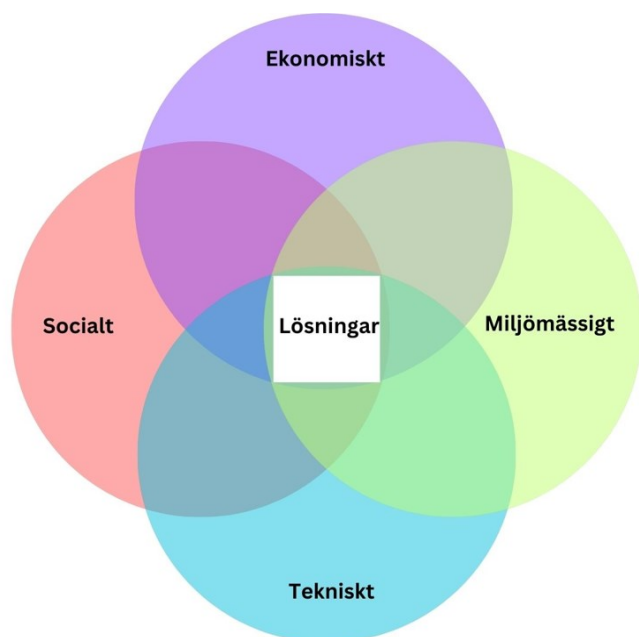
Underlaget för litteraturstudien hittades via Google, Google Scholar, ScienceDirect och Uppsala universitets sökmotor. På dessa sökmotorer användes ord relaterade till det som efterfrågats i frågeställningarna. I vissa fall räckte det med översiktsartiklar inom ämnet, vilket då användes som kriterium vid sökningen. Under litteraturstudien användes originalkällan i stor utsträckning. Sökorden för litteraturstudien redovisas i Bilaga 2.

Litteraturstudien begränsades inte till ett specifikt land. Av den anledningen var de flesta sökord på engelska. En direkt översättning av tekniskt vatten hittades inte, men begrepp som exempelvis *rainwater utilization*, *rainwater usage* användes också för att få med så stor mängd relevant underlag som möjligt. Google användes som sökmotor när generell information skulle tas fram från exempelvis myndigheter.

Relevanta källor hittades även med hjälp av kedjesökning. Kedjesökning är ett sätt för att hitta fler relevanta källor genom att undersöka referenslistor av de redan undersökta källorna (Umeå Universitet 2023). På så sätt kan potentiellt fler relevanta studier undersökas. Viss litteratur tillhandahölls även från handledaren.

##### 3.1.2 Metod för att bestämma bruttolista med kriterier

Målet med litteraturstudien var att hitta lämpliga sociala, ekonomiska, tekniska och miljömässiga kriterier som kan användas för att undersöka vilka systemalternativ till vattenförsörjning som är mest fördelaktiga. Det kriterierna som analyseras ska hjälp till att identifiera fördelaktiga alternativ och därigenom den bästa lösningen, enligt Figur 1.



Figur 1: De sociala, ekonomiska, miljömässiga och tekniska kriterierna ska slutligen visa vilken föreslagen lösning som är mest lämplig utifrån givna förutsättningar.

Litteratur undersöktes för att se vilka kriterier som använts i liknande multikriterieanalyser. Eftersom recirkulering av vatten kan användas för att minska belastningen på dricksvattnet kontrollerades även kriterier som använts som beslutsstöd för dricksvattenförsörjning.

Utöver litteraturstudien diskuterades lämpliga kriterier med handledare och andra med relevant kunskap. Därefter reviderades kriterierna tills de ansågs vara optimala. Målet var att ta fram en bruttolista med olika kriterier, där beslutsfattaren sedan kan välja de kriterier som anses bäst lämpade för frågeställningen.

### 3.2 WISER

WISER är ett multikriterieanalysverktyg som bygger på linjär additiv metod. Verktöget är utvecklad vid Chalmers tekniska högskola för att underlätta transparenta beslut kring dricksvattenåtgärder. Målet med verktöget var ett beslutsstöd som är strukturerat och ger ett helhetsperspektiv vad det gäller hållbarhet. Både kvalitativa och kvantitativa aspekter av hållbarhet kan bedömas i verktöget (Sjöstrand et. al 2021).

I WISER görs sedan en teknisk, social, ekonomisk och miljömässig analys. De värden som tilldelas räknas om till procent och resultatet redovisas i diagram. Verktöget kan användas med eller utan hänsyn till osäkerheter (ibid.). Verktöget WISER tillämpades i detta arbete på en fallstudie i samarbete med LBVA som beskrivs nedan.

### 3.3 FALLSTUDIE KISTINGE INDUSTRIOMRÅDE

LBVA har som mål att undersöka möjligheterna att implementera tekniskt vatten i Kistinge industriområde. Planområdet förväntas bestå av olika verksamheter med varierande

vattenbehov. Planområdet består av ca 34 ha takytor och 26 ha övrig hårdgjord yta (Cornelius 2024a).

Det finns sedan tidigare en VA-utredning gjord för området. Planområdet förväntas bestå av två dagvattendammar som ska hantera nederbörd med en återkomsttid på uppemot 10 år. Detta genererar magasineringssmöjligheter på totalt 46 000 m<sup>3</sup> (Halmstads kommun 2024), där dagvattendammen för tekniskt vatten planeras vara av 1000 m<sup>3</sup> (Sköld 2023). En preliminär illustrationskarta syns i Figur 2, där den ungefärliga positionen för dammen för tekniskt vatten är märkt med en röd cirkel. De nya dricksvattenledningarna som dras i området ska anslutas till de befintliga (Halmstads kommun 2024). Uppskattningsvis består ytan av 43 tomter (Christensson 2024a).



Figur 2: Utkast till illustrationskarta av Kistinge industriområde enligt Halmstads kommun (2024). Den röda cirkeln visar den ungefärliga positionen för dammen för tekniskt vatten.

Området planeras ha verksamheter med mer förorenade användningsområden som exempelvis bensinstation och biltvätt (Cornelius 2024b). För dessa områden krävs att fastighetsägarna implementerar egen rening för att garantera att det slutgiltiga vattnet som släpps ut från området inte är mer förorenat än annat dagvatten (Christensson 2024b). Planområdet ligger även sydväst om ett område med förhöjda halter PFAS (Sladic & Winnberg 2021).

LBVA har tagit fram fyra möjliga system för tekniskt vatten som beskrivs vidare i Tabell 1. I samtliga fall kompletterar dricksvattenförsörjningen återvinningssystemet när det insamlade vattnet inte räcker. Dagvattendammarna planeras att byggas i planområdet oavsett om de ska användas för uttag av tekniskt vatten eller inte. Användningsområdena för det tekniska vattnet är inte fastställt (Christensson 2024a).

Tabell 1: Alternativ till system för regn- och dagvattenåtervinning som LBVA vill undersöka i Kistinge industriområde.

| Alternativ                      | Beskrivning                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Liten, fastighetsnära        | Varje fastighet har varsitt regnvattenåtervinningssystem där insamlingen är takdagvatten. Magasineringen består av en underjordisk kassettmagasinering i anslutning till fastigheten. Reningen består endast av grovfilter.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 2. Mellan, fastighets-gemensamt | Regnvatten samlas in till en underjordisk kassettmagasinering som delas mellan tre och fyra fastigheter. Reningen består endast av grovfilter.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 3. Storskalig, enkel rening     | Dagvatten från hela verksamhetsområdet samlas in, vilket gör att insamlingsytan är både från tak och andra hårdgjorda ytor. Det vanliga dagvattennätet i området används för att samla in regn- och dagvatten till två dagvattendammar som är sammankopplade. En separat damm för tekniskt vatten finns i anslutning till dagvattendammarna. Från dammen trycksätts det tekniska vattnet i en pumpstation där det sedan transporteras i en separat ledning till industrierna. Reningen i detta alternativ består endast av grovfilter och sedimentation i dammen. |
| 4. Storskalig, avancerad rening | Alternativ 3, men med mer avancerad rening. Rening kan behövas eftersom detta vatten antas vara mer förorenat än om det endast vore regnvatten. Reningen i detta alternativ består av sedimentation, luftning, UV och UF.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

För samtliga alternativ antas självfall till magasineringen, därefter trycksatta ledningar för att leda tekniskt vatten tillbaka till verksamheten. Varje magasinering planeras ha en egen pump.

För att kunna bedöma de olika alternativen utifrån lämpliga kriterier anordnades två workshoppar. Målet för workshoparna var att använda beslutsfattarnas lokala kunskap och åsikter. Beslutsfattarna bestod av representanter från både LBVA och Halmstads kommun.

### 3.3.1 Workshop 1

För att besvara frågeställning 3 togs en bruttolista med lämpliga kriterier fram för att undersöka lämpligheten att recirkulera regn- och dagvatten. Denna presenterades under workshop 1 (hölls digitalt 2024-03-22), där beslutsfattarna tog beslut kring vilka kriterier som ansågs var relevanta för Kistinge industriområde.

När beslutsfattarna kommit överens om vilka kriterier som de ville ha med i analysen diskuterades de mjuka parametrarna. Alternativen tilldelades värden baserat på resonemanget som beslutsfattarna förde. Värdet som tilldelades ansågs vara det mest troliga värdet, vilket antecknades i WISER för vidare analys. Poängsättningen som användes i WISER sammanfattas i Tabell 2 för de tekniska, sociala och miljömässiga kriterierna. För de ekonomiska kriterierna innebär ett negativt monetärt värde en förbättring och indikerar då att kostnaden förväntas bli lägre i jämförelse med referensalternativet.

Tabell 2: Bedömningsgrunder för poängsättning som används i beslutsverktyget WISER, där poängsättningen sker utifrån skillnaden jämfört med referensalternativet.

| Poäng    | Bedömning                                                                     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 6 - 10   | Alternativet innebär en avsevärd förbättring jämfört med referensalternativet |
| 1 – 5    | Alternativet innebär en måttlig förbättring jämfört med referensalternativet  |
| 0        | Alternativet innebär ingen förändring jämfört med referensalternativet        |
| -1 – -5  | Alternativet innebär en måttlig försämring jämfört med referensalternativet   |
| -6 – -10 | Alternativet innebär en avsevärd försämring jämfört med referensalternativet  |

Eftersom workshoparna var tidsbegränsade fanns det inte möjlighet att hinna ingående diskutera subjektiva bedömningar. De kriterierna som hann diskuteras och poängsattes var följande:

- Drift och underhåll
- Förväntad hållbarhetsupplevelse hos brukaren
- Påverkan nedströms.

Ett förslag på resterande bedömningar gjordes vid ett separat tillfälle i dialog med handledare och presenterades för beslutsfattarna under Workshop 2.

### 3.3.2 Workshop 2

Under workshop 2 (hölls digitalt 2024-04-26) presenterades den föreslagna poängsättning som sedan diskuterades. De olika kriterierna viktades utifrån vad workshop-deltagarna ansåg var mest relevant. Poängsättningen diskuterades och justerades utifrån beslutsfattarnas åsikter.

Sedan fick deltagarna möjlighet att individuellt vikta de olika kriterierna. Den slutgiltiga viktningen blev medelvärde av de individuella värdena. Dimensionerna för vardera av det tekniska, sociala, miljömässiga och sociala perspektivet viktades sedan på samma sätt.

### 3.3.3 Uppskattning av besparad dricksvattenvolym

Eftersom det inte var fastställt vilka användningsområden som tekniskt vatten ska användas till gjordes en uppskattning av den mängd regn- och dagvatten som kan användas som tekniskt vatten och ersätta dricksvattnet. Vattenvolymer är beräknad gemensamt för hela industriområdet.

Följande antaganden är grunden för beräkningarna:

1. För alternativ 1 och 2 beräknades regnvattenåtervinningen baserat på den totala takytan, medan alternativ 3 och 4 samlar in regnvatten från både tak- och övriga hårdgjorda ytor i området.

2. Den dimensionerade dricksvattenanvändningen i området uppskattas till 80 000 m<sup>3</sup>/år enligt underlag från Sköld (2023). Vattenanvändningen uppskattades enligt en undersökning för att hitta en lämplig kostnad för tekniskt vatten i Kistinge industriområde. Det totala dricksvattenbehovet beräknades till 320 m<sup>3</sup> per arbetsdag i hela industriområdet där verksamheterna beräknas vara i gång 50 veckor per år.
3. Eftersom användningsområden inte är fastställda för området är ett antagande gjort att den totala tankstorleken för området ska kunna säkerhetsställa två dagars daglig dricksvattenanvändning i alternativ 1 och 2. Den totala magasineringsvolymen antogs således vara 640 m<sup>3</sup> för alternativ 1 och 2. Två dagars daglig användning bestämdes som magasineringsstorlek baserat på dynamisk dimensionering där dricksvattenbesparingen maximerades medan kostnaden för magasinering minimerades.
4. Den valda magasineringsstorleken för alternativ 1 och 2 medför att all nederbörd sällan får plats i magasineringen. Det vatten som inte får plats i magasineringen antas hanteras av det konventionella dagvattensystemet i området.
5. Halmstad har i genomsnitt 16 dagar med snö per år (Finnäs & Olsson 2022), men beräkningen tar inte hänsyn till att viss nederbörd är snö och inte direkt tillgänglig för brukaren.
6. Nederbördsdata (mm/dygn) inhämtades för SMHI:s närmaste aktiva mätstation Laholm D. Tidsperioden som valdes var mellan 2014-01-01 och 2023-12-31, vilket är en tioårsperiod. De senaste 10 åren antogs ge en tillräckligt bra prediktion på hur nuvarande recirkuleringsmöjligheter ser ut.

Mängden regn- och dagvatten som kan samlas in och således användas som tekniskt vatten på Kistinge industriområde beräknades med hjälp av Ekvation (2) enligt Stockholm vatten och avfall (2017).

$$V = N * (A_{tak} \phi_{tak} + A_{övr} \phi_{övr}) \quad (2)$$

där  $V$  (l) är den volym regn- och dagvatten som samlas in,  $N$  är nederbörden (mm eller l/m<sup>2</sup>),  $A$  (m<sup>2</sup>) är uppsamlingsytorna från tak (tak) och övrig hårdgjord yta (övr) med deras respektive avrinningskoefficient  $\phi$  (–) (ibid.). I Tabell 3 finns avrinningskoefficienter och areor för Kistinge industriområde.

Tabell 3: Kistinge industriområdes areor på ytor och tillhörande avrinningskoefficienter i enlighet med Svenskt Vattens publikation P110 (2019). Arean var given av Cornelius (2024a), planarkitekt på Halmstad kommun.

| Yta                 | Avrinningskoefficient ( $\phi$ )<br>enligt Svenskt Vatten<br>P110 [enhetslös] | Area [ha] |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Tak                 | 0,9                                                                           | 34        |
| Övrig hårdgjord yta | 0,8                                                                           | 26        |

Dessa värden sattes in i Ekvation (2) och volymer beräknades med nederbördsdata som nämndes ovan. Volymen  $V$  (dm<sup>3</sup>) beräknades separat för varje dag, för att sedan sättas in

relation till den dimensionerade dricksvattenvolymen som området använder per dag. Detta gjordes med hjälp av en vattenbalansekvation som visar relationen mellan in- och utflöde av vatten (Akter 2022). Vattenbalansekvationen ställdes upp enligt Ekvation (3), där samtliga enheter är  $m^3$ .

$$S(t) + \ddot{O}(t) = S(t-1) + V(t) - D \quad (3)$$

där  $S(t)$  är volymen vatten i magasineringen,  $\ddot{O}(t)$  är volymen som inte får plats i magasineringen,  $S(t-1)$  är volymen i magasinet från dagen innan,  $V(t)$  är den insamlade regnvattenvolymen och  $D$  det genomsnittliga dricksvattenbehovet den dagen ( $320 m^3$ ).

Överskottsvolymen  $\ddot{O}(t)$  beräknades enligt Ekvation (4).

$$\ddot{O}(t) = \begin{cases} M - S(t), & S(t) + \ddot{O}(t) > M \\ 0, & S(t) + \ddot{O}(t) \leq M \end{cases} \quad (4)$$

där  $M$  är den totala magasineringsvolymen för de olika alternativen. För alternativ 1 och 2 är magasineringsvolymen för området  $640 m^3$ .

Magasineringsvolymen  $M (m^3)$  för alternativ 3 och 4 består av en damm för tekniskt vatten som är  $1000 m^3$  (Sköld 2023). Flödet mellan dagvattendammarna (med volymen  $46\,000 m^3$ ) och dammen för tekniskt vatten antas vara reglerad. Om  $\ddot{O}(t) > 0$  är den insamlade volymen av regn- och dagvatten större än  $M$ . Då beräknades överskottsvattnet stanna kvar i dagvattendammarna. Hänsyn togs inte till evapotranspiration.

Den tillskottsvolym  $U(t) (m^3)$  som behöver tillsättas om det tekniska vattnet inte täcker hela det dimensionerade dricksvattenbehovet  $D (m^3)$  beräknades genom Ekvation (5). Ett negativt värde på volymen vatten i magasineringen  $S(t) (m^3)$  visar att vattenbehovet den dagen inte kan mötas av den insamlade vattenvolymen i magasineringen vilket gör att dricksvatten behöver komplettera systemet. Om volymen vatten i magasineringen  $S(t)$  är större än  $D$  (volymen dimensionerad dagliga dricksvattenanvändningen) tillsattes ingen tillskottsvolym.

$$U(t) = \begin{cases} 0, & S(t) \geq D \\ -S(t), & S(t) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Beräkningarna gjordes separat för varje dag. Den procentuella dricksvattenbesparingen  $B(t) (\%)$  beräknades sedan genom Ekvation (6) där tillskottsvolymen  $U(t) (m^3)$  divideras med den dimensionerade dagliga dricksvattenanvändningen  $D$ .

$$B(t) = \left(1 - \frac{U(t)}{D}\right) \times 100 \quad (6)$$

Medelvärdet av  $B(t) (\%)$  representerar således den genomsnittliga dricksvattenbesparingen som Kistinge industriområde skulle kunna göra baserat på nederbördsdata från de senaste 10 åren. Den genomsnittliga dricksvattenbesparingen användes sedan för poängsättning i WISER enligt Tabell 4.

Tabell 4: Poängsättning av dricksvattenbesparing utifrån vilken medelbesparing alternativet genererar.

| Värde     | Definition enligt WISER                                                                           | Procent insparat dricksvatten av den totala användningen                                                              |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6 - 10:   | Alternativet innebär en avsevärd vatteninsparing av dricksvatten jämfört med referensalternativet | 10: 91–100 %<br>9: 81–90 %<br>8: 71–80 %<br>7: 61–70 %<br>6: 51–60 %                                                  |
| 1 - 5:    | Alternativet innebär en måttlig vatteninsparing av dricksvatten jämfört med referensalternativet  | 5: 41–50 %<br>4: 31–40 %<br>3: 21–30 %<br>2: 11–20 %<br>1: 1–10 %                                                     |
| 0:        | Alternativet innebär ingen vatteninsparing jämfört med att använda dricksvatten                   | 0 %                                                                                                                   |
| -1 - -10: | Alternativet innebär en ökning av dricksvattenanvändningen jämfört med referensalternativet       | Ett antagande har gjorts att en ökad dricksvattenanvändning inte kan ske vid implementering av regnvattenåtervinning. |

### 3.3.4 Kostnadsuppskattningar

Schablonvärdena i Tabell 5 användes för att beräkna kapital- samt drift och underhållskostnaden. Den förväntade ekonomiska livslängden på ett system kallas avskrivningstid. Avskrivningstiden används för att fördela investeringskostnaden linjärt över dess livslängd. Investeringskostnaden divideras med den förväntade tiden för användning av systemet (Svenskt Vatten 2016). När linjär avskrivning används avses avskrivningen vara lika stor varje år.

Dimensionerna för ledningar togs fram med hjälp av kompetent personal och kostnaden för dessa uppskattades med hjälp av KP-fakta, vilket är ett uppslagsverk med schablonvärden för bland annat VA-arbeten. Schablonvärdet inkluderar schakt-, material-, och transportkostnader (KP System 2021).



