



**CHALMERS**

# **Blågröna lösningar i teori och praktik**

En jämförelse mellan projekterad och faktisk reningseffektivitet i regnbäddar

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

**OSCAR ERIKSSON & JULIA PETERSSON**

**Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik**

---

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2025

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



EXAMENSARBETE ACEX20 2025

## Blågröna lösningar i teori och praktik

En jämförelse mellan projekterad och faktisk  
reningseffektivitet i regnbäddar

OSCAR ERIKSSON & JULIA PETERSSON



**CHALMERS**

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2025

Blågröna lösningar i teori och praktik  
En jämförelse mellan projekterad och faktisk reningseffektivitet i regnbäddar  
OSCAR ERIKSSON & JULIA PETERSSON

© OSCAR ERIKSSON & JULIA PETERSSON 2025.

Handledare: Sebastien Rauch,  
Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik  
Examinator: Jesper Knutsson,  
Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

Examensarbete 2025  
Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik  
Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Telefon +46 31 772 1000

Skriven i L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Göteborg 2025

Blågröna lösningar i teori och praktik  
En jämförelse mellan projekterad och faktisk reningseffektivitet i regnbäddar  
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik  
Oscar Eriksson  
Julia Petersson  
Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik  
Avdelningen för Vatten Miljö Teknik  
Chalmers Tekniska Högskola

## Sammanfattning

Klimatförändringar och urbanisering är två faktorer som bidrar till vikten av nya innovativa och tekniska lösningar för dagvattenhantering i städer. Klimatförändringarna bidrar till längre torrperioder och perioder med intensivare regn som genererar stora vattenmängder. I kombination med urbanisering, förtätning och fler hårdgjorda ytor, måste dagvattnet tas hand om lokalt. Att avleda dagvattnet via avloppsnätet bidrar till för stor belastning på reningsverken, medan avledning direkt till recipient bidrar till utsläpp av tungmetaller och näringsämnen i naturen.

Exempel på en sådan lösning är regnbäddar som är en lägre belägen gräsyta med växter som kan uppehålla en mängd vatten samt rena och minska mängden tungmetaller och näringsämnen i vattnet lokalt. De regnbäddar som studerats i rapporten ligger i Alelyckan, Bulycke, Svingeln och Litteraturgatan i Göteborgsområdet. De näringsämnen som adresseras i rapporten är kväve och fosfor samt tungmetallerna arsenik, bly, koppar, krom, nickel och zink.

Syftet med rapporten är att ta reda på hur väl regnbäddarna fungerar utifrån vad de är projekterade att klara av. Provtagningsresultat har erhållits från Göteborgs stad, Kretslopp och Vatten och jämförts med projekterade värden för respektive regnbädd för att utvärdera effektiviteten i förhållande till dess planerade prestanda. De har även jämförts med Göteborgs stads målvärden för utsläpp av dagvatten till recipient.

Resultaten visar att regnbäddarnas reningsförmåga varierar betydligt mellan platserna. Det projekterade värdet för fosfor uppnås enbart vid regnbädden vid Litteraturgatan, medan kvävehalten uppfyller projekterade krav i samtliga regnbäddar utom vid Svingeln. Bulycke uppvisar den mest effektiva reningen av tungmetaller, medan Svingeln och Litteraturgatan inte uppnår projekterade nivåer för flertalet metaller. Alelyckan presterar bra för koppar och zink, men kan i vissa fall bidra till utsläpp vid låga ingående halter. Detta tyder på att både ingående föroreningsnivåer och lokal utformning har stor påverkan på regnbäddarnas funktion. Vidare studier inom ämnet kan vara att ta hänsyn till regnintensitet i mätningarna, för ett mer jämförbart resultat.

Nyckelord: regnbädd, reningseffekt, föroreningshalt, näringsämnen, tungmetaller.



Blue-green solutions in theory and practice  
A comparison between projected and actual purification efficiency in rain beds  
Bachelor's degree Project in the Engineering Programme  
Civil and Environmental Engineering  
OSCAR ERIKSSON & JULIA PETERSSON  
Department of Architecture and Civil Engineering  
Division of Water Environment Technology  
Chalmers University of Technology

## Abstract

Climate change and urbanization are two factors that highlight the need for new, innovative, and technical solutions for stormwater management in urban areas. Climate change contributes to longer dry periods and shorter periods of intense rainfall and large volumes of water. Combined with urbanization, densification, and an increase in impervious surfaces, stormwater must be managed locally. This is because water discharged through the sewer system puts too much pressure on wastewater treatment plants, while direct discharge to recipients leads to the release of heavy metals and nutrients into the environment.