Tabell 5: Schablonvärden som användes för att beräkna kapital- och driftkostnad för regn- och dagvattenåtervinning.

| Investering                                          | Investeringskostnad                                                                       | Driftkostnad                                                                                                                                         | Avskrivningstid (år) (Sköld 2023; Christensson 2024c) |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Kassettmagasinering med tät geomembran               | 3000–3500 kr/m <sup>3</sup> (Hammargren 2024).                                            | -                                                                                                                                                    | 50                                                    |
| UV                                                   | Enligt Figur 3 i Boysen et al. (2020) beräknades investeringskostnaden till 2 500 000 kr. | ca 0,5 till 5 kWh/m <sup>3</sup> (Environment Agency 2010).                                                                                          | 10                                                    |
| UF                                                   | Total kostnad för UF och luftning: 500 000 – 1 000 000 kr (Aguayo 2024)                   | 0,1 kWh/m <sup>3</sup> (Lidén 2020).                                                                                                                 | 10                                                    |
| Luftning                                             | -                                                                                         | 50 % av totala energiförbrukningen för reningen (Senevirathna et. al 2019).                                                                          | 10                                                    |
| Tryckstegringsstation                                | 1 000 000 kr (Aguayo 2024)                                                                | 0,57 kr/m <sup>3</sup> (Sköld 2023)                                                                                                                  | 15                                                    |
| Pump                                                 | 60 000 kr (ibid.)                                                                         | 0,57 kr/m <sup>3</sup> (Sköld 2023)                                                                                                                  | 15                                                    |
| Reningsanläggning för enklare rening i dagvattendamm | 500 000 kr (Sköld 2023)                                                                   | -                                                                                                                                                    | 10                                                    |
| Grovfilter                                           | 300 kr (Holm & Schulte-Herbüggen 2021)                                                    | -                                                                                                                                                    | 10                                                    |
| Ledning 315 PE                                       | 3363 kr/m (KP System 2021)                                                                | -                                                                                                                                                    | 50                                                    |
| Ledning 110 PE                                       | 1147 kr/m (ibid.)                                                                         | -                                                                                                                                                    | 50                                                    |
| Elkostnad                                            | -                                                                                         | 94,78 – 112,33 öre/kWh (Halmstad Energi och Miljö AB 2024)                                                                                           | -                                                     |
| Referensalternativet (dricksvatten)                  | Beräknas i Bilaga 6.                                                                      | 5,75 kr/m <sup>3</sup> (Christensson 2024d) vilket täcker drift- och underhållskostnader och som exempelvis energianvändning (Uppsala Vatten 2024a). | -                                                     |

Metoden som användes för att beräkna kapital- och driftkostnad diskuteras separat nedan.

## Kapitalkostnad

Att etablera regnvattenåtervinning på Kistinge industriområde betyder en etablering av ett fjärde VA-ledningssystem. Utöver dricks-, spill- och dagvatten kommer således en fjärde ledning användas för det tekniska vattnet (Christensson 2024a).

För att beräkna kapitalkostnaden användes investeringskostnaden och den förväntade ekonomiska livslängden från Tabell 5.

Följande antaganden gjordes vid beräkning av kapitalkostnaden:

1. De delar av systemet som inkluderades i beräkningarna var kostnaden för ledningarna från uppsamlingsytan till magasineringen, själva magasineringen, rening och leveranssystem till brukaren. Leveranssystemet antas bestå av ledningar från magasineringen och tillhörande pump.
2. Antalet pumpar som uppskattas behövas är en per magasin. På alternativ 1 och 2 bedömdes mindre pumpar behövas jämfört med alternativ 3 och 4. För alternativ 3 och 4 avser LBVA att ha en tryckstegningsstation för det tekniska vattnet.
3. Utöver dagvattendammarna i Figur 1 kommer en damm för tekniskt vatten byggas för alternativ 3 och 4 i anslutning till de redan existerade dagvattendammarna.
4. Det insamlade regn- och dagvattnet i alternativ 3 och 4 antogs få plats i dagvattenledningar vilka planeras byggas oavsett vilket inte medför en extra kostnad. För alternativ 3 och 4 är kostnaden för ledningarna således endast transporten från dammen för tekniskt vatten tillbaka till verksamheterna. Samma dimensioner och längd på ledningsnätet antogs.
5. Den totala magasineringsstorleken på området antas vara 640 m<sup>3</sup> för alternativ 1 och 2 enligt antaganden under 3.3.3 *Uppskattning av besparad dricksvattenvolym*.
6. Ledningssträckorna uppskattades genom att godtyckligt rita ledningar och sedan mäta dess längd. I största möjliga mån placerades ledningarna under vägarna. Den exakta positionen på verksamheterna i Kistinge industriområde var inte fastställd när ledningslängderna uppskattades. Av den anledningen ska ledningslängderna endast betraktas som en grov uppskattning.
7. Den uppmätta ledningssträckan multiplicerades med två eftersom avståndet i alternativ 1 och 2 är från insamlingsytan till kassetmagasineringen och sedan tillbaka till verksamheten för distribution. I Bilaga 7 återfinns uppskattade ledningssträckor.
8. Ledningarnas dimensioner och material valdes i samråd med en VA-projektör. Referensalternativet antogs bestå av 110 PE- och 315 PE-ledningar. Ledningar av dimension 110 PE valdes för tekniskt vatten.
9. Eftersom möjligheten att använda det tekniska vattnet är nederbördsberoende varierar mängden tillskottsvolymen som behövs i området. Trots implementering av ett recirkuleringssystem antas ett komplett dricksvattensystem behöva byggas i området. Den totala kapitalkostnaden för de olika alternativen beräknades därför genom att addera kapitalkostnaden för dricksvatten och recirkuleringssystemet.
10. Kalkylräntan antas vara 4 % för samtliga alternativ (Sköld 2023).

Kostnaden beräknades i relation till referensalternativet genom att ta kapitalkostnaden för de olika alternativen minus kapitalkostnaden för referensalternativet. Dessa värden sattes in i WISER. Beräkningarna för den totala kapitalkostnaden finns i Bilaga 6.

### **Drift- och underhållskostnad**

Eftersom tekniskt vatten inte avses ersätta hela dricksvattenförsörjningen i området beräknades den uppskattade drift- och underhållskostnaden för varje alternativ med en adderad kostnad för tillskottsvolymen. Den totala drift- och underhållskostnaden är gjord baserat på att tekniskt vatten ersätter en viss del av det dagliga vattenbehovet, resterande kostnad uppskattas enligt ett antaget linjärt samband mellan kostnaden för dricksvatten och dricksvattenbehovet enligt Ekvation 8.

$$K_{altX} = K_{sysX} * h_{sysX} + K_{drickssys} * (1 - h_{regsysX}) \quad (8)$$

där K är den totala drift- och underhållskostnaden för ett system, h är kvoten vatten som uppskattas kunna bytas ut med tekniskt vatten med respektive system för tekniskt vatten. Denna kvot är den genomsnittliga dricksvattenbesparingen som togs fram i Ekvation (6).

Schablonvärden från Tabell 5 användes för beräkningarna. Antaganden som gjordes vid beräkning av driftkostnad:

1. Driftkostnaden beräknades enligt energiförsörjning av pumpar och rening. En schablonkostnad för tillsyn, underhåll och service enligt Sköld (2023) antogs för alternativ 3. För alternativ 1 och 2 uppskattades denna vara lika som för alternativ 3, medan den uppskattades vara dubbelt så stor för alternativ 4.
2. Alternativ 1 och 2 antogs ha pumpar av liknande energiförbrukning. Likaså alternativ 3 och 4.
3. Kostnaden för tekniskt vatten för brukaren antogs vara 0 kr.

Beräkningarna för drift- och underhållskostnaden finns i Bilaga 6.

### **3.3.5 Känslighetsanalys**

Den poängsättningen som gjordes resulterade i ett mest troligt värde, samt ett min- och maxvärde. Om man ansåg att bedömningen gjorts exakt kan max- och minvärdet vara samma som det mest troliga värdet (Sjöstrand et. al 2021). Min- och maxvärdet användes sedan för att göra en känslighetsanalys.

#### **Tilldelning av min- och maxvärden**

Min- och maxvärden representerar det lägsta och högsta värdet som ett alternativ kan tilldelas utifrån ett givet kriterium (ibid.). De användes för att kunna ta hänsyn till analysens osäkerhet. När ett mest troligt värde tilldelats för ett värde tilldelades sedan ett min- och maxvärden för de subjektiva kriterierna baserat på min- och maxvärdet på bedömningsgrunden i Tabell 2. Exempelvis, om ett kriterium tilldelades värdet 7 under Workshop 1, ansågs den bidra med en avsevärd förbättring jämfört med referensalternativet. Det lägsta värdet ett kriterium kan få

och fortfarande uppfylla samma bedömningsgrund är 6 och högsta värdet är 10. Således blir minvärdet 6 och maxvärdet 10 baserat på det kriteriet.

För samtliga kostnadsuppskattningar varierades de schablonvärden som var givna i intervall i Tabell 5. Detta inkluderar bland annat elpriset och energiförbrukningen för reningen. Medelvärdet i intervallet användes som det mest troliga värdet, medan min- och maxvärdet i intervallet sattes in som min- och maxvärde i WISER. Utöver detta användes en osäkerhetsfaktor för att tilldela min- och maxvärden på kostnaderna baserat på tidigare beräkningar från Sköld (2023). Då användes en osäkerhetsfaktor på 20 % för att beräkna min- och maxvärden. För minvärdet subtraherades 20 % medan 20 % adderades för maxvärdet.

### **Korrelation- och variationsanalys**

Multikriterieanalys innefattar ett osäkerhetsmoment eftersom värderingarna ibland baseras på subjektiva åsikter (Dodgson et al. 2009). För att undersöka om det finns potentiellt överlapp mellan kriterier kan en känslighetsanalys göras (Dean 2022). WISER har ett inbyggt analysverktyg för att utföra känslighetsanalyser som använder programvaran @RISK. @RISK utför 5000 iterationer Monte Carlo-simuleringar för att få fram ett intervall för sannolikheten av det slutgiltiga resultatet (Sjöstrand et. al 2021). En korrelations- och variationsanalys kan även utföras för att visa vilka kriterier som genererade minst säkra värden. Den hjälper till att hitta vilka kriterier som är osäkra och där mer information behövs.

Korrelationsanalys är en metod där de olika kriterierna tilldelades ett värde mellan 1 och -1 utifrån korrelationen mellan det slutgiltiga resultatet och varje kriterium individuellt. Värdet 0 tilldelas om ingen korrelation kan påvisas, då har den ingen någon påvisad påverkan på det totala indexet (Sjöstrand et. al 2021).

I denna rapport redovisas endast resultatet av korrelationsanalysen, men en variationsanalys utfördes även. En variationsanalys utförs genom att det tilldelade värdet varieras mellan det tilldelade min- och maxvärdet. Det sammanvägda indexet varierades för varje kriterium individuellt och visar vilken påverkan en ändring av ett tilldelat värde har på det slutgiltiga indexet. Det visar således hur stabilt resultatet är om ett enskilt kriteriums värde ändras (ibid.). Resultatet från variationsanalys redovisas i Bilaga 8.

## 4 RESULTAT

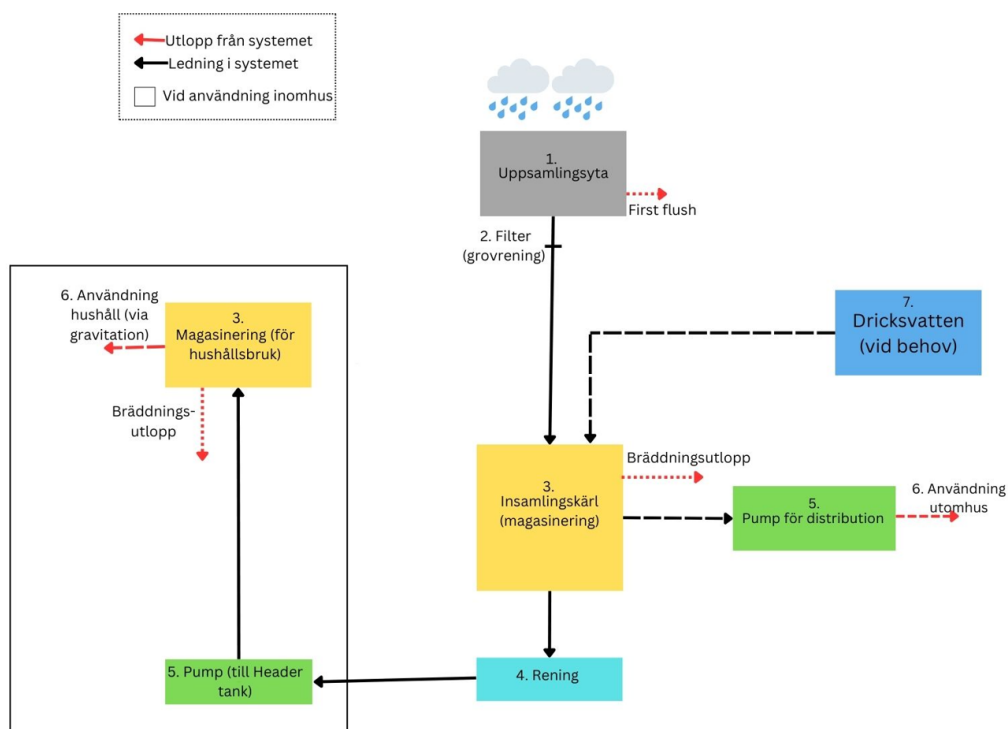
Resultatet redovisas separat för varje frågeställning nedan.

### 4.1 TYPSSYSTEM REGN- OCH DAGVATTENÅTERVINNING

I denna rapport definierades ett typsystem för regn- och dagvattenåtervinning som de olika strukturer som vanligtvis används vid återvinning. Systemen kan således bestå av olika antal delsystem som kan anpassas utifrån de lokala förutsättningarna och kombineras med olika reningstekniker.

Insamling av regn- och dagvatten kan inkludera enkla systemtyper där gravitationen används, men även mer komplexa system med pumpar (Ogale 2024). Systemens uppbyggnad består vanligtvis av en uppsamlingsyta, filter, magasinering och reningsteknik. Den mest generella strukturen för återvinning av regn- och dagvatten redovisas i Figur 3.

Magasineringstypen bestämmer även antalet pumpar som behövs (Sharma et. al 2015).



Figur 3: Schematisk illustration av en generell struktur för ett återvinningssystem för regn- och dagvatten. Inspiration till figuren är från Sharma et. al (2015) och Leggett et. al (2001).

Större partiklar som exempelvis löv och alger riskerar att hamna i vattnet vid insamlingen. Ett förfilter bör därför placeras för att hindra dem från att fortsätta vidare i systemet. Silarna behöver underhållas och rengöras löpande för att systemet ska bibehålla sin funktion (Jephson & Kristiansson 2023).

Magasineringen kan vara i anslutning eller en bit ifrån insamlingsplatsen (Khoury-Nolde 2001). De olika delsystemen diskuteras i Tabell 6 utifrån om systemet är småskaligt och gjort för enskilda fastigheter, fastighetsgemensamt eller för användning inom industrin.

Tabell 6: Exempel på struktur på ett regn- och dagvattenåtervinningssystem.

| <b>Delsystem</b>                         | <b>System för enskild fastighet</b>                                                                                        | <b>Fastighets-gemensamt</b>                                                                | <b>Industri</b>                                                                           | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Uppsamlingsyta                           | Tak med hängränna                                                                                                          | Tak med hängränna                                                                          | Takylor och/eller andra hårdgjorda ytor                                                   | Arean på uppsamlingsytan påverkar i stor utsträckning hur stor regnvattenvolym som kan samlas in (Environment Agency 2010).                                            |
| Grovrening (Jephson & Kristiansson 2023) | Galler på stuprör, grovfilter                                                                                              | Galler på stuprör, grovfilter                                                              | Galler på stuprör, grovfilter                                                             | Livslängden av systemet ökar vid implementering av grovrening                                                                                                          |
| Magasinering                             | Vattentunna, tank ovan mark, tank under mark (Sharma et. al 2015)                                                          | Tank ovan mark, tank under mark (ibid.; Rainharvesting Systems 2024)                       | Tank under mark, dagvattendamm (Lyons Hardcastle 2016)                                    | Magasinering diskuteras vidare under 4.1.1 Magasinering.                                                                                                               |
| Rening                                   | Viss rening kan behöva implementeras beroende på användningsområde.                                                        | Viss rening kan behöva implementeras beroende på användningsområde .                       | Rening av dagvatten från industriområden och parkeringar behövs (Frihammar & Barup 2021). | Investeringskostnaden ökar när mer rening krävs (Jephson & Kristiansson 2023).                                                                                         |
| Leveranssystem                           | Pumpning kan behövas för distribution, vattentunnor behöver ingen pump (Sharma et. al 2015; Melville-Shreeve et. al 2016). | Pumpning kan behövas för distribution (Sharma et. al 2015; Melville-Shreeve et. al 2016).  | Pumpning kan behövas för distribution (Sharma et. al 2015; Melville-Shreeve et. al 2016). | För användning inomhus kan en nivåmätare placeras i tanken. På så sätt kan dricksvatten komplettera det återvunna regnvattnet vid behov (Jephson & Kristiansson 2023). |
| Potentiella användningsområden           | Bevattning, cykeltvätt, tvätt av kläder, spolning av toalett (ibid.).                                                      | Bevattning, spolning av toalett, tvätt av kläder, biltvätt (Rain harvesting Systems 2024). | Processvatten (Thomé, Santos & Fisch 2019).                                               |                                                                                                                                                                        |

Magasinering diskuteras vidare under *4.1.1 Magasinering*.

Vid implementering av regnvattenåtervinning ska kranar och ledningar märkas upp för att visa att kvaliteten är lägre än dricksvattenkvalitet. Om regnvatten används i ett hushåll för exempelvis toalettspolning bör det ske på ett sätt som undviker påverkan i form av läckage till dricksvattenledningarna (Sharma et. al 2015). Vattenfelsbrytare är även rekommenderat för att vara aktsam om läckage uppstår (Jephson & Kristiansson 2023).

#### **4.1.1 Magasinering**

Valet av magasineringstyp bör ta hänsyn till det lokala klimatet, med avseende på nederbördsmängder och längd på torrperioder. Även regionala skillnader i materialkostnader och hur många personer som ska använda vattnet bör tas i beaktande vid analys av de olika magasineringstyperna (Khoury-Nolde 2001). I vissa fall behövs även en lagring av vattnet efter magasinering, som en flödesutjämnare för det renade vattnet (Jephson & Kristiansson 2023).

En tank placerad under jord har längre livslängd men också högre investeringskostnad (Worm & van Hattum 2006). Placeringen av magasineringen bör vara under frostlinjen om vattnet ska kunna användas under vintern (Kinkade-Leviario 2007).

Om möjligt bör recirkuleringssystemet implementeras redan under fastighetskonstruktionen för att minimera kostnaden. Magasineringssystemen är med fördel cylindriskt formade eftersom den formen är mest tålig och kräver minst material (ibid.).

Magasineringen i samtliga fall bör ha ett ogenomsläppligt lock för att hålla undan insekter. Ett bräddningsutlopp och utlopp för uttag fordras (Khoury-Nolde 2001). Utloppet från magasinet bör inte placeras i botten för att undvika att sedimenteringen störs (ibid.; Ogale 2024).

#### **4.1.2 Sammanfattning av resultat**

Sammanfattningsvis har regn- och dagvattensystem utvecklats för att tillgodose lokala förutsättningar och varierande användningsområden. Vanligtvis består systemet av en uppsamlingsyta, grovfilter, magasinering och pumpar. Det finns en stor variation, där både regn- och annat dagvatten kan användas. Uppsamlingsytan och det tekniska vattnets tilltänkta användningsområden påverkar vilken reningsgrad som krävs. Ett återvinningssystem som består av fler steg genererar ett mer komplicerat system och mer underhåll. Systemen kan i många fall lämpligen kompletteras med dricksvatten för att säkerställa vattenförsörjningen över tid.

### **4.2 KRITERIER VID MULTIKRITERIEANALYS**

De framtagna kriterierna är indelade i fyra kategorier: Tekniska, sociala, miljömässiga och ekonomiska i enlighet med multikriterieanalysverktyget WISER.