One example of such a solution is a rain garden, a sunken vegetated area that can retain water and locally reduce the amount of heavy metals and nutrients in stormwater. The rain gardens studied in this report are located in Alelyckan, Bulycke, Svingeln, and Litteraturgatan in the Gothenburg area. The nutrients addressed in the report are nitrogen and phosphorus, as well as the heavy metals arsenic, lead, copper, chromium, nickel, and zinc. The purpose of this report is to assess how well the rain gardens perform in relation to their projected treatment capacities. Sampling results were obtained from Göteborgs Stad, Kretslopp och Vatten and compared with the projected values for each rain garden in order to evaluate their effectiveness against the planned performance levels. The results were also compared to Gothenburg's target values for stormwater discharge to recipients.

The results show that treatment performance varies significantly between locations. The projected value for phosphorus is only achieved at the rain garden at Litteraturgatan, while nitrogen targets are met in all rain gardens except Svingeln. Bulycke demonstrates the most effective removal of heavy metals, whereas Svingeln and Litteraturgatan fail to meet projected levels for most metals. Alelyckan performs well for copper and zinc, but may in some cases contribute to pollution when incoming concentrations are low. These findings suggest that both incoming pollutant levels and local design have a significant impact on rain garden functionality. Further studies within the subject could take rainfall intensity into account in the measurements, in order to achieve more comparable results.

Key words: raingarden, treatment efficiency, pollutant concentration, nutrients, heavy metals.



## Förord

Innan ni tar del av denna rapport vill vi först och främst tacka vår handledare Sebastien Rauch för att ha guidat oss genom djungeln av examensarbetets alla stadier. Vi vill även tacka vår examinator Jesper Knutsson, samt Sofia Polo Ruiz de Arechavaleta på Göteborgs stad, Kretslopp och Vatten, som tidsbrist, försett oss med den data som varit nödvändig under arbetets gång. Som en sista del i vår resa genom Chalmers högskoleingenjörsprogram inom Samhällsbyggnadsteknik har vi nu kommit fram till slutet av examensarbetet. Det har varit tre lärorika år som resulterat i mycket kunskap och personlig utveckling. Vi hoppas att rapporten kan bidra till en bättre förståelse för hur regnbäddar fungerar i praktiken och skapa lärdomar för liknande framtida projekt.

Oscar Eriksson & Julia Petersson, Göteborg, Maj 2025



# Beteckningar

Nedanför listas beteckningar som används i rapporten:

EU	Europeiska Unionen
LAV	Lagen om Allmänna Vattentjänster
MB	Miljöbalken
MSB	Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap
PBL	Plan och Bygg Lagen
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RISE	Research Institutes of Sweden
SFÄ	Särskilda Föreorende Ämnen
SGF	Svenska Geotekniska Förbundet
SGI	Statens Geologiska Institut
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VA	Vatten och Avlopp



# Innehåll

<b>Akronymer</b>	<b>xi</b>
<b>Figurer</b>	<b>xvii</b>
<b>Tabeller</b>	<b>xix</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	1
1.2 Syfte . . . . .	3
1.3 Avgränsningar . . . . .	3
1.4 Frågeställningar . . . . .	3
<b>2 Teori</b>	<b>5</b>
2.1 Blågröna lösningar . . . . .	5
2.2 StormTac . . . . .	6
2.3 Lagar om dagvatten . . . . .	6
2.4 Ansvarsfördelning . . . . .	7
2.5 Miljöpåverkan av metaller, fosfors och kvävet . . . . .	8
2.5.1 Kväve och fosfor . . . . .	8
2.5.2 Bly . . . . .	9
2.5.3 Koppar . . . . .	9
2.5.4 Krom . . . . .	9
2.5.5 Arsenik . . . . .	9
2.5.6 Nickel . . . . .	10
2.5.7 Zink . . . . .	10
2.6 Riktvärden för dagvatten . . . . .	10
2.7 Göteborgs stads arbete mot skyfall och hantering av dagvatten . . . . .	12
2.8 Regnbädd . . . . .	13
<b>3 Metod</b>	<b>17</b>
3.1 Författarnas metod . . . . .	17
3.2 Metod för tillhandahållen data . . . . .	18
3.3 Alelyckan . . . . .	18
3.3.1 Placering av regnbädden . . . . .	18
3.3.2 Provtagning . . . . .	19

3.3.3	Uppbyggnad . . . . .	20
3.4	Bulycke . . . . .	21
3.4.1	Placering av regnbädden . . . . .	21
3.4.2	Provtagning . . . . .	22
3.4.3	Uppbyggnad . . . . .	23
3.5	Svingeln . . . . .	24
3.5.1	Placering av regnbädden . . . . .	24
3.5.2	Provtagning . . . . .	25
3.5.3	Uppbyggnad . . . . .	26
3.6	Litteraturgatan . . . . .	27
3.6.1	Placering av regnbädden . . . . .	27
3.6.2	Provtagning . . . . .	28
3.6.3	Uppbyggnad . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Resultat</b>	<b>31</b>
4.1	Alelyckan . . . . .	32
4.1.1	Fosfor . . . . .	32
4.1.2	Kväve . . . . .	32
4.1.3	Tungmetaller . . . . .	33
4.2	Bulycke . . . . .	34
4.2.1	Fosfor . . . . .	34
4.2.2	Kväve . . . . .	34
4.2.3	Tungmetaller . . . . .	35
4.3	Svingeln . . . . .	36
4.3.1	Fosfor . . . . .	36
4.3.2	Kväve . . . . .	36
4.3.3	Tungmetaller . . . . .	37
4.4	Litteraturgatan . . . . .	38
4.4.1	Fosfor . . . . .	38
4.4.2	Kväve . . . . .	38
4.4.3	Tungmetaller . . . . .	39
4.5	Jämförelse . . . . .	40
4.5.1	Föroreningshalter in . . . . .	40
4.5.1.1	Fosfor . . . . .	40
4.5.1.2	Kväve . . . . .	40
4.5.1.3	Tungmetaller . . . . .	41
4.5.2	Föroreningshalter ut . . . . .	42
4.5.2.1	Fosfor . . . . .	42
4.5.2.2	Kväve . . . . .	42
4.5.2.3	Tungmetaller . . . . .	43
4.5.3	Reningseffektivitet . . . . .	44
4.5.3.1	Fosfor . . . . .	44
4.5.3.2	Kväve . . . . .	44
4.5.3.3	Tungmetaller . . . . .	45
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>47</b>
5.1	Sammanfattning av resultat . . . . .	47

---

5.1.1	Alelyckan . . . . .	47
5.1.1.1	Fosfor . . . . .	47
5.1.1.2	Kväve . . . . .	47
5.1.1.3	Tungmetaller . . . . .	47
5.1.2	Bulycke . . . . .	48
5.1.2.1	Fosfor . . . . .	48
5.1.2.2	Kväve . . . . .	48
5.1.2.3	Tungmetaller . . . . .	48
5.1.3	Svingeln . . . . .	48
5.1.3.1	Fosfor . . . . .	48
5.1.3.2	Kväve . . . . .	48
5.1.3.3	Tungmetaller . . . . .	49
5.1.4	Litteraturgatan . . . . .	49
5.1.4.1	Fosfor . . . . .	49
5.1.4.2	Kväve . . . . .	49
5.1.4.3	Tungmetaller . . . . .	49
5.1.5	Reningseffekt . . . . .	49
5.1.5.1	Fosfor . . . . .	49
5.1.5.2	Kväve . . . . .	50
5.1.5.3	Tungmetaller . . . . .	50
5.2	Tolkning av resultaten . . . . .	51
5.2.1	Problematik med visualisering i procent . . . . .	51
5.2.2	Bakgrund till resultaten . . . . .	51
5.2.2.1	Alelyckan . . . . .	51
5.2.2.2	Bulycke . . . . .	52
5.2.2.3	Svingeln . . . . .	52
5.2.2.4	Litteraturgatan . . . . .	53
5.2.3	Förörena för att rena . . . . .	53
5.2.4	Är regnbäddarna meningsfulla? . . . . .	54
5.3	Praktiska implikationer . . . . .	55
5.3.1	Alelyckan . . . . .	55
5.3.2	Bulycke . . . . .	55
5.3.3	Svingeln . . . . .	56
5.3.4	Litteraturgatan . . . . .	56
5.4	Metodkritik och begränsningar . . . . .	57
5.5	Förslag till fortsatta studier . . . . .	58
<b>6</b>	<b>Slutsats</b>	<b>59</b>
	<b>Referenser</b>	<b>61</b>
<b>A</b>	<b>Bilagor</b>	<b>I</b>
A.1	Alelyckan . . . . .	I
A.2	Bulycke . . . . .	II
A.3	Svingeln . . . . .	III
A.4	Litteraturgatan . . . . .	IV



# Figurer

2.1	Exempel på hur en regnbädd kan se ut (Bara mineraler, 2020). . . . .	13
3.1	Översikt av området kring regnbädden som benämns (Rain garden) i figuren (Prince, 2015). . . . .	18
3.2	Illustrering av var provtagningsutrustningen är placerad och hur flödet ser ut genom bädden (Polo Ruiz de Arechavaleta, 2021a). . . . .	19
3.3	Tvärsektion av regnbäddens uppbyggnad (Engvall, u.å.). . . . .	20
3.4	Översikt av området kring regnbäddarna (Lundberg & Hartung, 2016) . . . . .	21
3.5	Illustrering av var provtagningsutrustningen är placerad och hur flödet ser ut genom bädden (Polo Ruiz de Arechavaleta, 2021b). . . . .	22
3.6	Tvärsektion av regnbäddens uppbyggnad (COWI AB, 2016). . . . .	23
3.7	Översikt av området kring regnbädd (Wedblad, 2017). . . . .	24
3.8	Illustrering av var provtagningsutrustningen är placerad och hur flödet ser ut genom bädden (Polo Ruiz de Arechavaleta, 2022). . . . .	25
3.9	Tvärsektion av regnbäddens uppbyggnad (Wedblad, 2017). . . . .	26
3.10	Översikt av området kring regnbädden (Wedblad, 2020). . . . .	27
3.11	Illustrering av var provtagningsutrustningen är placerad och hur flödet ser ut genom bädden (Polo Ruiz de Arechavaleta, 2023) . . . . .	28
3.12	Tvärsektion av regnbäddens uppbyggnad (Wedblad, 2020). . . . .	29
4.1	Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halt av fosfor och dess målvärde. . . . .	32
4.2	Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halt av kväve och dess målvärde. . . . .	32
4.3	Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halter av tungmetaller och dess målvärde. . . . .	33
4.4	Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halt av fosfor och dess målvärde. . . . .	34
4.5	Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halt av kväve och dess målvärde. . . . .	34
4.6	Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halter av tungmetaller och dess målvärde. . . . .	35
4.7	Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halt av fosfor och dess målvärde. . . . .	36
4.8	Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halt av kväve och dess målvärde. . . . .	36