Referensalternativet i multikriterieanalysen är i de flesta fall traditionell användning av dricksvatten i stället för tekniskt vatten. Detta beror på att dricksvatten är det som generellt

används i Sverige idag och därmed avses att ersättas av regn- eller dagvatten. Eftersom regn- och dagvatteninsamling även inbegriper dagvattenhanteringen kan även traditionell dagvatteninsamling betraktas som ett referensalternativ i sammanhanget.

I Tabell 7 presenteras den framtagna bruttolistan med kriterier. På bruttolistan kan inte samtliga kriterier vara självständiga jämfört med de övriga. När ett beslut ska tas kring vilka kriterier som är aktuella för att implementera som beslutsstöd är det värdefullt att försöka undvika överlapp för att minska osäkerheterna (Dean 2022).



Tabell 7: Förslag till bruttolista av kriterier vid multikriterieanalys av alternativ för regn- och dagvattenåtervinning.

| Namn på kriterium                            | Kategori     | Föreslagen enhet                 | Risk för överlapp med annat kriterium? |
|----------------------------------------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------------|
| Krav på drift och underhåll                  | Tekniskt     | Enhetslös                        | Nej                                    |
| Leveranssäkerhet                             | Tekniskt     | Enhetslös                        | Nej                                    |
| Förväntad mikrobiologisk hälsorisk           | Socialt      | Enhetslös                        | Nej                                    |
| Förväntad kemisk hälsorisk                   | Socialt      | Enhetslös                        | Nej                                    |
| Färg/lukt                                    | Socialt      | Enhetslös                        | Nej                                    |
| Förväntad hållbarhetsupplevelse för brukaren | Socialt      | Enhetslös                        | Nej                                    |
| Energiförbrukning                            | Miljömässigt | kWh/år                           | Ja, driftkostnad och koldioxidutsläpp  |
| Möjlig dricksvattenbesparing                 | Miljömässigt | m <sup>3</sup> /år eller %       | Nej                                    |
| Koldioxidutsläpp                             | Miljömässigt | CO <sub>2</sub> -ekvivalenter/år | Ja, energiförbrukning                  |
| Materialanvändningens klimatpåverkan         | Miljömässigt | Enhetslös                        | Ja, koldioxidutsläpp                   |
| Klimatanpassning                             | Miljömässigt | Enhetslös                        | Nej                                    |
| Kapitalkostnad                               | Ekonomiskt   | kkkr/år                          | Nej                                    |
| Drift- och underhållskostnad                 | Ekonomiskt   | kkkr/år                          | Ja, energiförbrukning                  |

Bruttolistan bör endast ses som ett förslag på kriterier som bör anpassas till de lokala förutsättningarna.

### 4.3 TEKNISKA KRITERIER

Med tekniska kriterier anses analys av de tekniska aspekterna av systemet. Detta inkluderar kriterier som undersöker hur drift- och underhållskrävande systemet är samt leveranssäkerheten för de olika alternativen.

#### 4.3.1 Krav på drift och underhåll

Detta kriterium inkluderar hur drift- och underhållsintensivt systemet är för att behålla sin funktion. Detta inkluderar exempelvis inspektion av tank och rengöring av filter, magasin och pumpar. Hur avancerat underhållet antas vara kan bero på systemets uppbyggnad, det är exempelvis svårare att undersöka vilket skick en tank är i om den är placerad under jorden (Jephson & Kristiansson 2023).

Detta kriterium bedöms med fördel med hjälp av lokala experter som vet hur drift- och underhållsintensiva olika alternativ är.

#### **4.3.2 Leveranssäkerhet**

Med leveranssäkerhet av resursen avses möjligheten att bibehålla sin funktion som vattenkälla under den tid av året som källan behövs. När temperaturen blir negativ under vintern faller exempelvis inget regn, då måste dricksvatten användas för det tilltänkta ändamålet i stället. Om dricksvatten tillsätts till systemet när det är brist på regnvatten kan leveransen säkerställas.

Leveranssäkerheten är bättre för ett regnvattensystem än för dricksvatten vid bevattningsförbud. Då kan regnvatten vara en tillgänglig vattenkälla som minskar belastningen på dricksvattensystemet. Under torrperioder fylls dock inte magasineringen på eftersom det inte är någon nederbörd, men det vatten som finns lagrat i tanken kan användas.

### **4.4 SOCIALA KRITERIER**

Med sociala kriterier avses vilka sociala konsekvenser som de olika alternativen får. Dessa inkluderar mikrobiologiska och kemiska hälsorisker, färg/lukt samt förväntad hållbarhetsupplevelse för brukaren.

#### **4.4.1 Förväntad mikrobiologisk hälsorisk**

Om vattnet blir stående en lång period utan att det används så kan mikroorganismer tillväxa, särskilt vid gynnsamma temperaturer. Placeringen av magasineringen bör inte vara i direkt solljus för att undvika bakterietillväxt (Dalal 2015).

Eftersom regnvattnet inte avses användas för direkt begränsas hälsoriskerna till spridning av aerosoler och problematik vid inandning av sådana. Inhalation kan exempelvis ske vid spolning av toalett. I studie av Kusumawardhana et. al (2021) som gjordes i Amsterdam visade resultaten att patogener som bidrar till en mikrobiologisk hälsorisk för användning av tekniskt vatten framför allt är Legionella, Mycobacterium avium-komplexet (MAC) och Psuedomonas aeruginosa. Även E.coli rekommenderades att kontrolleras. Ovan nämnda patogener, dess tillväxt och smittspridningsväg kommenteras i Tabell 8.

Tabell 8: Några exempel på relevanta patogener som kan utgöra en mikrobiologisk risk vid användning av regnvatten.

| <b>Patogen</b>                      | <b>Beskrivning</b>                                                                                     | <b>Tillväxt</b>                                                                                                                                                                       | <b>Smittspridningsväg</b>          |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Legionella                          | Bakterie som orsakar lunginflammation.                                                                 | Tiden som regnvatten får stå bör begränsas för att undvika tillväxt (Folkhälsomyndigheten 2015). Legionella förökar sig främst i vatten mellan 25–40 grader (Livsmedelsverket 2023a). | Inhalation (Struck 2011)           |
| Mycobacterium avium-komplexet (MAC) | Bakterier som kan orsaka lungsjukdomar. Smittspridning kan ske via avföring från fåglar (Stokes 2012). | Trivs i varmt vatten och fuktig jord med lågt pH (ibid.).                                                                                                                             | Inhalation och oralt (Struck 2011) |
| Pseudomonas aeruginosa              | Bakterie som förökar sig i luftvägarna hos människor (Föreningen för Klinisk Mikrobiologi 2017).       | Vattenlevande, trivs i varma miljöer (ibid.).                                                                                                                                         | Kontaktsmitta (ibid.).             |
| E.coli                              | Indikerar färsk avföringspåverkan (Kusumawardhana et al. 2021)                                         | Förökar sig i tarmar, överlever inte länge utanför annan miljö (Livsmedelsverket 2023b).                                                                                              | Oralt (Struck 2011)                |

Den mikrobiologiska hälsorisen kan således uppskattas genom att undersöka vattenkvaliteten på det insamlade vattnet samt riskerna för höga temperaturer i vattnet.

Om referensalternativet är dricksvatten kan minimal hälsorisk antas eftersom det är ett livsmedel som regleras i hög grad (LBVA 2021). Av den anledningen kan tekniskt vatten innebära högst samma men troligare sämre värde än referensalternativet avseende detta kriterium.

#### 4.4.2 Förväntad kemisk hälsorisk

Riskerna som uppkommer med återanvändning av regnvatten beror på användningsområdet. Att bevattna grödor kan exempelvis bidra till ett ökat intag av kemikalier både för odlaren och konsumenten (Deng 2021). Det finns inte lika mycket forskning om kemiska hälsorisker som biologiska, eftersom de sällan innebär en akut risk för sjukdom för användaren. De kemiska

hälsoriskerna anses framför allt uppstå vid direktkonsumtion (de Kwaadsteniet et al. 2013), vilket inte bedöms vara aktuellt.

Vid analys av kemiska hälsorisker är det lämpligt att ha kunskap om vilken yta som vattnet rinner över innan det samlas in i magasineringen. Den vanligaste ytan för regnvatteninsamling är tak (Worm & van Hattum 2006), vilket gör att valet av takmaterial då påverkar innehållet i regnvattnet. Om vatten samlas in på andra hårdgjorda ytor än tak har den ofta lägre vattenkvalitet, på grund av påverkan från exempelvis fordon (Frihammar & Barup 2021).

Regnvatten har vanligtvis lågt pH och kan därför reagera med exempelvis bly och koppar (CDC 2021). De flesta studier som analyserades under litteraturstudien var baserade i Australien och visade att de största kemiska riskerna är att en takyta genererar regnvatten med hög blykoncentration (Magyar et. al 2014).

Även höga halter PFAS kan påverka den kemiska hälsorisken. Det har på senare år upptäckts att PFAS finns naturligt i regnvatten från atmosfärisk depositionen (Naturvårdsverket 2016).

Referensalternativet för kriteriet kan vara dricksvatten som har låg kemisk hälsorisk. Av den anledningen kan användning av tekniskt vatten antas generera lika eller sämre värde än referensalternativet.

#### **4.4.3 Färg och lukt**

En annorlunda färg eller lukt på vatten är inte nödvändigtvis en hälsorisk, men det kan skapa obehag hos användaren (Washington State Department of Health 2018). Beroende på vilken yta som vattnet rinner på kan det påverka dess färg eller lukt. Takytor är, som tidigare nämnt, ofta renare än andra hårdgjorda ytor (Worm & van Hattum 2006). Om regnvattenåtervinning implementeras på ett sedumtak kommer växtmaterialet dock påverka färgen på vattnet negativt (Jephson & Kristiansson 2023).

Referensalternativet kan vara dricksvatten som antas vara helt transparent. Således kan regnvatten endast vara lika bra eller sämre än referensalternativet.

#### **4.4.4 Förväntad hållbarhetsupplevelse för brukaren**

Många verksamheter vill vara ”i framkant” vad det gäller hållbarhet. Ett sätt att profilera sig som hållbara kan vara att implementera system med tekniskt vatten (Frihammar & Barup 2021). Att implementera ett system för regn- och dagvattenåtervinning för att erbjuda tekniskt vatten kan anses bidra till att jobba med de Globala målen för hållbar utveckling som är framtagna av FN i Agenda 2030.

Att använda tekniskt vatten i stället för dricksvatten ligger i linje med samhällets arbete mot att bli mer cirkulärt eftersom vattnet används lokalt (Jephson & Kristiansson 2023) i stället för att ledas in i dagvattensystemet (Ogale 2024). Med detta förväntade hållbarhetskriterium avses hur brukaren upplever hållbarhetsatsningen att använda regn- och dagvattenåtervinning – inte nödvändigtvis hur hållbart det är i verkligheten. Höga poäng sätts där brukaren bedöms

kunna ha lätt att relatera till systemet och huruvida de känner att de gör skillnad snarare än hur väl systemet faktiskt bidrar till hållbarhet.

Traditionell dricksvattenanvändning bidrar inte till cirkulär vattenanvändning. Den upplevda hållbarheten för regn- och dagvatten kan antas ge högre poäng, eller åtminstone liknande poäng som referensalternativet.

## **4.5 MILJÖMÄSSIGA KRITERIER**

De miljömässiga kriterierna beskriver hur de valda alternativen påverkar miljön både storskaligt och lokalt. Alternativen kan analyseras baserat på deras uppskattade energiförbrukning, koldioxidutsläpp, klimatanpassning, påverkan nedströms, möjlig dricksvattenbesparing och materialanvändning.

### **4.5.1 Energiförbrukning**

Detta kriterium behandlar den energiförbrukningen varierar för samtliga alternativ. Energiförbrukningen kan antas vara beroende på pumparna och reningstekniken som används i systemet.

Detta kriterium antas inte vara självständigt från det kriterium som behandlar driftkostnad eller koldioxidutsläpp. Det bör därför inte användas samtidigt som dessa.

### **4.5.2 Möjlig dricksvattenbesparing**

Mängden dricksvatten som kan ersättas av tekniskt vatten över en lägre tidsperiod visar den potentiella vattenbesparingen. Referensalternativet, att använda dricksvatten, genererar ingen vattenbesparing. Detta betyder att regn- och dagvattenåtervinning väntas ge bättre poäng avseende detta kriterium än referensalternativet. Eventuellt skulle detta kriterium kunna utvecklas till att ta hänsyn till att regn- och dagvattenåtervinning avlastar dricksvattensystemen när produktionen är som mest pressad, eller under perioder med vattenbrist.

### **4.5.3 Koldioxidutsläpp**

Det totala koldioxidutsläppet kan exempelvis antas komma från energianvändningen, transport och tillverkningen av systemets delar, men även från entreprenadarbeten för att gräva ned ledningar och magasin. Detta kriterium riskerar att inte vara självständig från energiförbrukningen och de bör därför inte kombineras.

Referensalternativet kan vara motsvarande energianvändning och tillverkning av systemets delar för ett dricksvattensystem.

### **4.5.4 Klimatanpassning**

I framtiden antas klimatet bli mer extremt, av den anledningen är det lämpligt att de olika systemen bedöms utifrån hur väl de anses kunna hantera framtida klimatförändringar. Här kan

det vara lämpligt att bedöma hur alternativen påverkar belastningen på dagvattenssystemen. Flödestopparna kan till exempel minska jämfört med traditionell dagvattenhantering (Melville-Shreeve et. al 2016).

Referensalternativet kan vara att dricksvatten används som kan anses vara mer eller mindre klimatanpassat beroende på hur systemets uppbyggnad. Detta kriterium är brett formulerat och riskerar överlapp med andra mer specifika kriterier.

#### **4.5.5 Materialanvändningens klimatpåverkan**

Detta kriterium avser att hantera materiallåtgången av de olika kriterierna och dess potentiella klimatpåverkan. Detta inkluderar exempelvis en underjordisk tank i plast, betongplattor och liknande. Detta kan bedömas subjektivt utifrån uppskattningar eller genom att göra en livscykelanalys för de olika systemen.

### **4.6 EKONOMISKA KRITERIER**

Kostnader som uppkommer för de olika alternativen kan sammanfattas med hjälp av kapital- samt drift- och underhållskostnad.

#### **4.6.1 Kapitalkostnad**

Kostnaderna som uppstår i samband med investeringen i det nya systemet inkluderar material i form av magasinering och ledningar. Även anläggningen för vattenrening innebär en kostnad (Jephson & Kristiansson 2023). Installationskostnader av regn- och dagvattenssystemet bör också inkluderas.

Den årliga kostnaden, kapitalkostnaden, kan beräknas genom antagande om rak amortering med fixerad ränta, samt med hänsyn till avskrivning (perioden som systemet utnyttjas) (Svenskt Vatten 2016). Genom att beräkna kapitalkostnaden kan olika alternativ jämföras avseende investeringskostnader. Även kostnaden för referensalternativet behöver beaktas, såvida inte detta redan finns på plats.

#### **4.6.2 Drift- och underhållskostnader**

Drift- och underhållskostnaden inkluderar den löpande årliga kostnaden som behövs för att upprätthålla systemet. Detta kan inkludera elen som används för pumpar och rening. Även kostnad för skötsel och underhåll kan beräknas.

Referensalternativet kan vara VA-taxan för dricksvatten, vilket täcker drift- och underhållskostnaden för dricksvattenanvändningen (Uppsala Vatten 2024b).

### **4.7 FALLSTUDIE**

Nedan redovisas resultatet från WISER med indata baserat på fallstudien på Kistinge industriområde. Referensalternativet var att använda dricksvatten för samtliga kriterier.

Dricksvatten antogs levereras från kommunal rening där systemet inte är drift- eller underhållsintensiv.

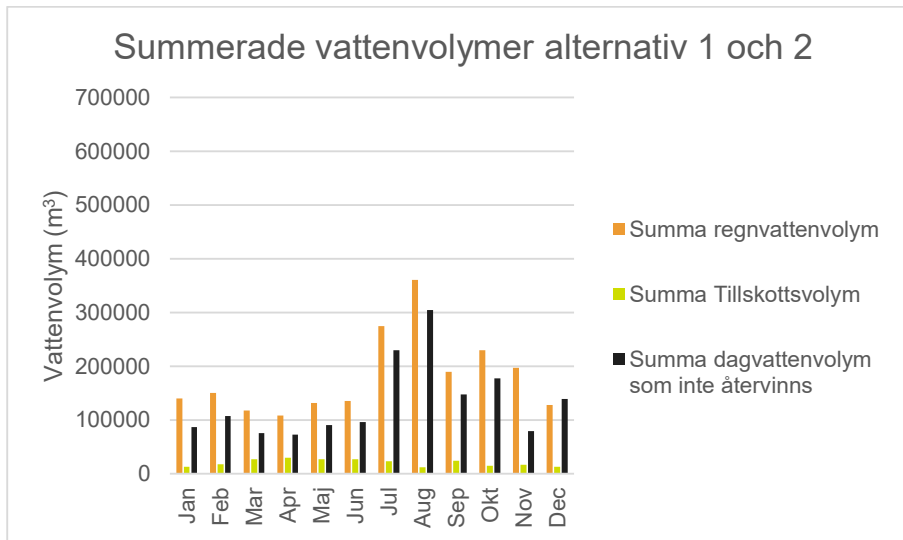
#### 4.7.1 Beräknad dricksvattenbesparing

I Tabell 9 sammanfattas resultatet från beräkningarna av den potentiella dricksvattenbesparingen som den genomsnittliga besparingen baserad på lokala nederbördsdata från de senaste 10 åren.

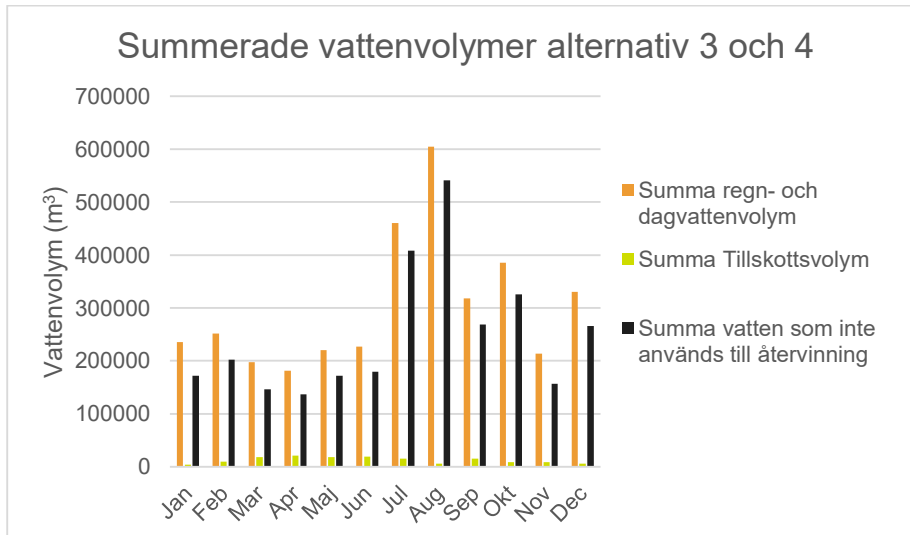
Tabell 9: Beräknad genomsnittlig dricksvattenbesparing och hur ofta hela behovet kan tillgodoses baserat på nederbördsdata från de senaste 10 åren.

|                                                     | <b>Genomsnittlig<br/>dricksvatten-<br/>besparing (%)</b> | <b>Andel av dagar<br/>som behovet<br/>täcks (%)</b> | <b>Tilldelat<br/>poäng</b> | <b>Andel<br/>dagvatten som<br/>får hanteras<br/>konventionellt<br/>(%)</b> |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Alternativ 1,<br>fastighetsnära                     | 70                                                       | 63                                                  | 7                          | 74                                                                         |
| Alternativ 2,<br>fastighetsgemensamt                | 70                                                       | 63                                                  | 7                          | 74                                                                         |
| Alternativ 3,<br>storskalig utan<br>rening          | 81                                                       | 78                                                  | 9                          | 82                                                                         |
| Alternativ 4,<br>storskalig med<br>avancerad rening | 81                                                       | 78                                                  | 9                          | 82                                                                         |

Trots att samtliga alternativ beräknades generera en dricksvattenbesparing på minst 70 % används inte stora mängder av den potentiella volymen dagvatten som bildas i område enligt Figur 4 och Figur 5. Volymerna regn- och dagvatten som uppskattades enligt beräkningarna kan därför antas vara större än behovet på Kistinge industriområde. Regn- och dagvattnet som inte återvinns i detta system antas hanteras med konventionell dagvattenhantering. Notera att hänsyn inte tagits till evapotranspiration.