4.9	Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halter av tungmetaller och dess målvärde. . . . .	37
4.10	Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halt av fosfor och dess målvärde. . . . .	38
4.11	Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halt av kväve och dess målvärde. . . . .	38
4.12	Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halter av tungmetaller och dess målvärde. . . . .	39
4.13	Diagram med ingående halt av fosfor och dess målvärde. . . . .	40
4.14	Diagram med ingående halter av kväve och dess målvärde. . . . .	40
4.15	Diagram med ingående halter av tungmetaller och dess målvärde. . .	41
4.16	Diagram med utgående halt av fosfor och dess målvärde. . . . .	42
4.17	Diagram med utgående halt av kväve och dess målvärde. . . . .	42
4.18	Diagram med utgående halter av tungmetaller och dess målvärde. . .	43
4.19	Diagram med reningseffektivitet av fosfor. . . . .	44
4.20	Diagram med reningseffektivitet av kväve. . . . .	44
4.21	Diagram med reningseffektivitet av tungmetaller. . . . .	45

# Tabeller

2.1	Riktvärden och målvärden (Göteborgs stad, 2021) . . . . .	12
-----	---	----



# 1

## Inledning

### 1.1 Bakgrund

Världen står inför en rad olika klimatförändringar. Dessa klimatförändringar kan medföra allvarliga konsekvenser för våra samhällen om åtgärder inte vidtas. En stor del av klimatpåverkan är de ökade vattenmängderna som kommer vid extremregn men också allmänt mer regn (Naturvårdsverket, 2024a). Efter industrialiseringen startades en urbanisering som fortfarande pågår (Boverket, 2019c). I dag sker urbanisering inte längre genom flytt från landsbygden utan i stället av större invandring än utvandring från andra länder samt födelseöverskott. Städerna har vuxit och byggts ut men mestadels förtätats (Boverket, 2019c). Områden som tidigare varit gräsytor, ersätts med byggnader och asfalterade vägar (Boverket, 2021). Asfalterade ytor har god transportförmåga av vatten, och stora asfalterade ytor transporterar stora mängder vatten som sedan skapar översvämningar i dalar och lägre belägna stadsdelar (Boverket, 2021).

Det regnar i genomsnitt var tredje dag i Göteborg och den genomsnittliga regnmängden under en dag är fem millimeter (Göteborgs stad, u.åc). För att regn ska klassas som skyfall ska det regna mer än femtio mm under en timme (Göteborgs stad, u.åb). I en rapport från MSB, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, och SGI, Statens Geotekniska Institut, är Göteborg ett av de områden i Sverige där risk för översvämning är störst och med stor risk för omfattande konsekvenser (SGI och MSB, 2021). Risken bedöms av närheten till Göta älv, ökade havsnivåer och vilka verksamheter som ligger nära älven samt att älven används som en dricksvattentäkt.

Metaller förekommer naturligt i naturen och är viktiga för växter, djur och människor, men med människans påverkan har halterna ökat (Naturvårdsverket, 2024b). Metallerna kommer från utsläpp av bland annat bilar och industrier. Höga koncentrationer av metall kan påverka människans hälsa exempelvis i form av cancer. Naturvårdsverket (2024b) skriver fortsatt att då metaller inte bryts ned tas de upp av växter och djur som sedan når människan via mat. Även kväve och fosfor är två ämnen där människans påverkan har skapat obalans i naturen. Kväve och fosfor bidrar till syrefattiga vattendrag och övergödning, så kallad eutrofiering (Havet, 2024).

Vid en översvämning kan föroreningar från industrier spridas vidare till känsligare riskområden, som exempelvis Göta älv. Att förorena en dricksvattentäkt kan få stora

## 1. Inledning

---

ekonomiska och hälsomässiga konsekvenser (SGI och MSB, 2021).