Figur 4: Sammanställning av vattenvolymer (månadsmedel) som genereras i området för alternativ 1 och 2.



Figur 5: Sammanställning av vattenvolymer (månadsmedel) som genereras i området för alternativ 3 och 4.

#### 4.7.2 Sammanställning poängsättning

Sammanställning av poängsättningen av de olika regn- och dagvattenåtervinningssystemen jämfört med referensalternativet visas i Tabell 10. Ett negativt värde indikerar en försämring jämfört med referensalternativet, medan ett positivt värde är en förbättring för tekniska, sociala och miljömässiga kriterierna. För de ekonomiska kriterierna visar ett negativt värde att det är billigare än referensalternativet. Om ett alternativ har ett stort positivt värde är det således avsevärt dyrare än referensalternativet. Bedömningen som var grund för poängsättningen redovisas i detalj i Bilaga 3–6.



Tabell 10: Sammanställning av poängsättningen av de olika regnåtervinningssystemen jämfört med referensalternativet. Bedömningsgrunderna ges i Tabell 2. Poängen tilldelades av representanter från LBVA och Halmstads kommun, förutom kostnadsuppskattningarna.

|                                        | <b>Alt 1,<br/>fastighetsnära</b> |                |      | <b>Alt 2, fastighets-<br/>gemensamt</b> |                |      | <b>Alt 3, storskaligt,<br/>enkel rening</b> |                |      | <b>Alt 4, storskaligt,<br/>avancerad rening</b> |                |      |
|----------------------------------------|----------------------------------|----------------|------|-----------------------------------------|----------------|------|---------------------------------------------|----------------|------|-------------------------------------------------|----------------|------|
|                                        | Min                              | Mest<br>trolig | Max  | Min                                     | Mest<br>trolig | Max  | Min                                         | Mest<br>trolig | Max  | Min                                             | Mest<br>trolig | Max  |
| Drift och underhåll                    | -5                               | -4             | -1   | -5                                      | -2             | -1   | -5                                          | -4             | -1   | -10                                             | -9             | -6   |
| Förväntad mikrobiologisk hälsorisk     | -5                               | -3             | -1   | -5                                      | -3             | -1   | -10                                         | -8             | 0    | -2                                              | 0              | 2    |
| Förväntad kemisk hälsorisk             | -5                               | -3             | -1   | -5                                      | -3             | -1   | -10                                         | -8             | 0    | -2                                              | 0              | 2    |
| Upplevelse av färg och lukt            | -5                               | -1             | 0    | -5                                      | -1             | 0    | -10                                         | -5             | 0    | -2                                              | -1             | 0    |
| Upplevd hållbarhet hos brukaren        | 6                                | 10             | 10   | 6                                       | 8              | 10   | 6                                           | 6              | 10   | 6                                               | 6              | 10   |
| Påverkan nedströms                     | -5                               | -3             | -1   | -5                                      | -3             | -1   | -10                                         | -7             | -6   | 0                                               | 1              | 2    |
| Möjlig dricksvattenbesparing           | 0                                | 6              | 6    | 0                                       | 6              | 6    | 0                                           | 10             | 10   | 0                                               | 10             | 10   |
| Material-användningens klimatpåverkan  | -10                              | -8             | -6   | -8                                      | -6             | -6   | -5                                          | -3             | -1   | -5                                              | -3             | -1   |
| Investerings-kostnad (kkkr)            | 385                              | 392            | 400  | 343                                     | 351            | 358  | 1070                                        | 1070           | 1070 | 1188                                            | 1219           | 1950 |
| Drift- och underhållskostnad (kkkr/år) | -505                             | -491           | -477 | -505                                    | -491           | -477 | -591                                        | -575           | -560 | -464                                            | 68             | 1096 |

Viktningen av de olika kriterierna avspeglar att den möjliga dricksvattenbesparingen ansågs vara mest relevant för samtliga beslutsfattare. Därefter prioriterades den upplevda hållbarheten hos brukaren. Viktningen presenteras i Tabell 11.

Tabell 11: Den tilldelade viktningen av de olika kriterierna baserat på åsikter från representanter från LBVA och Halmstads kommun.

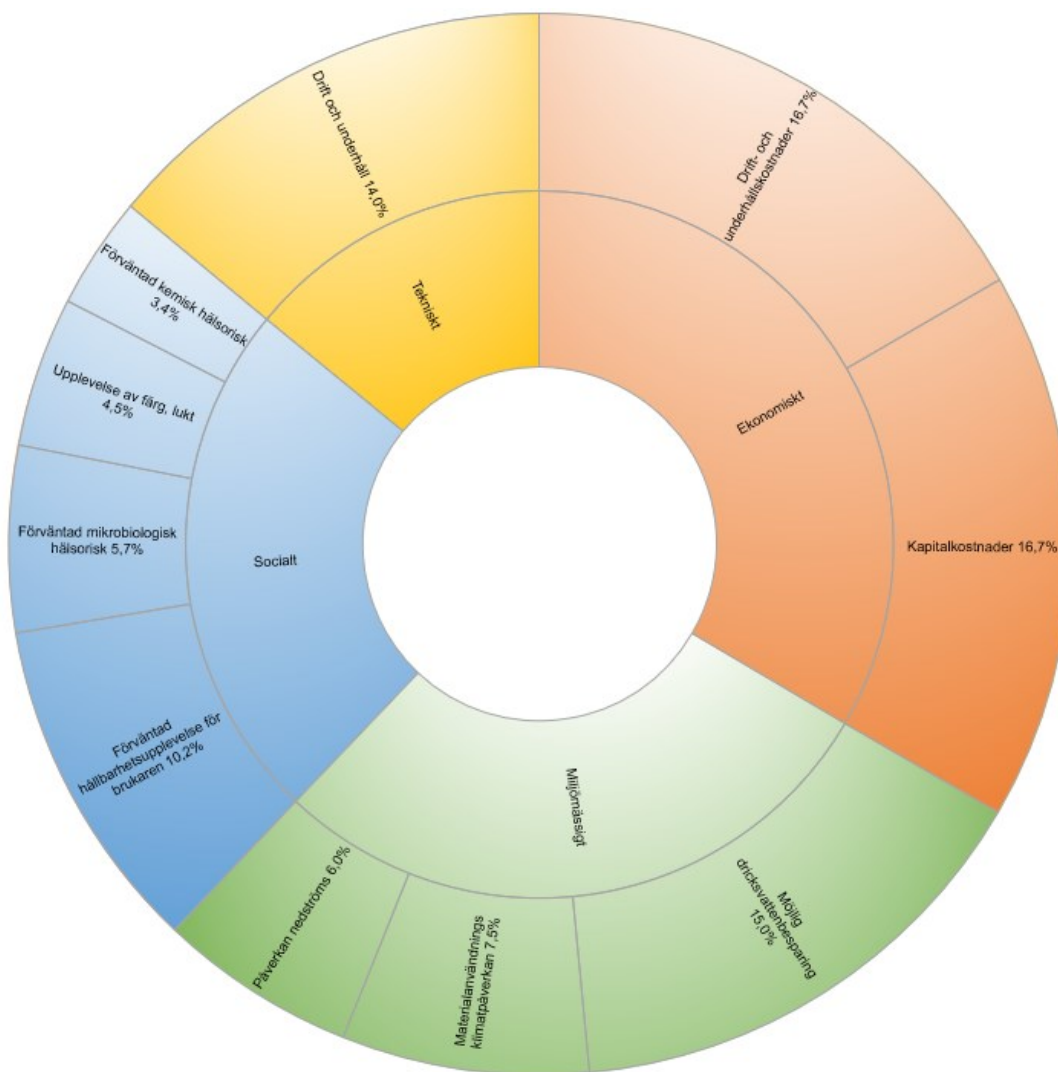
| <b>Kriterium</b>                      | <b>Viktning</b> |
|---------------------------------------|-----------------|
| Drift och underhåll                   | 5               |
| Förväntad mikrobiologisk hälsorisk    | 5               |
| Förväntad kemisk hälsorisk            | 3               |
| Upplevelse av färg och lukt           | 4               |
| Upplevd hållbarhet hos brukaren       | 9               |
| Påverkan nedströms                    | 4               |
| Möjlig dricksvattenbesparing          | 10              |
| Material-användningens klimatpåverkan | 5               |
| Investerings-kostnad                  | 6               |
| Drift- och underhållskostnad          | 6               |

I Tabell 12 sammanfattas de olika vikterna för de olika perspektiven som tilldelades under Workshop 2. Beslutsfattarna ansåg att de ekonomiska kriterierna bör ha störst påverkan på det slutgiltiga indexet.

Tabell 12: Viktning av tekniska, sociala, miljömässiga och ekonomiska dimensioner, som bestämdes på Workshop 2.

| <b>Dimension</b> | <b>Dimensionering</b> |
|------------------|-----------------------|
| Tekniska         | 3                     |
| Sociala          | 5                     |
| Miljömässiga     | 6                     |
| Ekonomiska       | 7                     |

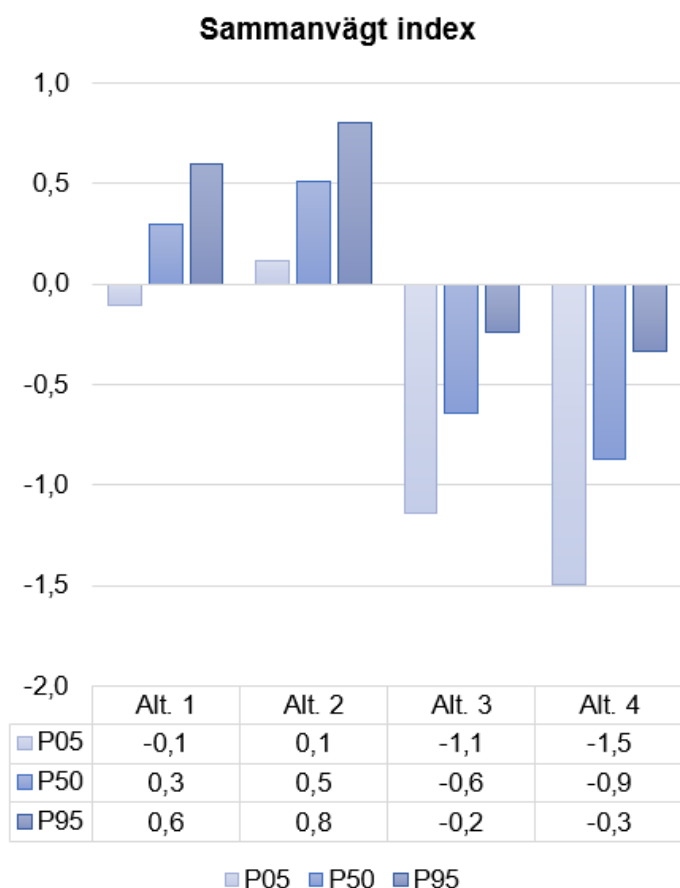
I Figur 6 visas de slutgiltiga dimensionerna som användes för analysen av Kistinge industriområde. Procenten visade hur stor påverkan de olika kriterierna hade på det slutgiltiga resultatet.



Figur 6: Viktning av dimensioner och kriterier av samtliga alternativ för Kistinge industriområde.

#### 4.7.3 Sammanvägt index

Resultaten av viktningen och poängsättningen resulterade i den totala dimensioneringen utifrån individuell viktning och gemensam viktning. I Figur 7 finns det slutgiltiga värderingen av de olika alternativen. Deras index visar det sammanvägda poänget baserat på poängsättning och viktning. Slutgiltiga sammanvägda indexet med intervall där osäkerheterna beräknades baserat på min- och maxvärden. Utförandet av 5000 Monte Carlo-simuleringarna genererade ett konfidensintervall som redovisas i Figur 7.



Figur 7: Sammanvägt index med konfidensintervall utifrån poängsättning och viktning. P05, P50 och P95 visar fördelningen av det slutgiltiga sammanvägda indexets fördelning för de utförda Monte-Carlo simuleringarna.

Alternativ 2 har högst sammanvägt index på + 0,5. Om en jämförelse görs med bedömningsgrunderna i Tabell 2 är poängsättningen för måttlig förbättring respektive försämring +1 till +5 samt -1 till -5. Detta gör att det mest troliga sammanvägda värdet (P50 i Figur 7) i konfidensintervallet inte antas resultera i en förändring jämfört med referensalternativet. De lägsta 5 % (P05) av simuleringarna indikerar en måttlig försämring för alternativ 3 och 4 men enligt troligaste värdet (P50) medan alternativ 1 presterar mest likt referensalternativet. För alternativ 1 och 2 överlappar dock deras konfidensintervall för det sammanvägda indexet, vilket gör att en tydlig slutsats inte kan dras kring vilket av de två alternativen som är mest fördelaktigt.

Enligt Figur 7 har alternativ 4 ett sammanvägt index med störst variation. Konfidensintervallen för både alternativ 3 och 4 visar att det lägsta 5 % (P95) av simuleringarna resulterade i ett sammanvägt index på -1 eller lägre. Detta resultat kan således anses bidra till en måttlig försämring jämfört med referensalternativet. Alternativ 3 och 4 har konfidensintervall som överlappar. Av den anledningen kan slutsatser inte dras om vilket alternativ som är bäst lämpat av dem två heller.

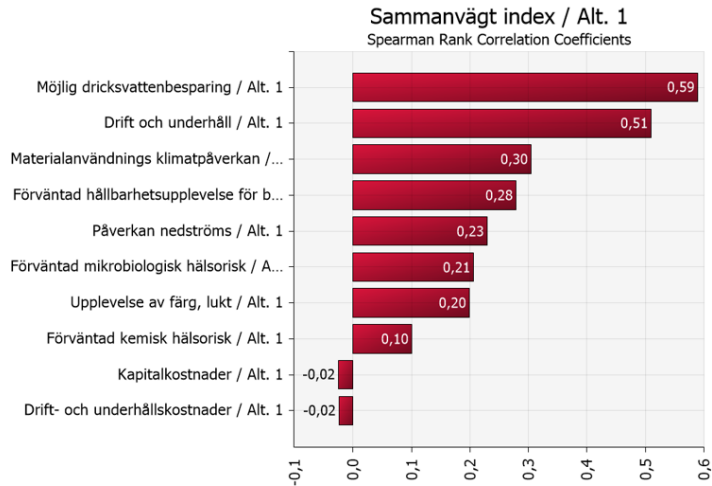
Det är dock ingen överlappning i konfidensintervallen mellan de två första och två sista alternativen, vilket innebär att den fastighetsnära (alternativ 1) och fastighetsgemensamma systemen (alternativ 2) är mer fördelaktiga än de storskaliga (alternativ 3 och 4) i Kistinge industriområde. Hur de olika perspektiven (tekniska, sociala, miljömässiga och ekonomiska) påverkar det sammanvägda indexet redovisas i Figur 8. De miljömässiga kriterierna genererar ett högre sammanvägt index, medan det tekniska bidrar till ett lägre. De sociala kriterierna genererar ett högre index för alternativ 1 och 2 men ett lägre index för alternativ 3. De ekonomiska kriterierna påverkar alternativ 1 och 2 positivt, men drar ned det sammanvägda indexet för alternativ 3 och 4. Konfidensintervall för indexet för tekniska, sociala, miljömässiga och ekonomiska perspektivet var för sig finns i Bilaga 3–6.



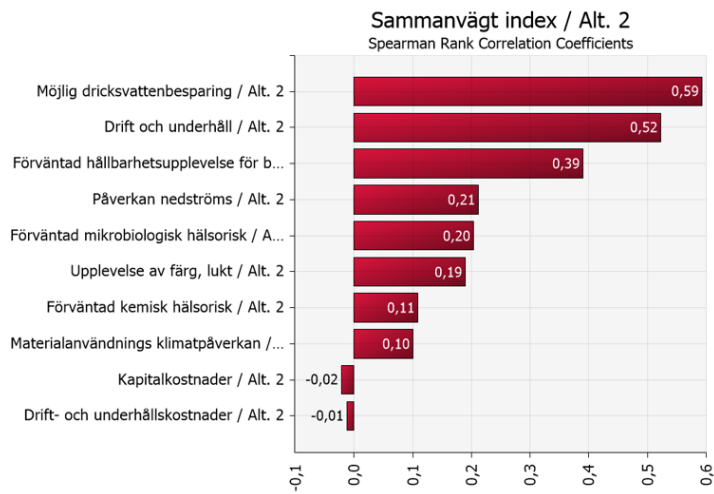
Figur 8: De olika perspektivens påverkan på det slutgiltiga indexet.

#### 4.7.4 Känslighetsanalys: Korrelationsanalys

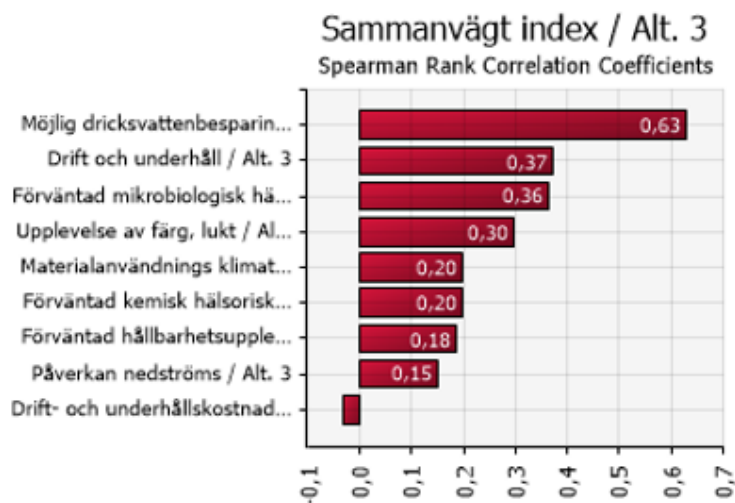
Det gjordes även en korrelations- och variationsanalys för alla fyra alternativ i WISER. Korrelationsanalysen jämför hur poängsättningen korrelerar med det slutgiltiga indexet. Ett värde nära 0 betyder att det inte är någon korrelation. I Figur 9, Figur 10, Figur 11 och Figur 12 visas korrelationsanalysen för samtliga alternativ. För alternativ 1, 2 och 3 är det ingen korrelation mellan drift- och underhållskostnader och det sammanvägda indexet. För alternativ 4 är det i stället störst korrelation mellan drift- och underhållskostnader och indexet.



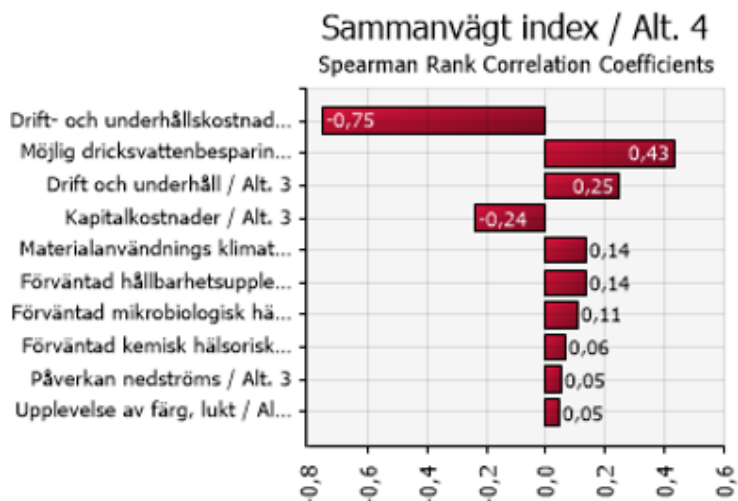
Figur 9: Korrelationsanalys för alternativ 1.



Figur 10: Korrelationsanalys för alternativ 2.



Figur 11: Korrelationsanalys för alternativ 3.



Figur 12: Korrelationsanalys för alternativ 4.

För alternativ 1–3 visas ett tydligt samband mellan potentiella dricksvattenbesparingen och det sammanvägda indexet. För alternativ 4 är det drift- och underhållskostnaderna som har starkast korrelation. Korrelationen är även negativ vilket visar att det kriteriet kraftigt sänker det sammanvägda indexet.

## 5 DISKUSSION

Syftet med arbetet var att undersöka möjligheterna att använda regn- och dagvattenåtervinning som komplement till dricksvatten. Detta gjordes bland annat genom att undersöka vilka typsystem som finns på marknaden idag. Framförallt användes internationell litteratur eftersom det fanns begränsat med svenska studier kring detta ämne. Detta skulle kunna bero på att regn- och dagvattenåtervinning fortfarande är någorlunda nytt i Sverige. Fokuset i Sverige har framför allt varit på att fördröja dagvatten medan det internationellt sätt betraktas mer som en resurs (Jephson & Kristiansson 2023).

Ett samband kan därför ses att det finns kunskap internationellt kring regn- och dagvattenåtervinning, men att det är ett relativt nytt koncept i Sverige. De system som finns i nuläget har exempelvis inget sätt att omhänderta snö, vilket kan vara aktuellt för ett typsystem anpassat till ett svenskt klimat. Det är således relevant att vidareutveckla nuvarande typsystem för att anpassas mer till Sverige.

Nästa frågeställning gällde lämpliga kriterier för beslut kring regn- och dagvattenåtervinning. Frågan besvarades genom att ta fram en bruttolista på kriterier. Dessa diskuterades och reviderades flertalet gånger. Nya kriterier lades till under arbetets gång för att skapa en mer heltäckande bild av beslutet och dess påverkan. Vid utveckling av kriterierna minskade dock mängden tekniska kriterier. Exempelvis ansågs den potentiella dricksvattenbesparingen ursprungligen vara ett tekniskt kriterium men i diskussion med LBVA reviderades det till ett miljömässigt.

LBVA ville även ha ett kriterium som visade vilken påverkan nedströms det blir som följd av återanvändning av regn- och dagvatten. Det kriteriet fanns således inte med i den första bruttolistan utan lades till under arbetets gång.

Materialanvändningens klimatpåverkan var även ett sådant kriterium som adderades till listan i efterhand för att belysa fler skillnader mellan de olika alternativen. Innan implementeringen av kriteriet saknades det ett kriterium som visade att alternativ 1 och 2 resulterade i att plasttankar skulle grävas ned, vilket kan anses vara sämre för miljön än att använda sig av konventionell dagvattenhantering.

Kriterierna som togs fram var avsedda att användas till beslut kring regn- och dagvattenåtervinning, men de skulle även kunna vara relevanta för andra sorters tekniskt vatten till exempel renat avloppsvatten eller havsvatten.

### 5.1 WISER – FALLSTUDIE KISTINGE INDUSTRIOMRÅDE

WISER testades för ett verkligt fall i samarbete med LBVA och Halmstads kommun. Trots att de industrier som förväntas implementeras i området inte anses vara de mest vattenintensiva, kan tekniskt vatten användas för att minska dricksvattenbehovet och avlasta dagvattennätet.

Var det gäller vatteninsamlingspotentialen är den korrelerad med arean på uppsamlingsytan, där stora ytor har större potential för insamling av vatten (Environment Agency 2010).



Industrier har generellt stor area vilket gör att det finns stor potential att minska dricksvattenbehovet eftersom vattenanvändningen i industrier vanligtvis är stor.

Alla fyra systemalternativen väntas omhänderta endast en del av det regn- och dagvatten som bildas på ytan. I denna studie antogs magasineringsstorleken kunna hålla två dagars dimensionerad dricksvattenanvändning. En större magasinering skulle göra att mer regn- och dagvatten kan omhändertas, men det kommer bidra till en ökad kapitalkostnad. Eftersom kostnaden för magasineringen var direkt korrelerad till dess storlek hade en större magasinering bidragit till en ökning av kapitalkostnaden. En ökad magasinering hade ökat den potentiella dricksvattenbesparingen, men den procentuella besparingen ansågs vara för låg i relation till den ökade kapitalkostnaden. En avvägning gjordes därför att minimera kapitalkostnaden för alternativ 1 och 2 vilket gjorde att hela dricksvattenbehovet inte byttes ut mot regnvatten.

Valet av storlek på magasineringen kan undersökas vidare och WISER kan därför uppdateras när ny information om området framkommer. För Kistinge industriområde kan multikriterieanalysen med fördel uppdateras när användningsområden och ledningsdragningar fastställts. Om användningsområdet för tekniskt vatten fastställs kan magasineringsstorleken undersökas vidare.

Det är även en deponi med spridning av PFAS i området och det är lämpligt att undersöka hur detta påverkar dagvattenkvaliteten i området. Materialanvändningens klimatpåverkan för de olika alternativen analyserades inte heller i detalj, utan uppskattades endast subjektivt. En separat livscykelanalys kan göras för mer specifika resultat beroende på hur viktigt det är för beslutsfattarna.

## **5.2 KRITERIET ”UPPLEVD HÅLLBARHETSUPPLEVELSE FÖR BRUKAREN”**

Vid utförandet av en multikriterieanalysen med WISER på Kistinge industriområde bestämdes implementeringen av kriteriet ”Förväntad hållbarhetsupplevelse för brukaren” i diskussion med LBVA. Detta kriterium skapades med avsikten att beakta hur systemen upplevs för användaren. Kriteriet behandlar således inte vilket system som är mest hållbart utan vilket som upplevs som mest hållbart. Eftersom det kriteriet är baserat på en förväntad känsla hos brukaren snarare än den verkliga ökade hållbarheten togs även fram ett sammanvägt index för de olika alternativen utan detta kriterium. Detta eftersom brukarens upplevda hållbarhetsupplevelse kan påverkas av systemets funktion under tidens gång och inte nödvändigtvis stämmer med vilket system som är hållbart i praktiken.

De sammanvägda indexen utan ”Förväntad hållbarhetsupplevelse för brukaren” ges i Bilaga 9. Då blir det sammanvägda indexet negativt för alla fyra alternativ vilket visar att den förväntade hållbarhetsupplevelsen för brukaren påverkar det slutgiltiga sammanvägda indexet positivt. Alternativ 3 har lägst sammanvägt index om det kriteriet inte tas i beaktande. Alternativ 3 får då lägst sammanvägt index.

### 5.3 LÄRDOMAR

Att använda workshops som verktyg för att samla in kunskap och åsikter var värdefullt för att kunna undersöka de olika alternativen. Beslutsfattarna har olika åsikter och att anordna en workshop var ett framgångsrikt sätt att inhämta underlag för analysen i WISER. LBVA uttryckte under workshop 2 att WISER som verktyg kändes användarvänligt och interaktivt. Av den anledningen kan WISER möjliggöra en ökad förståelse för de beslut som gjorts för att undersöka stora problem på ett översiktligt sätt.

Eftersom multikriterieanalysen i WISER är gjord utifrån att endast ett tekniskt kriterium från bruttolistan var relevant för området, fick det kriteriet stor påverkan på det totala indexet. Vid beaktande av Figur 8 kan slutsatsen dras att det tekniska kriteriet påverkar det sammanvägda indexet för samtliga alternativ negativt. Resultaten kan även tolkas som att avancerad rening väntas kräva sådana underhållskostnader som inte är önskvärda i samband med regn- och dagvattenåtervinning. Det verkar alltså inte finnas något större intresse av avancerad rening om den kräver omfattande drift och underhåll.

Att undersöka möjligheterna kring att använda tekniskt vatten redan vid planeringsfasen av ett område har fördelar, men det bidrar även till att många lokala förutsättningar inte kan fastställas. Multikriterieanalys är således en uppskattning av hur det skulle kunna se ut i området, men mycket annat kan påverka resultatet. Dock är multikriterieanalys en dynamisk metod som kan ändras under tidens gång. Det är därför ett fördelaktigt beslutsstöd som kan underlätta i många sammanhang, inte bara för regn- och dagvattenåtervinning.

Multikriterieanalysen kan göras baserat på om de förväntas vara hållbart utifrån fastighetsägarnas och VA-organisationens perspektiv, men ibland är det som är fördelaktigt för ena parten vara mindre fördelaktigt för den andra. Att investera i ett regnvattenåtervinningssystem kan vara en dyr investering för en verksamhet, medan den samhällsviktiga funktionen för exempelvis VA-organisationen är positiv. Besluten kring regn- och dagvattenåtervinning är därför en komplex fråga.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att WISER möjliggjorde framtagning av ett strukturerat och transparent beslutsunderlag, som kan användas för vidare diskussion och förfinas längre fram allteftersom exploateringsplanerna konkretiseras. Verktyget kan ge en fingervisning om vilka alternativ som är mest fördelaktiga. En lärdom som kan dras av denna studie är att regnvattenåtervinning kräver kombination av kunskap om både dagvatten och dricksvatten förutsatt att dricksvatten är referensalternativet.

### 5.4 VIDARE STUDIER FÖR ANVÄNDNING AV WISER

En vidare undersökning kring de mikrobiologiska och kemiska hälsoriskerna kan vara relevant. Ett exempel är att se vilka patogener och kemikalier som är relevanta för olika användningsområden eftersom de genererar olika risk. För toalettspolning är risken främst vid inhalation av aerosoler (Kusumawardhana et al. 2021), medan bevattning av grödor kan bidra till en annan sorts hälsorisk.

Var det gäller de olika kriterierna är vissa poäng hämtade från beräkningar, medan andra är subjektiva bedömningar. En annan förbättring kan vara att ta fram underlag som ökar möjligheterna att göra beräkningar. I denna studie upplevdes begränsat underlag att arbeta utifrån. Vid viktning av de olika kriterierna vore det värdefullt att ta i beaktande att vissa kriterier är gjorda subjektivt, medan andra är beräknade.

Dessutom fanns det inget nuvarande system att använda som referensalternativ i Kistinge industriområde. Det hade av den anledningen vara intressant att undersöka möjligheterna att implementera regn- och dagvattenåtervinning när dricksvatten är etablerat i området sedan innan. Även det kan undersökas i ett vidare arbete efter denna studie.

En annan vidareutveckling av denna studie kan även vara att undersöka recirkuleringsmöjligheter i ett klimat där det längre period av snö än i Halmstad. Systemet begränsas då till att inte ha tillgång till användbar nederbörd under längre perioder.

## **5.5 VIDARE STUDIER FÖR ATT UNDERLÄTTA BESLUTFATTANDE**

Baserat på den framtagna bruttolistan kan en vidareutveckling av detta arbete vara att undersöka fler tekniska kriterier. Om recirkulering av regn- och dagvatten blir mer vanligt förekommande i Sverige kan den lokala kunskapen kring systemen öka. Vid mer lokalt dataunderlag kan förutsättningarna för hur påverkan kommer ske från de olika alternativen förväntas bli mer korrekta. I denna studie blev det sammanvägda indexet lägre för samtliga alternativ baserat på det tekniska kriteriet.

I detta arbete framkom det att förvaltningsrätten av regn- och dagvattensystem bör undersökas vidare eftersom det påverkar de ekonomiska möjligheterna kring att implementera tekniskt vatten. Om fastighetsägarna samlar in regnvatten lokalt till sin fastighet, är de ansvariga för drift- och underhåll då?

Det måste vara ekonomiskt försvarbart att implementera återvinning av regn- och dagvatten. Eftersom förvaltningsrätten av vattnet inte är fastställd i nuläget, varierade dimensionerna för den ekonomiska jämförelsen i WISER som utfördes på Kistinge industriområde. De ekonomiska och tekniska kriterierna antogs kunna poängsättas på både lokal och kommunal nivå. Exempelvis antogs VA-taxan för dricksvatten betalas av verksamhetsägaren, medan drift och underhåll av det storskaliga systemet (alternativ 3 och 4) betalas av VA-huvudmannen. Samtidigt antogs verksamhetsägaren vara ansvarig för drift- och underhåll av alternativ 1 och 2, medan det storskaliga systemet förväntades utföras av VA-organisationen.

En fördel med tekniskt vatten i Kistinge industriområde är dricksvattenbesparingen, som minskar belastningen på det lokala dricksvattennätet. Eftersom äganderätten av det insamlade vattnet inte är fastställd antogs VA-taxan vara 0 kr för det tekniska vattnet i beräkningarna. För fastighetsägaren blir det en minskad utgift för dem eftersom de inte behöver betala för en lika stor mängd dricksvatten. Det tekniska vattnet kommer dock fodra rening efter användning precis som dricksvattnet. Om det tekniska vattnet avgiftsbeläggs i framtiden bör de ekonomiska kriterierna uppdateras.

Kapitalkostnaden för samtliga alternativ var högre än referensalternativet. Det beror på att ett komplett dricksvattensystem bedöms behöva installeras i området trots användningen av tekniskt vatten. Baserat på detta antagande kan kapitalkostnaden för återvinning av regn- och dagvatten antas vara högre än referensalternativet och således bidra till ett mer negativt sammanvägt index. Vidare studier kring om det är möjligt att dimensionera ner dricksvattenssystemet vid implementering av tekniskt vatten bör göras för att kunna minska kapitalkostnaden. Dock kan investeringskostnaden för magasinering behöva öka om större volymer regn- och dagvatten ska samlas in för att ersätta dricksvatten.

Sammanfattningsvis, att använda regn- och dagvatten som tekniskt vatten är en komplicerad fråga där åsikter från många aktörer behöver beaktas, så som fastighetsägare, VA-huvudmannen och kommunen. Multikriterieanalys är ett värdefullt beslutsstöd som kan hantera de olika perspektiven på ett transparent sätt. Under projektets gång var det begränsad tillgång på underlag ett problem snarare än själva WISER-verktyget. Framför allt behöver de ekonomiska möjligheterna med regn- och dagvattenåtervinning undersökas närmare för att kunna ta ett välinformerat beslut kring recirkulering av regnvatten. WISER kunde dock ge ett viktigt beslutsstöd för Kistinge industriområde utifrån de givna förutsättningarna.

## 6 SLUTSATSER

Nedan sammanfattas slutsatserna som kan dras från detta arbete:

1. De typsystem som finns för återvinning av regn- och dagvatten har stor variation, beroende på lokala förutsättningar och det valda användningsområdet. De består vanligtvis av en insamlingsyta, magasinering, pumpar och eventuell rening.
2. En bruttolista på möjliga tekniska, sociala, miljömässiga och ekonomiska kriterier ges nedan:
  - a. Tekniska: *Krav på drift och underhåll, leveranssäkerhet.*
  - b. Sociala: *Förväntad mikrobiologisk hälsorisk, förväntad kemisk hälsorisk, färg och lukt, förväntad hållbarhetsupplevelse för brukaren.*
  - c. Miljömässiga: *Energiförbrukning, möjlig dricksvattenbesparing, koldioxidutsläpp, materialanvändningens klimatpåverkan och klimatanpassning.*
  - d. Ekonomiska: *Kapitalkostnad och drift och underhållskostnad.*
3. Tillämpningen på Kistinge industriområde i samarbete med en lokal VA-organisation visade att WISER kan användas som beslutsstöd för regn- och dagvattenåtervinning.
4. Att utföra de inbyggda känslighetsanalyserna i WISER ger resultat som tar hänsyn till osäkerheterna i bedömningarna. Detta är av värde eftersom det var begränsat underlag för analysen. Det är snarare begränsningen i data och lokala förhållanden som resulterar i osäkra resultat, än verktyget i sig.
5. Resultatet från att använda WISER på Kistinge industriområde var att de småskaliga systemen som samlade in regnvatten fick ett högre sammanvägt index än de storskaliga systemen som hanterade både regn- och dagvatten. Inget av de fyra alternativen till regn- och dagvattenåtervinning presterade påtagligt bättre eller sämre jämfört med att använda dricksvatten i stället.
6. Den förväntade hållbarhetsupplevelsen för brukaren påverkar samtliga alternativs sammanvägda index positivt. Om den upplevelsen inte tas i beaktande bedömdes samtliga resultat prestera sämre än att använda dricksvatten.
7. Det var främst kapitalkostnaden och kravet på drift och underhåll som generade ett lägre sammanvägt index. Kapitalkostnaden var mer fördelaktig för de småskaliga systemen än de storskaliga. För att regn- och dagvattenåtervinning ska bli mer fördelaktigt bör kapitalkostnaden minska exempelvis genom en lägre dimensionen av dricksvattensystemet kan implementeras som följd av att använda ett system med tekniskt vatten.

## 7 REFERENSER

- Abdelkader, M. M., Mahmoud, U. F., Mobasher, A. M. & Reda, M. A. (2023). Multi-criteria decision support system for selecting the rainwater harvesting technique in wadi systems, Sinai, Egypt. *Water Practice & Technology*, 18(3), ss. 701–715, doi:10.2166/wpt.2023.031.
- Adham, A., Riksen, M., Abed, R., Shadeed, S. & Ritsema, C. (2022). Assessing Suitable Techniques for Rainwater Harvesting Using Analytical Hierarchy Process (AHP) Methods and GIS Techniques. *Water*, 14(13), s. 2110, doi:10.3390/w14132110.
- Aguayo, S. (2024). Personlig kommunikation. *Möte*.
- Ahmed, W., Vieritz, A., Goonetilleke, A. & Gardner, T. (2010). Health Risk from the Use of Roof-Harvested Rainwater in Southeast Queensland, Australia, as Potable or Nonpotable Water, Determined Using Quantitative Microbial Risk Assessment. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(22), ss. 7382–7391, doi:10.1128/AEM.00944-10.
- Akter, A. (2022). *Rainwater Harvesting—Building a Water Smart City*. Cham: Springer International Publishing.
- Albinsson, M., Johansson, M. & Regnell, F. (2022). *Juridiska utmaningar när avloppsvatten blir tekniskt vatten*.
- Björk, R. (2018). *När det blir för mycket vatten*. Tyréns tidning Innovation. <https://www.tyrens.se/aktuellt/nyheter/naer-det-blir-foer-mycket-vatten/#> [2024-02-21].
- Boysen, B., Cristóbal, J., Hilbig, J., Güldemund, A., Schebek, L. & Rudolph, K.-U. (2020). Economic and environmental assessment of water reuse in industrial parks: case study based on a Model Industrial Park. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 10(4), ss. 475–489, doi:10.2166/wrd.2020.034.
- CDC (2021). Rainwater Collection. *Centers for Disease Control and Prevention*.
- Christensson, F. (2024a). Personlig kommunikation.
- Christensson, F. (2024b). Personlig kommunikation. Workshop 1.
- Christensson, F. (2024c). Personlig kommunikation.
- Christensson, F. (2024d). Personlig kommunikation. Workshop 2.
- Cornelius, E. (2024a). Personlig kommunikation.
- Cornelius, E. (2024b). Personlig kommunikation.
- Cory, D. C. & Taylor, L. D. (2017). On the Distributional Implications of Safe Drinking Water Standards. *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 8(1), ss. 49–90, doi:10.1017/bca.2017.2.
- Dalal, A. (2015). A study on rain water harvesting. *Journal of Progressive Education*, 5.

- Dean, M. (2020). Multi-criteria analysis. ss. 165–224.
- Dean, M. (2022). A Practical Guide to Multi-Criteria Analysis.
- Deng, Y. (2021). Pollution in rainwater harvesting: A challenge for sustainability and resilience of urban agriculture. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 2, s. 100037, doi:10.1016/j.hazl.2021.100037.
- Dodgson, J. S., Spackman, M., Pearman, A. D. & Phillips, L. D. (2009). Multi-criteria analysis: A manual.
- Elding, L. I. & Stenström, T. Klorering. *NE*.
- Environment Agency (2010). *Rainwater Harvesting for Domestic Uses: An Information Guide*. Bristol.
- Finnäs, J. & Olsson, M. (2022). Framtidens vintrar: Så många snödagars förlorar Halmstad. *Newsworthy*, 23 december 2022.
- Folkhälsomyndigheten (2015). *Befintliga rekommendationer och internationella riktlinjer*.
- Frihammar, E. & Barup, J. (2021). *Vilket vatten till vad?*
- Föreningen för Klinisk Mikrobiologi (2017). *Pseudomonas aeruginosa*. Referensmetodik för Klinisk mikrobiologi.  
[https://referensmetodik.folkhalsomyndigheten.se/w/Pseudomonas\\_aeruginosa](https://referensmetodik.folkhalsomyndigheten.se/w/Pseudomonas_aeruginosa) [2024-04-08].
- Hajkowicz, S. & Collins, K. (2007). A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management. *Water Resources Management*, 21(9), ss. 1553–1566, doi:10.1007/s11269-006-9112-5.
- Halmstad Energi och Miljö AB (2024). *Aktuella elpriser*. <https://www.hem.se/el/elpriser/> [2024-04-23].
- Halmstads kommun (2024). *Utökning av Kistinge industriområde södra*.  
<https://www.halmstad.se/halmstadvaxer/aktuellaprojekt/utokningavkistingeindustriomradesodra.11668.html> [2024-03-12].
- Hammargren, D. (2024). Personlig kommunikation. *Mejl Conclean*.
- Holm, C. & Schulte-Herbüggen, H. (2021). *Vattenbesparande åtgärder*.
- Inamdar, P. M., Sharma, A. K., Cook, S. & Perera, B. J. C. (2018). Evaluation of stormwater harvesting sites using multi criteria decision methodology. *Journal of Hydrology*, 562, ss. 181–192, doi:10.1016/j.jhydrol.2018.04.066.
- Jephson, T. & Kristiansson, A. (2023). *Inspirationsguide för användning av regn- och dagvatten i fastigheter*.
- Khoury-Nolde, N. (2001). Rainwater Harvesting.