Det pågår en hel del utveckling för att motverka översvämningar där en av åtgärderna är att integrera blågröna dagvattenlösningar i städerna (Göteborgs stad, u.åe). Blågröna dagvattenlösningar är tekniska lösningar integrerade i stadsmiljön med funktion att efterlikna naturlig vattenfördröjning (Pelorosso m. fl., 2023). Det finns i dag en rad olika blågröna dagvattenlösningar, exempelvis vattenmagasin integrerade i en nedsänkt park, skålade gräsytor, dammar och regnbäddar.

Regnbäddar har varierat utseende och kan vara en gräsplätt eller plantering och är menade att efterlikna reningen hos naturen. Den består av en permeabel yta som samlar upp och renar dagvatten lokalt (Pelorosso m. fl., 2023).

## 1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att undersöka och jämföra reningsförmågan hos utvalda regnbäddar i Göteborgsområdet i relation till de föroreningsnivåer de ursprungligen projekterades för.

## 1.3 Avgränsningar

Arbetet kommer att avgränsas till den blågröna lösningen regnbädd och fyra olika regnbäddar i olika delar av Göteborgsområdet. De områden som kommer att analyseras är Alelyckan, Bulycke, Svingeln och Litteraturgatan.

De föroreningsämnen som arbetet kommer att begränsas till är tungmetallerna arsenik, bly, koppar, krom, nickel och zink samt eutrofieringsämnena kväve och fosfor.

## 1.4 Frågeställningar

- Hur effektiva är de utvalda regnbäddarna för dagvattenrening i förhållande till de föroreningar de var projekterade för?
- Uppnår de utvalda regnbäddarna de målvärden som satts upp av Göteborgs stad för utsläpp av föroreningar i naturen?



# 2

## Teori

I följande kapitel kommer teori som är relevant för arbetet att presenteras. Det är dels fördjupning av ämnet men även relevanta riktlinjer och lagrum som framförs.

### 2.1 Blågröna lösningar

Blågröna lösningar är naturbaserade lösningar i urbana miljöer som skapas för att bidra med ekosystemtjänster som vattenrening, luftrening och ökad biologisk mångfald. De kan även bidra med en kylande effekt på byggnader (Pelorosso m. fl., 2023). Även Islam m. fl. (2024) bekräftar i studier hur blågrön infrastruktur har en starkt kylande effekt på urbana ytor. Trots de positiva effekter blågröna lösningar har på den urbana miljön och invånarna i staden är den blågröna infrastrukturen främst designad för att fördröja, magasinera och rena vatten vid regn och stora skyfall inom stora avrinningsområden. Detta för att minska belastningen på avloppssystemen (Pelorosso m. fl., 2023).

Det finns flera olika typer av lösningar som uppfyller en eller flera av de funktioner som nämns ovan. Skelettjordar, översilningsytor, dammar och magasin är exempel på lösningar som kan fördröja och rena vatten (Boverket, 2019b). Genom att hastigheten på vattnet från omkringliggande hårda icke permeabla ytor reduceras och leds till dessa lösningar, kan partiklar sedimenteras och filtreras när vattnet infiltreras ner i marken (Boverket, 2019b). Innan dagvattenlösningarna kan anläggas behöver området analyseras med avseende på den mängd vatten som lösningen förväntas hantera samt hur utformningen kan anpassas till den omgivande miljön. Därefter kan beräkningar göras i datormodeller som exempelvis StormTac, som används av Göteborgs stad (Lundberg & Karlsson, 2021).

Träd och annan vegetation med blad kan bidra till att minska dagvattenflödet genom att nederbörden fångas upp av bladytorna, en process som kallas interception (Boverket, 2019b). En tumregel som används är att blad fördröjer 1 mm dagvatten per kvadratmeter bladyta och stora träd kan ha bladyta på upp till 1000 kvadratmeter. Därmed kan ett par träd minska dagvattenflödet markant för ett område (Boverket, 2019b).

Genom att implementera blågrön infrastruktur i städer får städerna inte bara positi-

va effekter i dagvattenhantering, de gynnar även den biologiska mångfalden, hjälper till vid landskapsfragmentering och ger goda förutsättningar för ekosystemtjänster (Boverket, 2019a). Utöver att det gynnar städer ekologiskt, gynnas också människors hälsa av grönområden, då de fungerar som rekreationsområden (Boverket, 2019a).

## 2.2 StormTac

StormTac är ett program som ofta har använts för projektering av flertalet bäddar som analyserats hos Göteborgs stad, för att simulera dagvattenflöden och föroreningskoncentrationer (Lundberg & Karlsson, 2021). I programmet kan transportmekanismer som diken och ledningar dras och dimensioneras. När hela området är simulerat och kalkylerat kan olika typer av blågröna lösningar väljas utifrån huvudsyftet. Olika huvudsyften kan vara att uppehålla stora mängder vatten vid skyfall eller att lokalt rena dagvatten (StormTac, 2025). Programmet ger förslag på en rekommenderad lösning och var den kan placeras för bästa effekt. Även planerade områden kan simuleras, där programmet visar dagvattenlösningar för beräknade framtida vattenflöden (StormTac, 2025).