- Kinkade-Leviario, H. (2007). *Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternative Water Reuse*. New Society Publishers.
- KP System (2021). KP Fakta.
- Kusumawardhana, A., Zlatanovic, L., Bosch, A. & van der Hoek, J. P. (2021). Microbiological Health Risk Assessment of Water Conservation Strategies: A Case Study in Amsterdam. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), s. 2595, doi:10.3390/ijerph18052595.
- de Kwaadsteniet, M., Dobrowsky, P. H., van Deventer, A., Khan, W. & Cloete, T. E. (2013). Domestic Rainwater Harvesting: Microbial and Chemical Water Quality and Point-of-Use Treatment Systems. *Water, Air, & Soil Pollution*, 224(7), s. 1629, doi:10.1007/s11270-013-1629-7.
- Laholmsbuktens VA (2024). *Om Laholmsbuktens VA AB*.  
<https://www.lbva.se/omlbva.4.51348072134655d5221800040296.html> [2024-03-13].
- LBVA (2021). Kommunstyrelsens plan för vatten och VA. *VA-plan för Halmstads kommun*.
- Lidén, A. (2020). *Membranfiltrering för dricksvattenberedning – en kunskapssammanställning*.
- Liu, Z. (1995). Efficacy of ultraviolet light in preventing Legionella colonization of a hospital water distribution system. *Water Research*, 29(10), ss. 2275–2280, doi:10.1016/0043-1354(95)00048-P.
- Livsmedelsverket (2023a). *Varmare vatten*. Livsmedelsverket.  
[https://www.livsmedelsverket.se/beredskap/beredskap-inom-dricksvattenforsorjning/handboker-i-beredskapsarbete-for-dricksvatten/handbok-for-klimatanpassning\\_dricksvattenproduktion/konsekvenser\\_av\\_ett\\_forandrat\\_klimat/varmare-vatten](https://www.livsmedelsverket.se/beredskap/beredskap-inom-dricksvattenforsorjning/handboker-i-beredskapsarbete-for-dricksvatten/handbok-for-klimatanpassning_dricksvattenproduktion/konsekvenser_av_ett_forandrat_klimat/varmare-vatten) [2024-03-11].
- Livsmedelsverket (2023b). *Escherichia coli*. Kontrollwiki: Fördjupning av Livsmedelsverket.  
<https://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/154/escherichia-coli-> [2024-04-08].
- Luleå Tekniska Universitet (2024). *Forskningsområden inom DRIZZLE*. Luleå Tekniska Universitet. <https://www.ltu.se/forskning/forskningsamnen/va-teknik/drizzle/forskningsomraden> [2024-05-02].
- Lundin Unger, M. (2017). *Vattenbrist och dricksvattenförsörjning*. Havs och Vattenmyndigheten. <https://www.havochvatten.se/miljopaverkan-och-atgarder/miljopaverkan/vattenbrist/vattenbrist-och-dricksvattenforsorjning.html> [2024-04-25].
- Lyons Hardecastle, J. (2016). GM Plant Will Save Millions of Dollars by Capturing Rainwater. *Environment+World Leader*.



- Magyar, M. I., Ladson, A. R., Diaper, C. & Mitchell, V. G. (2014). Influence of roofing materials and lead flashing on rainwater tank contamination by metals. *Australasian Journal of Water Resources*, 18(1), ss. 71–83, doi:10.7158/W13-003.2014.18.1.
- Melville-Shreeve, P., Ward, S. & Butler, D. (2016). Rainwater Harvesting Typologies for UK Houses: A Multi Criteria Analysis of System Configurations. *Water*, 8(4), s. 129, doi:10.3390/w8040129.
- Nationalencyklopedin Sedimentation. *NE*.
- Naturvårdsverket (2016). *Högfluorerade ämnen (PFAS) och bekämpningsmedel*.
- Novak, C. A., Griesen, G. E. Van, DeBusk, K. M. & Rutkowski, M. (2014). *Designing rainwater harvesting systems: integrating rainwater into building systems*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Ogale, S. (2024). rainwater harvesting system. *Britannica*.
- Rabe, J. (2023). *Industrin törstar efter sötvatten*. Svenskt Vatten.  
<https://www.svensktvatten.se/om-oss/nyheter-lista/industrin-torstar-efter-sotvatten/> [2024-05-02].
- Raimondi, A., Quinn, R., Abhijith, G. R., Becciu, G. & Ostfeld, A. (2023). Rainwater Harvesting and Treatment: State of the Art and Perspectives. *Water*, 15(8), s. 1518, doi:10.3390/w15081518.
- Rainharvesting Systems (2024). *Single Rainwater Storage for multiple homes*. Rainharvesting Systems . <https://rainharvesting.co.uk/domestic-rainwater-harvesting/domestic-multi-home/> [2024-02-29].
- Saaty, T. L. (2008). Decision makin with the analytic hierarchy process, 1.
- Sekizovic, I. & Warman, P. (2023). *Ny kunskap genom pilotförsök med ultrafilter*. NV rapport 2023-08.
- Senevirathna, S., Ramzan, S. & Morgan, J. (2019). A sustainable and fully automated process to treat stored rainwater to meet drinking water quality guidelines. *Process Safety and Environmental Protection*, 130, ss. 190–196, doi:10.1016/j.psep.2019.08.005.
- Sharma, A. K., Begbie, D. & Gardner, T. (2015). *Rainwater Tank Systems for Urban Water Supply: Design, Yield, Energy, Health Risks, Economics and Social Perceptions*.
- Sharma, A. K., Begbie, D. & Ted Gardner (2015). *Rainwater Tank Systems for Urban Water Supply*. IWA Publishing.
- Sjöholm, P., Björngaas, H., Dahlström, A. & Dahllöf, K. (2020). *Fördjupad VA-utredning Kistinge Södra*.
- Sjöstrand, K., Lindhe, A. & Rosén, L. (2021). WISER - ett verktyg för beslutsstöd inom dricksvattensektorn. *Svenskt Vatten Utveckling*.

- Sköld, N. P. (2023). *Alternativ för avgiftsuttag för tekniskt vatten i Kistinge*.
- Sladic, M. & Winnberg, A. (2021). *Undersökning av betydande miljöpåverkan*. Halmstad.
- SMHI (2018). *Värderingsmetoder*. SMHI. <https://www.smhi.se/lathund-for-klimatanpassning/prioritera/hjalpmedel/varderingsmetoder-1.129491> [2024-02-21].
- Statistikdatabasen (2022). *Total vattenanvändning per användargrupp, efter region. Vart femte år 1990 - 2020*. Statistikdatabasen. [https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_\\_MI\\_\\_MI0902\\_\\_MI0902E/VattenAnvGrupp/](https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0902__MI0902E/VattenAnvGrupp/) [2024-05-21].
- Stockholm vatten och avfall (2017). *Dagvatten: PM beräkningsmetodik för dagvattenflöde och föroreningstransport*. Stockholm.
- Stokes, J. (2012). Infectious Diseases. I: *The Cat*. Elsevier, ss. 1016–1089.
- Struck, S. (2011). Rainwater Harvesting for Non-potable Use and Evidence of Risk Posed to Human Health. *British Columbia Centre for Disease Control*.
- Svenskt Vatten (2016). *Avskrivning*.
- Svenskt Vatten (2019). *Avledning av dag-, drän-, och spillvatten*. Svenskt Vatten AB.
- Svenskt Vatten (2021). *Dricksvattenfakta*. Svenskt Vatten. <https://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/dricksvattenfakta/> [2024-02-23].
- Taherdoost, H. (2017). Decision Making Using the Analytic Hierarchy Process (AHP); A Step by Step Approach. *International Journal of Economics and Management System*.
- Thomé, A. C. B., Santos, P. G. & Fisch, A. G. (2019). Using rainwater in cooling towers: Design and performance analysis for a petrochemical company. *Journal of Cleaner Production*, 224, ss. 275–283, doi:10.1016/j.jclepro.2019.03.249.
- Umeå Universitet (2023). *Fördjupade sökmetoder*. Umeå Universitet. <https://www.umu.se/bibliotek/soka-skriva-studera/informationssokning-och-kallkritik/fordjupade-sokmetoder/> [2024-02-29].
- Uppsala Vatten (2024a). *VA-taxa - dricksvatten och avlopp*. <https://www.uppsalavatten.se/hushall/betalning-och-avgifter/taxor/va-taxa---dricksvatten-och-avlopp> [2024-04-19].
- Uppsala Vatten (2024b). *VA-taxa - dricksvatten och avlopp*. <https://www.uppsalavatten.se/hushall/betalning-och-avgifter/taxor/va-taxa---dricksvatten-och-avlopp> [2024-04-25].
- Valentin, J., Björn, L. O. & Hall, R. Ultraviolett strålning. *NE*.
- Viklander, M., Österlund, H., Müller, A., Marsalek, J. & Borris, M. (2019). *Kunskapssammanställning Dagvattenkvalitet*.

Washington State Department of Health (2018). Color, taste and odor problems in drinking water.

Worm, J. & van Hattum, T. (2006). *Rainwater harvesting for domestic use*. Wageningen.

## BILAGA 1 - RENINGSTEKNIKER

I Tabell A1 sammanfattas olika reningstekniker som kan användas för rening av regn- och dagvatten.

Tabell A1: Exempel på reningstekniker, hur de används och vilka fördelar de har.

| <b>Reningsteknik</b>  | <b>Avskiljer</b>                                                                                                                                         | <b>Kommentar</b>                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Filtrering            | Filtrerar bort oönskade ämnen, avskiljningen beror på hålstorleken. De kan variera i storlek mellan 1000 µm och 0,0001 µm (Jephson & Kristiansson 2023). | Både reningsgraden och kostnaden varierar i hög grad beroende på kornstorleken (ibid.).                                                                                                                                  |
| Sedimentation         | En vätska blir klarare efter sedimentering eftersom de tunga partiklarna sjunker till botten (Nationalencyklopedin).                                     | En brunn med yta för sedimentationsyta kan implementeras i ett regnvattensystem (Khoury-Nolde 2001).                                                                                                                     |
| Ultraviolettljus (UV) | Strålning mellan 60–400 nm förintar patogener (Valentin, Björn & Hall; Novak et al. 2014)                                                                | Välfungerade för att inaktivera exempelvis Legionella (Liu 1995).                                                                                                                                                        |
| Kokning               | Regnvatten kokas för att inaktivera patogener (Worm & van Hattum 2006).                                                                                  | Att koka vatten kräver energi, det tar även tid att låta det svalna efteråt (ibid.). Att koka regnvatten minskar inte förekomsten av parasiter eller påverkar inte koncentrationen kemikalier som kan finnas (CDC 2021). |
| Ozon                  | Ozon (O <sub>3</sub> ) används för att desinfektera och inaktivera patogener. Organiska föreningar bryts även ned (Novak et al. 2014).                   | -                                                                                                                                                                                                                        |
| Klorering             | Mikroorganismer inaktiveras genom oxidation (Elding & Stenström; Novak et al. 2014).                                                                     | Att använda klorering minskar inte koncentrationen av kemikalier i vattnet (CDC 2021).                                                                                                                                   |
| Luftning              | Tillsätter syre som reagerar med metaller och resulterar i utfällning (Jephson & Kristiansson 2023).                                                     | -                                                                                                                                                                                                                        |
| Aktivt kol            | Minskar mängden organiska föreningar i vattnet (Jephson & Kristiansson 2023).                                                                            | -                                                                                                                                                                                                                        |

## BILAGA 2 - SÖKORD

Sökord som användes under litteraturstudien.

Tabell A2: Sökord i Google Scholar och antalet träffar.

| <b>Sökmotor: Google Scholar.</b> | <b>Sökord</b>                                       | <b>Övriga kriterier</b> | <b>Antal träffar</b> |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| Datum: 24-01-26                  | Rainwater recycling multi criteria analysis         |                         | 41 700               |
| Datum: 24-01-26                  | Domestic rainwater harvesting application           | Översiktsartiklar       | 4530                 |
| Datum: 24-01-28                  | Rainwater harvesting outranking method              |                         | 457                  |
| Datum: 24-01-28                  | Rainwater harvesting fuzzy set analysis             | Översiktsartiklar       | 3370                 |
| Datum: 24-02-19                  | Rainwater tanks                                     |                         | 98 500               |
| Datum: 24-02-20                  | Domestic rainwater utilization techniques life span |                         | 23 100               |
| Datum: 24-02-26                  | Industrial stormwater harvesting                    |                         | 87 300               |
| Datum: 24-02-28                  | Rainwater non-potable biological risks              |                         | 8150                 |

Tabell A3: Sökord i Google och antalet träffar.

| <b>Sökmotor: Google</b> | <b>Sökord</b>                 | <b>Övriga kriterier</b> | <b>Antal träffar</b> |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------|
| Datum: 24-02-02         | multikriterieanalysmetoder    |                         | 8920                 |
| Datum: 24-02-21         | Dricksvatten underhåll        |                         | 331 000              |
| Datum: 24-02-27         | Halmstad regndagar            |                         | 1510                 |
| Datum: 24-02-27         | Antal snö dagar Halmstad      |                         | 398                  |
| Datum: 24-03-11         | Kemiskt innehåll dricksvatten |                         | 154 000              |

Tabell A4: Sökord i ScienceDirect och antalet träffar.

| <b>Sökmotor: ScienceDirect.</b> | <b>Sökord</b>              | <b>Övriga kriterier</b>      | <b>Antal träffar</b> |
|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| Datum: 24-02-04                 | Analytic hierarchy process | Article type: Encyclopedia   | 3112                 |
| Datum: 2024-02-19               | Rainwater barrel material  | Article type: Review article | 110                  |

Tabell A5: Sökord i Uppsala universitets bibliotek och antalet träffar.

| <b>Sökmotor: Uppsala universitets bibliotek</b> | <b>Sökord</b>        | <b>Övriga kriterier</b>     | <b>Antal träffar</b> |
|-------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|
| Datum: 24-02-27                                 | Rainwater harvesting | Publicerad mellan 2020–2024 | 20 561               |

## BILAGA 3 – TEKNISKA KRITERIER

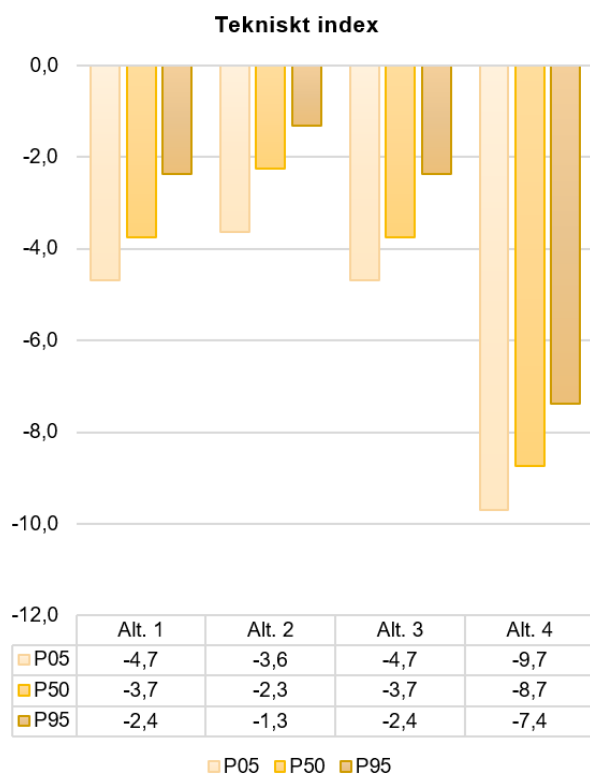
Nedan redovisas sammanställningen av poängsättningen av fallstudien på Kistinge industriområde.

### Drift och underhåll

Ett antagande som lagt grund för analysen är att ju mer avancerat ett system är, desto mer kommer den kräva i drift och underhåll. Vem som utför underhåll och drifttillsyn antas variera för de olika alternativen. Under workshop 1 bestämdes att alternativ 1 och 2 avses kräva samma mängd underhåll. Eftersom alternativ 2 är fastighetsgemensam kommer underhållet och driftkravet fördelas mellan fler fastighetsägare. Av den anledningen presterar alternativ 2, fastighetsgemensamt, bäst i detta kriterium, trots att det är en måttlig försämring jämfört med referensalternativet.

Under workshop 1 diskuterades att det storskaliga systemet, alternativ 3 och 4, ansågs båda bidra till en avsevärd försämring jämfört med referensalternativet. Alternativ 4 har avancerad rening och beslutsfattarna ansåg att det skulle kräva konstant tillsyn. Alternativ 3, utan rening, presterar bättre än alternativ 4 men ansågs fortfarande vara mer drift- och underhållsintensiv än referensalternativ.

Samtliga regnvattensystem anses prestera sämre än att använda dricksvatten med kommunal rening, det sammanvägda tekniska indexet presenteras med konfidensintervall i Figur 1A.



Figur A1: Sammanställning av den genererade indexet utifrån poängsättningen från de tekniska kriterierna. Resultaten presenteras i 95 %-konfidensintervall.

## **BILAGA 4 – SOCIALA KRITERIER**

### **Förväntad mikrobiologisk hälsorisk**

Vilka patogener som var relevanta att undersöka bestämdes i samråd med handledare. Legionella ansågs inte relevant för verksamhetsområdet eftersom det är en patogen trivs i vatten med temperaturen 25–40 grader (Folkhälsomyndigheten, 2015). Under workshop 1 diskuterades att varken underjordiska tankar som avses att användas i alternativ 1 och 2 eller dagvattendammarna i alternativ 3 och 4 anses hantera vatten i det temperaturspannet. Legionella-tillväxt anses därför inte trolig.

Istället var närvaron av E.coli-bakterier relevant i detta sammanhang eftersom den visar på direkt avföringspåverkan (Kusumawardhana et al. 2021). Även Frihammar & Barup (2021) rekommenderar att undersöka fekal påverkan vid användning av dagvatten.

I denna analys antas E.coli-halten vara högre för det storskaliga systemet utan rening eftersom dagvattnet rinner över en större yta, vilket antar att det är större sannolikhet att komma i kontakt med avföring.

Alternativ 3 kommer således få lägst betyg i poängsättningen av det verkliga fallet, medan reningen som används i alternativ 4 anses resultera i en hälsorisk som lite mindre än för alternativ 1 och 2. Samtliga alternativ förväntas en försämring av den mikrobiologiska hälsorisken jämfört med referensalternativet.

### **Förväntad kemisk hälsorisk**

Kistinge industriområde kommer delvis bestå av förorenings-intensiv verksamhet som exempelvis bensinmack och biltvätt. Detta kommer dock regleras genom att dessa verksamheter får implementera egen lokal rening för att fastställa att det utgående dagvattnet som släpps ut från området inte har högre föroreningsgrad än annat dagvatten (Christensson 2024a).

Ett antagande som är grund för analysen är att regnvattnet som återvinns i Kistinge industriområde är renare för alternativ 1 och 2 eftersom de använder tak som insamlingsyta. Trots detta har alternativ 1 och 2 ingen rening, vilket gör att den förväntade mikrobiologiska hälsorisken anses vara en måttlig försämring jämfört med referensalternativet. Det storskaliga systemet har både takytor och andra hårdgjorda ytor som insamlingsyta, vilket betyder att det insamlade vattnet antas vara en avsevärd försämring jämfört med referensalternativet. Parkeringsytor riskerar till exempel att förorena ytor genom oljespill (Frihammar & Barup 2021), vilket antas öka hälsorisken.

Kistinge industriområde har en deponi med PFAS nordöst om planområdet. Detta tas även i beaktande vid poängsättning av detta kriterium. PFAS-utlakning kan medföra en avsevärd försämring för alternativ som endast har enklare rening. Dagvattendammarna som används i alternativ 3 och 4 antas även kunna ta emot dagvatten från närliggande områden, vilket gör att risken för förhöjda halter PFAS är hög i dagvattendammarna. De småskaliga systemen

(alternativ 1 och 2) antas inte påverkas av PFAS i lika stor utsträckning som det storskaliga systemet.

Den förväntade kemiska hälsoriskerna är således en avsevärd försämring för alternativ 3 och måttlig för resterande alternativ.

### **Upplevelse av färg och lukt**

Användarens upplevelse var det gäller färg och lukt på vattnet bedömdes utifrån hur pass rent det återvunna vattnet uppskattas vara för de olika alternativen. Alternativ 1, 2 och 4 anses bidra till en försämring jämfört med referensvärdet.

Luftning är en reningsteknik som förbättrar smak och lukt på regnvatten (Senevirathna, Ramzan & Morgan 2019), vilket gör att alternativ 3 anses prestera lika bra som referensalternativet.

Maxvärdet som kan tilldelas detta kriterium är 0, eftersom ett antagande är gjort att de olika alternativen inte kan prestera bättre än referensalternativet.

### **Förväntad hållbarhetsupplevelse för brukaren**

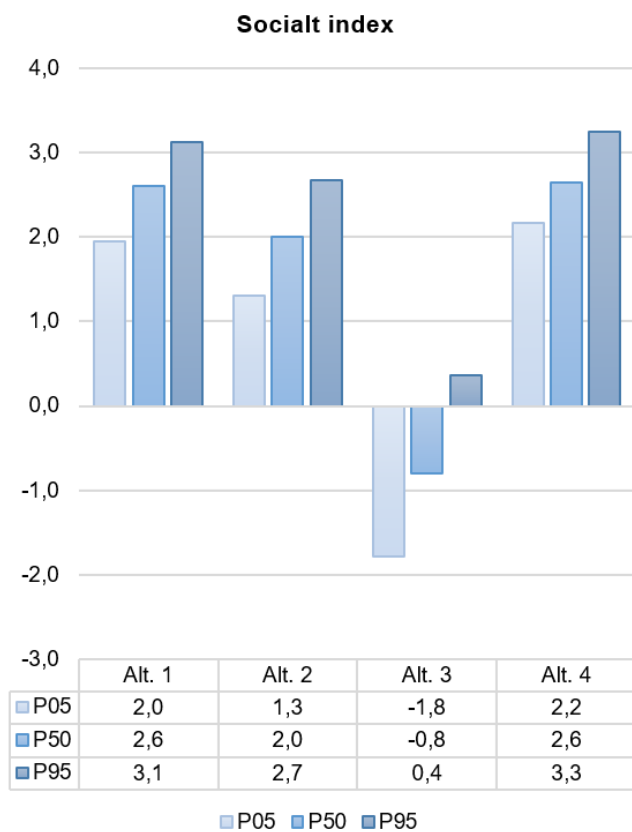
Att återvinna regnvatten är i enlighet med de globala målen (Frihammar & Barup, 2021), vilket gör att implementering av dessa är relevant för en person som är mån om klimatet.

De olika systemen tilldelades värden utifrån hur hållbara brukaren kan uppleva de olika systemen. Brukaren ansågs få högst upplevd hållbarhet av att ha en fastighetsnära lösning, alternativ 1. Detta är eftersom brukaren själv ser systemet och utför dess underhåll.

Det storskaliga systemet däremot är placerad på avstånd från brukaren, där brukaren inte utför underhåll. Dammarna anses därför vara svårare för brukaren att relatera till och av den anledningen anses det storskaliga systemet generera minst upplevd hållbarhet. Det fastighetsgemensamma systemet anses prestera bättre upplevd hållbarhet för brukaren än det storskaliga, men lägre än det fastighetsgemensamma.

Samtliga alternativ ansågs under workshopen prestera högre än referensalternativet. Slutgiltiga sociala indexen presenteras i Figur 2A.





Figur A2: Sammanställning av den genererade indexet utifrån poängsättningen från de sociala kriterierna. Resultaten presenteras i 95 %-konfidensintervall.

## **BILAGA 5 – MILJÖMÄSSIGA KRITERIER**

### **Påverkan nedströms**

Här undersöks hur de olika alternativen påverkar spillvattenkvaliteten nedströms. Det fastighetsnära och fastighetsgemensamma samlar endast in takdagvatten, vilket anses vara relativt rent (Worm & van Hattum, 2006). Det storskaliga systemet samlar däremot in dagvatten från andra hårdgjorda ytor än tak, vilket genererar mer förorenat vatten. Alternativ 3, utan rening, genererar den mest avsevärda försämringen av de fyra alternativen, eftersom det endast används ett grovfilter där. Alternativ 4, där avancerad rening finns, ansågs under workshopen generera en vattenkvalitet som är lik dricksvatten. Av den anledningen anses alternativ 1,2 och 4 bidra till en låg måttlig påverkan på spillvattennätet jämfört med referensalternativet.

### **Möjlig dricksvattenbesparing**

Mängden dricksvatten som kan bli ersatt av regnvatten beräknades enligt Ekvation 3. Alternativ 1 och 2, som använder takytor, antas ha samma insamlingspotential. Alternativ 3 och 4 antas även ha lika stora magasineringsmöjligheter.

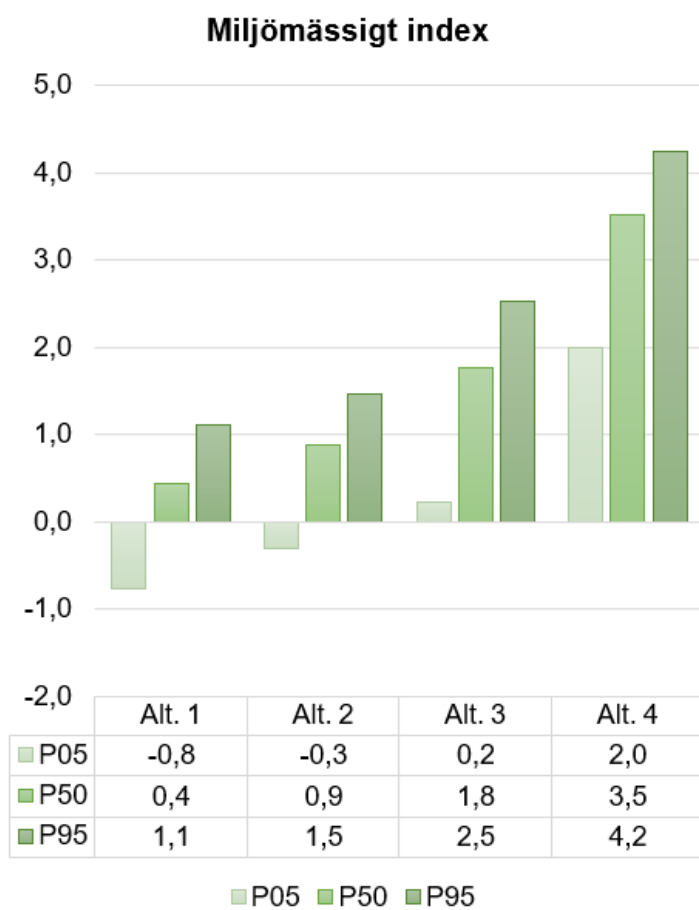
Nedan presenteras den genomsnittliga dricksvattenbesparingen procentuellt jämfört med den totala dimensionerade dricksvattenanvändningen i området. Den genomsnittliga vattenbesparingen baseras på nederbördsdata från de senaste 10 åren.

Den dimensionerade medeldricksvattenförbrukningen beräknades baserat på att industrien är i konstant bruk och uppskattas vara 320 m<sup>3</sup>/dag. För alternativ 3 och 4 antogs bräddvolymen vara försumbar eftersom magasineringen består av två dagvattendammar som är dimensionerade efter ett 10-årsregn (Sjöholm et al. 2020).

### **Materialanvändningens klimatpåverkan**

Detta kriterium gjordes subjektivt utifrån vad LBVA ansåg kring hållbarheten kring implementering av de olika systemen. Alternativ 1 inkluderar en tank per fastighet och av den anledningen uppskattades den bidra med en avsevärd försämring av klimatpåverkan jämfört med referensalternativet. Bedömningen för alternativ 2 gjordes baserat på att det är färre antal tankar som kommer grävas ned i marken. Alternativ 3 och 4 bestämdes till att bidra med en måttlig försämring eftersom det behöver installeras en trycksättningsstation med betongplatta.

Sammanställning av det miljömässiga indexet sammanfattas med konfidensintervall i Figur 3A.



Figur A3: Sammanställning av den genererade indexet utifrån poängsättningen från de miljömässiga kriterierna. Resultaten presenteras i 95 %-konfidensintervall.

# BILAGA 6 – EKONOMISKA KRITERIER

## Kapitalkostnad

Den uppskattade kapitalkostnaden redovisas nedan i Figur A4.

| Kalkylerna: 4%                             | Alt 1               |                     | Alt 2               |                     | Alt 3               |                     | Alt 4               |                     | Referensalternativ  |
|--------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                                            | MIN                 | MESTTROLIGT MAX     | MIN                 | MESTTROLIGT MAX     | MIN                 | MESTTROLIGT MAX     | MIN                 | MESTTROLIGT MAX     |                     |
| Arnl system, arnl pumpar                   | 42                  | 60 000              | 42                  | 60 000              | 42                  | 60 000              | 42                  | 60 000              | 42                  |
| Pris per pump                              | 60 000              | 60 000              | 60 000              | 60 000              | 60 000              | 60 000              | 60 000              | 60 000              | 60 000              |
| Investeringskostnad pumpar (kr)            | 2 520 000           | 2 520 000           | 2 520 000           | 2 520 000           | 2 520 000           | 2 520 000           | 2 520 000           | 2 520 000           | 2 520 000           |
| Ekonomisk livslängd (år)                   | 15                  | 15                  | 15                  | 15                  | 15                  | 15                  | 15                  | 15                  | 15                  |
| <b>Kapitalkostnad pumpar (kr/år)</b>       | <b>226 652</b>      | <b>226 652</b>      | <b>226 652</b>      | <b>226 652</b>      | <b>226 652</b>      | <b>226 652</b>      | <b>226 652</b>      | <b>226 652</b>      | <b>226 652</b>      |
| Arnl m system                              | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   |
| Ledning 315 PE (m)                         | 3 363               | 3 363               | 3 363               | 3 363               | 3 363               | 3 363               | 3 363               | 3 363               | 3 363               |
| Investeringskostnad 315 PE (kr)            | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   |
| Ekonomisk livslängd (år)                   | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  |
| <b>Kapitalkostnad 315 PE (kr/år)</b>       | <b>-</b>            | <b>-</b>            | <b>-</b>            | <b>-</b>            | <b>-</b>            | <b>-</b>            | <b>-</b>            | <b>-</b>            | <b>349 103</b>      |
| Arnl m system                              | 30                  | 30                  | 30                  | 30                  | 30                  | 30                  | 30                  | 30                  | 30                  |
| Ledning 110 PE (kr/m)                      | 42                  | 42                  | 42                  | 42                  | 42                  | 42                  | 42                  | 42                  | 42                  |
| Investeringskostnad 110 PE (kr)            | 1 147               | 1 147               | 1 147               | 1 147               | 1 147               | 1 147               | 1 147               | 1 147               | 1 147               |
| Ekonomisk livslängd (år)                   | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  |
| <b>Kapitalkostnad 110 PE (kr/år)</b>       | <b>67 275</b>       | <b>67 275</b>       | <b>67 275</b>       | <b>67 275</b>       | <b>67 275</b>       | <b>67 275</b>       | <b>67 275</b>       | <b>67 275</b>       | <b>67 275</b>       |
| Arnl filter/reningsslagningar              | 42                  | 42                  | 42                  | 42                  | 42                  | 42                  | 42                  | 42                  | 42                  |
| Kostnad per reningsslagning                | 300                 | 300                 | 300                 | 300                 | 300                 | 300                 | 300                 | 300                 | 300                 |
| Investeringskostnad rening (kr)            | 12 600              | 12 600              | 12 600              | 12 600              | 12 600              | 12 600              | 12 600              | 12 600              | 12 600              |
| Ekonomisk livslängd (år)                   | 10                  | 10                  | 10                  | 10                  | 10                  | 10                  | 10                  | 10                  | 10                  |
| <b>Kapitalkostnad rening (kr/år)</b>       | <b>1 553</b>        | <b>1 553</b>        | <b>1 553</b>        | <b>1 553</b>        | <b>1 553</b>        | <b>1 553</b>        | <b>1 553</b>        | <b>1 553</b>        | <b>1 553</b>        |
| Totalt magasiningskostn (m3)               | 640                 | 640                 | 640                 | 640                 | 640                 | 640                 | 640                 | 640                 | 640                 |
| Kostnad tank (kr/m3)                       | 3 000               | 3 250               | 3 000               | 3 250               | 3 000               | 3 250               | 3 000               | 3 250               | 3 000               |
| Investeringskostnad magasinering           | 1 920 000           | 2 080 000           | 1 920 000           | 2 080 000           | 1 920 000           | 2 080 000           | 1 920 000           | 2 080 000           | 1 920 000           |
| Ekonomisk livslängd (år)                   | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  | 50                  |
| <b>Kapitalkostnad magasinering (kr/år)</b> | <b>89 376</b>       | <b>96 824</b>       | <b>89 376</b>       | <b>96 824</b>       | <b>89 376</b>       | <b>96 824</b>       | <b>89 376</b>       | <b>96 824</b>       | <b>89 376</b>       |
| Renting (kr)                               | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   |
| Ränta (kr)                                 | 4                   | 3                   | 3                   | 3                   | 3                   | 3                   | 3                   | 3                   | 3                   |
| <b>Summa kapitalkostnader (kr/år)</b>      | <b>384 857</b>      | <b>392 305</b>      | <b>384 857</b>      | <b>392 305</b>      | <b>384 857</b>      | <b>392 305</b>      | <b>384 857</b>      | <b>392 305</b>      | <b>384 857</b>      |
| % minskning av kostnad på dricksvatten     | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   |
| Kostnad för dricksvatten (kr/år)           | 575 754,34 kr       | 575 754,34 kr       | 575 754,34 kr       | 575 754,34 kr       | 575 754,34 kr       | 575 754,34 kr       | 575 754,34 kr       | 575 754,34 kr       | 575 754,34 kr       |
| <b>Totalt kostnad (kr/år)</b>              | <b>960 611</b>      | <b>968 059 722</b>  | <b>968 059 722</b>  | <b>968 059 722</b>  | <b>968 059 722</b>  | <b>968 059 722</b>  | <b>968 059 722</b>  | <b>968 059 722</b>  | <b>968 059 722</b>  |
| <b>Skilnad från ref (kr/år) (m WISER)</b>  | <b>384 856 7044</b> | <b>392 304 7365</b> | <b>384 856 7044</b> | <b>392 304 7365</b> | <b>384 856 7044</b> | <b>392 304 7365</b> | <b>384 856 7044</b> | <b>392 304 7365</b> | <b>384 856 7044</b> |

Figur A4: En sammanställning av kapitalkostnaden för de fyra alternativen och referensalternativet. De beräknades baserat på skillnaden mot referensalternativet och det var detta värde som sattes in i WISER.

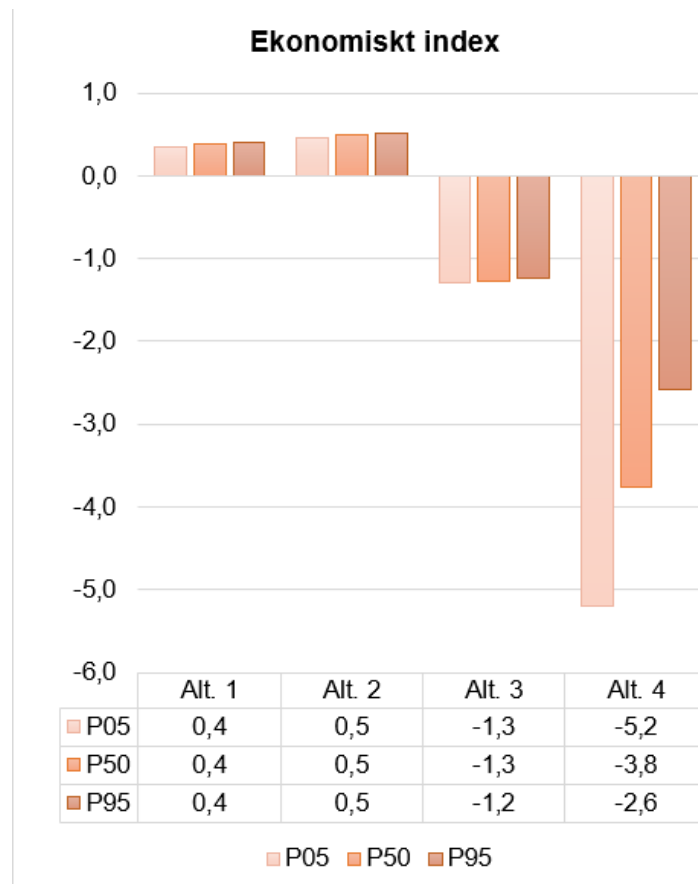
Drift- och underhållskostnader

Den uppskattade drift- och underhållskostnaden redovisas i Figur 5A.