## 2.3 Lagar om dagvatten

De lagar som reglerar dagvattenhantering gällande ansvarsförhållande och vattenkvalitet är Miljöbalken, MB, och Lagen om allmänna vattentjänster, LAV. Plan- och bygglagen, PBL, är sedan ett verktyg för kommunen att reglera de fysiska förutsättningarna för att ta hand om dagvatten på bästa sätt för att området ska vara lämpligt för bebyggelse (Boverket, 2023b).

MB har precis som PBL till syfte att främja en hållbar och långsiktig utveckling med fokus på hälsa och miljö (Naturvårdsverket, 2025c). Den utgör en central del av svensk miljölagstiftning och syftar till att skydda både miljön och den biologiska mångfalden. Miljöbalken skapar förutsättningar för att reglera verksamheter som kan påverka miljön (Havs- och vattenmyndigheten, 2017).

När dagvatten inte leds bort från enstaka fastigheter inom detaljplanelagt område anses det vara avloppsvatten enligt MB och ska renas för att miljön eller människors hälsa inte ska ta skada (Boverket, 2023b).

LAV ställer krav på kommunen, i egenskap av huvudman, att tillhandahålla vattentjänster såsom vattenförsörjning och avlopp med ett långsiktigt perspektiv. Människors hälsa och skyddet för miljön ska stå i centrum för vattentjänsten. Lagen ställer inte enbart krav på huvudmannen, utan fungerar även som ett verktyg för kommunen att säkerställa att anläggningen används av brukaren i enlighet med dess syfte (Svenskt Vatten, 2025).

Huvudmannen för ett verksamhetsområde är enligt LAV skyldig att ta ansvar för dagvattenhantering inom samlad bebyggelse eller ett större sammanhang (Boverket, 2023b). Enligt PBL är en samlad bebyggelse 10-20 fastigheter, medan ett större

sammanhang enligt rättspraxis är 20-30 fastigheter (Göteborgs stad, u.å.a). Om vattnet är av stor omfattning och utgör en risk för miljön och människors hälsa kan kommunen bestämma att området ska ingå i ett verksamhetsområde för dagvatten (Boverket, 2023b).

PBL är ett verktyg för kommunen att planera och styra mark- och vattenanvändningen inom dess gränser. Lagstiftningens syfte är att långsiktigt främja en hållbar och jämlik samhällsutveckling, både för dagens och framtidens generationer (Boverket, 2024).

Genom PBL har kommunen ansvar att utveckla en översiktsplan som ska vägleda hur mark- och vattenområden ska användas och utvecklas på lång sikt. Kommunen har också möjlighet att djupare beskriva förutsättningar för ett område av allmänt intresse. Då vatten- och dagvattenförhållanden är en förutsättning för exploatering anges ofta vattenförhållanden i den djupare beskrivningen (Boverket, 2023b).

## 2.4 Ansvarsfördelning

Inom ett detaljplanelagt område är det VA-huvudmannen i form av kommun eller kommunalt bolag som enligt LAV ansvarar för att tillhandahålla de lösningar som krävs för att hantera dagvatten. Ansvaret för avvattning ligger på den enskilde fastighetsägaren inom fastighetsgränserna, medan huvudmannen står för allmän plats som vägar, torg och parker (Boverket, 2023a). Med avvattning menas naturlig infiltration i marken, om detta är möjligt, annars transporteras vattnet till en förbindelsepunkt för verksamhetsområdet som huvudmannen anger. Det kan exempelvis vara ett öppet dike eller en dagvattenbrunn. Fastighetsägaren har endast ansvar för avvattning. Krävs tekniska dagvattenanläggningar som pumpar eller fördröjningsmagasin ska huvudmannen tillstå fastighetsägaren med dessa lösningar (Boverket, 2023a).

Vid detaljplaneläggning av ett område ska kommunen enligt PBL kontrollera att dagvatten kan hanteras inom området och visa hur det kan göras. Enligt Boverket (2023a) får de även ange lokala bestämmelser för dagvattenhantering inom planområdet, det kan exempelvis vara att marken inte får hårdgöras eller en specifik lutning den måste ha. Bestämmelser och åtgärder som krävs för möjlig dagvattenhantering som påverkar den enskilde fastighetsägaren måste vara ekonomiskt rimliga i förhållande till vad fastigheten anses användas för (Boverket, 2023a).

När planområdet ligger utanför verksamhetsområdet för dagvatten regleras ansvarsförhållandet i stället av miljöbalken. Enligt miljöbalken betraktas dagvatten som avloppsvatten vilket anses som en miljöfarlig verksamhet. Därför ställs speciella krav på fastighetsägaren i dessa fall (Boverket, 2023a).