| Drift- och underhållskostnad                         | Alt 1        |              |              | Alt 2        |              |              | Alt 3        |              |              | Alt 4                                      |              |             | Referensalternativ<br>(dricksvatten) |
|------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------------------------|--------------|-------------|--------------------------------------|
|                                                      | MIN          | MEST TROLIGT | MAX          | MIN          | MEST TROLIGT | MAX          | MIN          | MEST TROLIGT | MAX          | MIN                                        | MEST TROLIGT | MAX         |                                      |
| Genomsnittlig kostnad (kr/m <sup>3</sup> )           | 0,57         | 0,57         | 0,57         | 0,57         | 0,57         | 0,57         | 0,57         | 0,57         | 0,57         | 0,57                                       | 0,57         | 0,57        | 320                                  |
| Medeltide per dag dricksvatten (m <sup>3</sup> /dag) | 320          | 320          | 320          | 320          | 320          | 320          | 320          | 320          | 320          | 320                                        | 320          | 320         | 320                                  |
| Dricksvatten som byts ut (%)                         | 69,66        | 69,66        | 69,66        | 69,66        | 69,66        | 69,66        | 81,05        | 81,05        | 81,05        | 81,05                                      | 81,05        | 81,05       | 100                                  |
| Försejning med tekniskt vatten (m <sup>3</sup> /år)  | 81362,88     | 81362,88     | 81362,88     | 81362,88     | 81362,88     | 81362,88     | 94666,4      | 94666,4      | 94666,4      | 94666,4                                    | 94666,4      | 94666,4     | 116800                               |
| Elkostnad (kr/kWh)                                   | 0,9478       | 1,0063       | 1,1233       | 0,9478       | 1,0063       | 1,1233       | 0,9478       | 1,0063       | 1,1233       | 0,9478                                     | 1,0063       | 1,1233      | 0                                    |
| Kostnad pumpar (kr/år)                               | 46376,8416   | 46376,8416   | 46376,8416   | 46376,8416   | 46376,8416   | 46376,8416   | 53959,848    | 53959,848    | 53959,848    | 53959,848                                  | 53959,848    | 53959,848   | 0                                    |
| Energiförbrukning UF (kWh/m <sup>3</sup> )           |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 0,1                                        | 0,1          | 0,1         |                                      |
| UF total energiförbrukning (kWh)                     |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 9466,64                                    | 9466,64      | 9466,64     |                                      |
| Energiförbrukning UV (kWh/m <sup>3</sup> )           |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 0,5                                        | 2,5          | 5           |                                      |
| UV total energiförbrukning (kWh)                     |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 47333,2                                    | 236666       | 473332      |                                      |
| Utlutning av energiförbrukning (kWh)                 |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 50 av totala energianvändningen för rening |              |             |                                      |
| Vaxtaxa dricksvatten (kr/m <sup>3</sup> )            |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 66199,76                                   | 369199,96    | 724197,96   | 5,75                                 |
| Kostnad rening (kr)                                  |              |              |              |              |              |              |              |              |              |                                            |              |             |                                      |
| Tillgrip                                             | 8000         | 8000         | 8000         | 8000         | 8000         | 8000         | 8000         | 8000         | 8000         | 16000                                      | 16000        | 16000       |                                      |
| Underhåll                                            | 10000        | 10000        | 10000        | 10000        | 10000        | 10000        | 10000        | 10000        | 10000        | 20000                                      | 20000        | 20000       |                                      |
| Service                                              | 6000         | 6000         | 6000         | 6000         | 6000         | 6000         | 6000         | 6000         | 6000         | 12000                                      | 12000        | 12000       |                                      |
| Kostnad drift (kr/år)                                | 70376,8416   | 70376,8416   | 70376,8416   | 70376,8416   | 70376,8416   | 70376,8416   | 77959,848    | 77959,848    | 77959,848    | 226547,0689                                | 721168,0371  | 1467779,129 |                                      |
| Osäkerhetsfaktor (%)                                 | -20%         | 0%           | 20%          | -20%         | 0%           | 20%          | -20%         | 0%           | 20%          | -20%                                       | 0%           | 20%         | 20%                                  |
| Totkostnad kr/år                                     | 56301,47328  | 70376,8416   | 84452,20992  | 56301,47328  | 70376,8416   | 84452,20992  | 62367,8784   | 77959,848    | 93551,8176   | 189237,6551                                | 721168,0371  | 1748324,955 | 805920                               |
| Totkostnad Kr/år                                     | 56,30147328  | 70,3768416   | 84,45220992  | 56,30147328  | 70,3768416   | 84,45220992  | 62,3678784   | 77,959848    | 93,5518176   | 189,2376551                                | 721,1680371  | 1749,234855 | 805,92                               |
| % dricksvattenbesparing                              | 69,66        | 69,66        | 69,66        | 69,66        | 69,66        | 69,66        | 81,05        | 81,05        | 81,05        | 81,05                                      | 81,05        | 81,05       | 100                                  |
| Totale värtetoförsejningskostnaden (kr/år)           | 300,817013   | 314,8929896  | 328,8683379  | 300,817013   | 314,8929896  | 328,8683379  | 215,0697184  | 220,681688   | 246,2736576  | 341,9594951                                | 873,8888711  | 1902,059795 | 805,92                               |
| Skilnad mot ref (kr/år), in WISER                    | -505,1023987 | -491,0270304 | -476,9516821 | -505,1023987 | -491,0270304 | -476,9516821 | -590,8302816 | -575,238312  | -559,6463424 | -463,9605049                               | 67,96867798  | 1096,126795 | 0                                    |

Figur A5: Sammanställning av drift- och underhållskostnader

De ekonomiska kriteriernas sammanvägda index presenteras med konfidensintervall i Figur A6.



Figur A6: Sammanställning av den genererade indexet utifrån poängsättningen från de ekonomiska kriterierna. Resultaten presenteras i 95 %-konfidensintervall

## BILAGA 7

Uppskattade ledningsdragningar presenteras i Figur 7A, Figur 8A och Figur 9A. Skalan i sydvästra hörnet av illustrationskartan användes för att uppskatta längderna på ledningarna.



Figur A7: Uppskattade ledningsdragningar för alternativ 1, småskaligt system med en magasinering per fastighet.





Figur A8: Uppskattade ledningsdragningar för alternativ 2, en fastighetsgemensam lösning där 3–4 fastigheter har en gemensam magasinering.

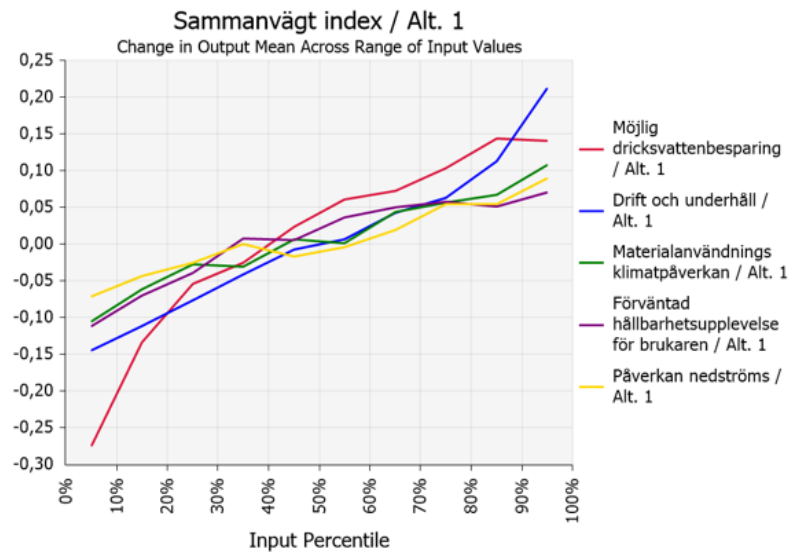
I Figur A9 drog ledningarna i största möjliga mån under vägarna enligt rekommendationer.



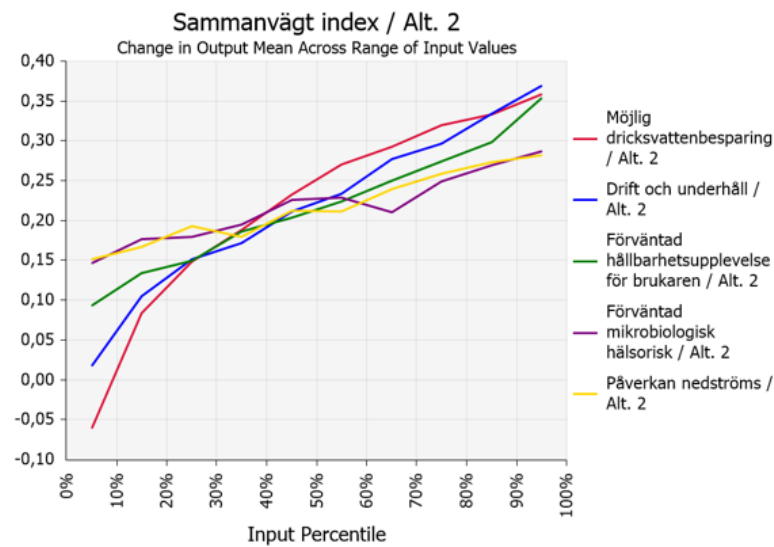
Figur A9: Uppskattade ledningsdragningar för alternativ 3 och 4, de storskaliga systemen. Ledningarna antogs vara från dammen för tekniskt vatten tillbaka till fastigheterna.



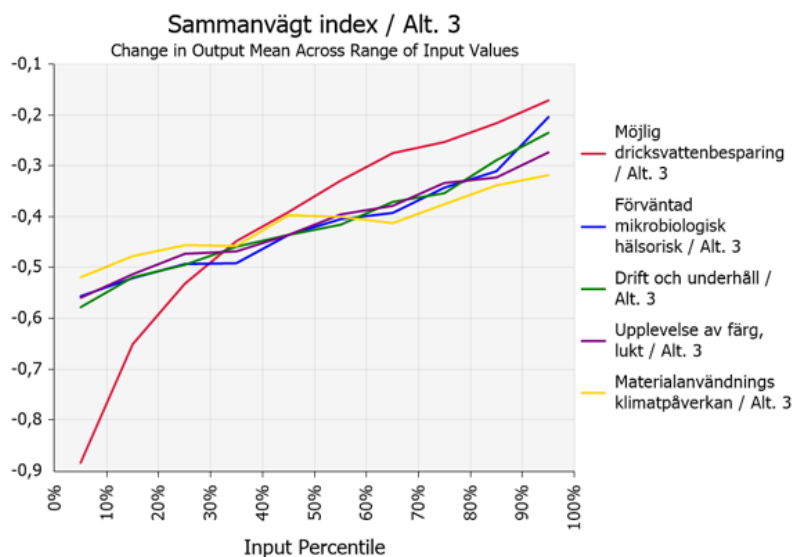
## BILAGA 8-VARIATIONSANALYS



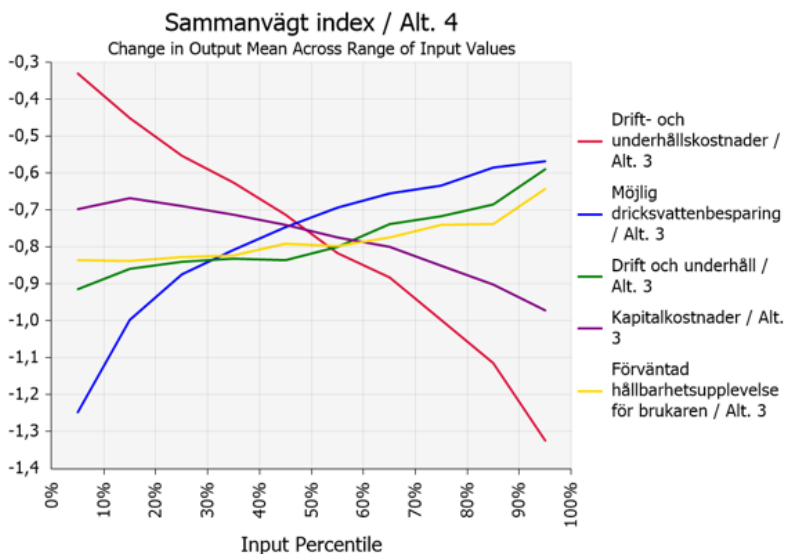
Figur A10: Variationsanalys för alternativ 1 (småskaligt och fastighetsnära system)



Figur A11: Variationsanalys för alternativ 2 (fastighetsgemensamt system)

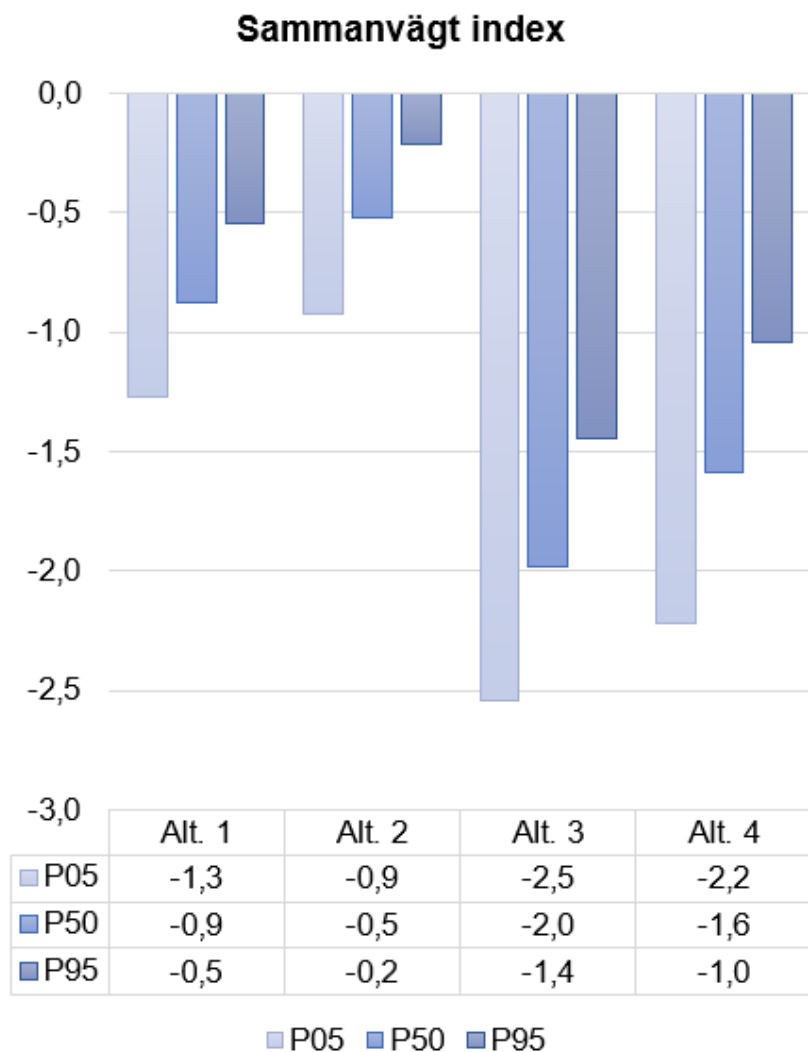


Figur A12: Variationsanalys för alternativ 3 (storskaligt system med enklare rening)



Figur A13: Variationsanalys för alternativ 4 (storskaligt system med mer avancerad rening).

## BILAGA 9 - Sammanvägt index utan kriteriet ”Upplevd hållbarhetsupplevelse för brukaren”



Figur A14: Sammanvägd index utan kriteriet ”Förväntad hållbarhetsupplevelse för brukaren”. Resultatet blir ett negativt sammanvägt index för alla fyra alternativen, där alternativ 3 genererade lägst värde.

## BILAGA 10 - MULTIKRITERIEANALYSMETODER

En litteraturstudie gjordes för att undersöka om linjär additiv metod som WISER använder, är mer fördelaktig än andra multikriterieanalyismetoder. Frågeställningen var om det finns någon annan multikriterieanalyismetod än linjär additiv metod som kan tillämpas på regn- och dagvattenåtervinning och den metoden fungerar?

Ur litteraturstudien kunde ett antal rapporter analyseras för att se huruvida olika multikriterieanalyismetoder kan implementeras på regnvattenåtervinning. I Tabell A6 visas ett urval av olika multikriterieanalyismetoder som använts för dagvattenrelaterade frågeställningar.

Tabell A6: Exempel på multikriterieanalyismetoder som använts för dagvattenrelaterade frågeställningar.

| Typ av metod                     | Tillämpning                                                                                                                                                              | Referens                       |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Linjär additiv metod             | Multikriterieanalys som gjordes i Storbritannien för att analysera vilken systemkonfiguration som är mest fördelaktigt för ett typiskt brittiskt hem.                    | Melville-Shreeve et. al (2016) |
| Outranking metod                 | Utvärderar potentiella alternativ för att hantera dagvatten baserat på åsikter från intressenter inom vattensektorn och lokalt ansvariga.                                | Inamdar et. al (2018)          |
| Analytical Hierarchy Metod (AHP) | Kontrollerar om ett stort avrinningsområde är lämpligt för regnvattenåtervinning med hjälp av AHP och GIS. Kriterier som exempelvis jordtyp och landanvändning användes. | Adham et. al (2022)            |

Hajkowicz och Collins (2007) har analyserat 113 multikriterieanalyser inom vattensektorn, som innehöll 61 variationer av multikriterieanalyismetoder. Denna studie inkluderar dock inte multikriterieanalyser gjorda på återvinning av regn- och dagvatten eftersom det inte var etablerat i stor utsträckning när studien gjordes. I stället var det exempelvis vattenkvalitet, infrastruktur i vattensektorn, grundvattenutvinning och marina skyddsområden som analyserades. Enligt studien är det vanligt att kombinera mer än en multikriterieanalyismetod, vilket är fördelaktigt när resultatets osäkerhet ska analyseras (Hajkowicz & Collins 2007).

Deras slutsats var att det inte är en märkbar skillnad mellan resultaten från olika multikriterieanalyismetoder vid implementering på vattensektorn. Ingen metod presterar således märkbart bättre än andra (ibid.). De som ska göra multikriterieanalysen har olika kunskaper vilket även påverkar vilken metod som är mest förmånlig (Dean 2022).

Eftersom detta arbete sker under en tidsbegränsning behövde denna litteraturstudie begränsas i hög grad. Slutligen valdes den mest användbara metoden utöver linjär additiv metod att redovisas i resultatet. Resultatet av litteraturstudien visade att metoden AHP, vilket är en vanligt förekommande metod, även kan användas som beslutsstöd för regnvattenåtervinning. AHP används i hög grad i kombination med GIS för att ta fram vilka ytor som är förmånliga för implementering av regnvattenåtervinning (Adham et. al 2022). En fördjupning av AHP redovisas nedan.

## 7.1 ANALYTICAL HIERARCHY METOD

Analytical Hierarchy process (AHP) är en multikriterieranalysmetod som utvecklats ur linjär additiv metod. Den använder linjär algebra för att tilldela värden och bestämma viktningen. Både poängsättningen för alternativen och viktningen beräknas som egenvärden som sedan multipliceras likt linjär additiv metod (Saaty 2008).

Metoden går ut på att dela upp problemställningen och kriterierna indelas på olika nivåer baserat på hur viktiga de anses vara för det slutgiltiga målet (ibid.).

- Nivå 1 inkluderar målet med multikriterieanalysen. Detta kan exempelvis vara att minska dricksvattenbelastningen genom att investera i ett småskaligt regnvattenåtervinningssystem för ett vanligt hushåll.
- Nivå 2 hanterar kriterierna. Här undersöks vilka kriterier som är relevanta för analysen för att uppnå nivå 1. I detta fall ska regnvattenåtervinning analyseras utifrån tekniska, sociala, miljömässiga och ekonomiska faktorer. Exempelvis kan kriterier för regnvattenåtervinning vara: Möjlig vattenbesparing, mikrobiologiska hälsorisker och investeringskostnad.
- Nivå 3: De olika alternativen, exempelvis att använda vattentunna för bevattning.

Nivåerna kan ses som en hierarkisk rangordning som används för att värdera alternativen. Alternativen värderas i relation till varandra baserat på hur mycket de anses bidra till det slutgiltiga målet. Enligt Saaty (2009) jämförs de med varandra parvis genom en matriskonstruktion. Om jämförelsen mellan två värden tilldelas värdet 1 anses båda alternativen vara lika viktiga för målet. Värdet 9 ger den största skillnaden, då uppskattas ena alternativet vara 9 gånger viktigare än det andra. Om ett alternativ 1 värderas 9 gånger högre än alternativ 2, kommer jämförelsen mellan alternativ 1 och 2 ge värdet 1/9.

Samma sak kan sedan göras för att bestämma viktningen. Då skapas en prestandamatrix där kriterierna tilldelas värden i stället för alternativen. Egenvärdena som genereras visar viktningen på kriteriet (Dean 2022).

Efter beräkningar av värdering och viktning beräknas varje alternativs slutgiltiga värde. Skillnaden i AHP jämfört med linjär additiv metod är att både värderingen och viktningen har tilldelats ett värde mellan 0 och 1. Det alternativ med högst sammanlagt värde anses vara det bäst lämpade (ibid.).

Vid användning av AHP kan bedömningen kontrolleras med hjälp av ett konsistent index (CI) som visar hur konsekvent bedömningen är (Taherdoost 2017).

### Diskussion

AHP är en metod som är tidskrävande och har fler steg än linjär additiv metod (Dodgson et al. 2009). Metoden möjliggör dock att de valda kriterierna kan delas upp i delkriterier för ännu en fördjupad bedömning (Saaty 2008). Detta kan vara fördelaktigt vid exempelvis bedömning av de kemiska hälsoriskerna. Här kan exempelvis AHP vara fördelaktigt om specifika kemikalier ska analyseras. Då kan delkriterier för olika kemiska risker analyseras, exempelvis

skulle både risken för PFAS och oljespill vara relevant för Kistinge industriområde. Om man exempelvis har mikrobiologiska hälsorisker som kriterium kan lämpliga delkriterier vara Legionella-, E.coli- och/eller Salmonellarisk. På så sätt kan det göras en analys som inkluderar en övergripande förståelse för problemet.

Att undersöka vilket recirkuleringssystem som är mest lämpligt utifrån de givna förutsättningarna kan med fördel bestämmas med en multikriterieanalys. Enligt Hajkowicz & Collins (2007) var det inte en märkbar skillnad kring resultatet för olika multikriterieanalysmetoder. Det är främst beslutsfattarnas kunskap som bör avgöra vilken multikriterieanalysmetod som är mest relevant (Dean 2022).