## 2.5 Miljöpåverkan av metallers, fosfors och kvävet

Näringsämnen som fosfor och kväve är livsviktiga för växtlivet i hav och vattendrag men i överflöd kan de bli ett problem (Sveriges vattenmiljö, 2023). Övergödning bidrar till mer växtplankton som gör vattnet grumligt och försämrar vattnets ljusgenomsläpplighet. När plankton dör faller de till botten och bryts ned av mikroorganismer och bottendjur. Detta kräver syre och i kombination med minskad fotosyntes på grund av mindre ljus i det grumliga vattnet blir utfallet syrebrist på havsbotten. Den biologiska mångfalden påverkas starkt av syrebristen och i dag är många bottnar helt döda eller starkt utarmade med endast ett fåtal arter kvar (Sveriges vattenmiljö, 2023).

Metaller finns naturligt i miljön och är en viktig del för att växter och djur ska kunna leva (Livsmedelsverket, 2024). Koppar, jod, kalium, natrium och fosfater är exempel på metaller och föreningar som är essentiella för att nervsystemet och hormonbalansen i kroppen ska fungera. För höga halter kan i stället skada och marginalen mellan vad som är lagom och för mycket är väldigt liten (Livsmedelsverket, 2024). Förhöjda halter i naturen beror bland annat på koppar i båtbottnfärger, kadmium i konstgödsel och utsläpp från industrier och transport. Antingen direkta utsläpp till vattendrag eller indirekt via luften som sedan till vattendrag via regn och snö. Eftersom metallerna är naturligt förekommande bryts de inte ned, utan anrikas till största del i bottensediment som får höga metallhalter (Havet, 2023).

### 2.5.1 Kväve och fosfor

Kväve finns naturligt på jorden och luften vi andas består till 78 procent av kvävgas (Lasky, 2024). Kväve kan användas tillsammans med väte för att skapa ammoniak som används för tillverkning av konstgödsel (Lasky, 2024). Vid användning av konstgödslet inom jordbruk förekommer spill, vilket exempelvis leder till spridning av näringsämnen i naturen. Ämnena transporteras via grundvattnet till hav, sjöar och vattendrag och bidrar tillsammans med fosfor till övergödning i haven. Övergödning skapar algbloomning som i sin tur kan skapa gifter, så kallade algtoxiner (Sveriges vattenmiljö, 2023).

Fosfor anträffas naturligt i naturen och återfinns ofta som fosfatmineral i berggrund och jord (SGU, 2020). Sveriges Geologiska Undersökning beskriver fortsatt hur fosfor är viktigt för växtligheten och för fotosyntesen men också för människan och behövs för uppbyggnad av muskler och skelett. Av fosfor kan även fosforämnen utvinnas, som sedan används i tillverkning av tändstickor, pyroteknik och medicin (SGU, 2020). Vid användning av pyroteknik förorenas områden av dess sönderfall.

Jordbruk och avlopp står för 70 procent av det fosfor och kväve som släpps ut i naturen (Sveriges vattenmiljö, 2023). När fosfor och kväve släpps ut i vattendrag bidrar kvävet till övergödning, ibland i form av algbloomning. När algerna sedan dör kräver nedbrytningsprocessen syre (Havs och vattenmyndigheten, 2023). Vid stora algbloomningar blir därför sjöar och vattendrag syrefattiga då syret binds i bottense-

dimentet. Syrefattiga vattendrag hotar levnadsförhållandena för växt- och djurliv, vilket leder till döda vattendrag (Havs och vattenmyndigheten, 2023). Övergödning anses vara ett av samhällets största miljötmaningar och påverkar människan genom förorenade vattendrag. Algtoxinet kan vara giftigt och vid bad kan det orsaka hudirritation samt kräkningar om det råkassväljas (Sveriges vattenmiljö, 2023).

### 2.5.2 Bly

Bly är en metall som redan vid små mängder blir farlig för människan (Naturvårdsverket, 2025a). Tidigare innehöll bensin bly, vilket har bidragit till att vi har en hel del i naturen. Efter att användningen av bly begränsats har halterna minskat, men en onaturligt hög halt förekommer fortfarande i naturen. Bly i miljön påverkar djur i form av nedsatt nervsystem (Naturvårdsverket, 2025a). För människor är förhöjda blyhalter särskilt farliga för små barn och foster och kan påverka deras nervsystem och ge lägre IQ och fördröjd utveckling. Bly kan även skada de röda blodkropparna i kroppen, vilket kan leda till blodbrist (Livsmedelsverket, 2025a).

### 2.5.3 Koppar

Koppar återfinns naturligt i naturen och är en metall som flitigt används av människan. Koppar används till allt från byggnadsdelar som dricksvattenledningar, tak och kablar till prydnadsornament (Scandinavian Copper Development Association, u.å.). Kopparkoppar kan bidra till förorening i naturen, dock enbart en procent av den totala föroreningen (Scandinavian Copper Development Association, u.å.). Den största föroreningen av koppar till luft har skett från bland annat metallsmältverk, men med hjälp av förbättrad rening är det i dag trafiken som är den största utsläppskällan. För vattnets förorening är det pappers- och massaindustrin samt avloppsreningsverk som är störst utsläppskällor (Naturvårdsverket, 2025b). Höga halter av koppar i naturen är skadligt för vattenlevande organismer, framförallt i vatten med lågt pH-värde och närings- och humusfattigt samt mjuka vatten (Naturvårdsverket, 2025b). För människan är höga kopparhalter i kroppen farliga och kan leda till diarré och kräkningar och över tid, även leverskador (Livsmedelsverket, 2025b).

### 2.5.4 Krom

Krom är ett grundämne som används för exempelvis ytbehandling, garva läder, textulfärgning och impregnering av trä (Kemikalieinspektionen, 2022). Ämnet finns naturligt i mark och tillkommer via vittring (Naturvårdsverket, u.å) eller punktkällor som avloppsreningsverk eller genom diffusa källor som industrier eller utsläpp av fossila ämnen (Kemikalieinspektionen, 2022). Det är framförallt i garvning av djurhudar då krom används, i processen av att göra läder mjukt. Genomförs inte processen på rätt sätt kan en hälsofarlig kromförening, så kallat sexvärt krom, bildas som skapar irritation vid hudkontakt och kan orsaka exempelvis cancer vid inandning av dammet (Kemikalieinspektionen, 2022).

### 2.5.5 Arsenik

Arsenik förekommer naturligt i mineraler och återfinns i berggrunden (Naturvårdsverket, 2025c). Majoriteten av arsenikföroreningarna i luften kommer från el- och fjärrvärmeproduktion. Då arsenik finns naturligt i berggrunden kan grundvatten innehålla höga halter av den organiska sammansättningen av ämnet. Det är den oor-

ganiska som anses vara den farliga varianten (Naturvårdsverket, 2025c). Förorening till miljön kommer från tidigare utsläpp från bland annat metallsmältverk men också träimpregneringsanläggningar vilket skapat områden med större markföroreningar (Karolinska Institutet, 2025a). Människan får i sig höga doser av arsenik framför allt genom grundvatten men även mat, som exempelvis ris. Arsenik kan ge allvarliga hälsoeffekter både vid direkt exponering och kronisk exponering. Oorganisk arsenik är cancerframkallande och kronisk exponering kan leda till hjärt- och kärlsjukdomar, kronisk lunginflammation och leverskador (Karolinska Institutet, 2025a). Olika människor är olika känsliga och barn som exempelvis dricker mer vatten, relativt kroppsmassa, än vuxna anses mer känsliga för exponering (Karolinska Institutet, 2025a). Markföroreningar kan vara en fara för barn som stoppar jord och damm i munnen, vilket kan bidra till allvarlig förgiftning (Karolinska Institutet, 2025a).

### 2.5.6 Nickel

Nickel är en övergångsmetall som finns i bergarter (Svenska geotekniska föreningen, 2023a). Metallen används i industrier som till exempel i tillverkning av rostfritt stål men också i legeringar och ytbehandling då nickel har hög smältemperatur. Nickel återfinns även i smycken, gasturbiner, raketer, uppladdningsbara batterier, katalysatorer och mynt (Svenska geotekniska föreningen, 2023a). I linje med ökad tillverkning av elbilar antas efterfrågan av nickel till bilbatterier även öka (Svenska geotekniska föreningen, 2023a). Utsläpp av nickel till naturen sker från punktkällor som avloppsreningsverk och industrier, exempelvis smältverk. Diffusa föroreningskällor är jordbruk- och skogsmark samt trafik, då nickel återfinns i bromsbelägg, däck och bilkarosser från äldre bilar (Svenska geotekniska föreningen, 2023a). Den vanligaste hälsoriskerna för människan från nickel är kontaktallergi, som kan ge rodnad och blåsor på huden. Nickelallergi är den vanligaste orsaken till handeksem (Karolinska Institutet, 2025b).

### 2.5.7 Zink

Zink är en vanlig metall som återfinns i naturen. Metallen används bland annat till galvanisering, även kallat förzinkning, en ytbehandling av stål för att öka stålets beständighet (Svenska geotekniska föreningen, 2023b). Zink är viktigt för människor, växter och djur och behövs exempelvis för god ämnesomsättning, men i höga halter kan det vara giftigt (Naturvårdsverket, 2025d). En stor källa till zinkföroreningar är vägtrafik som diffus källa och vad gäller utsläpp som punktkällor är avfallshantering den näst största källan till utsläpp, även papper- och massaindustrin bidrar till förorening (Naturvårdsverket, 2025d). Utsläppet av zink i naturen har minskat med 62 procent sedan 1990, med hjälp av reningstekniker inom industrin (Naturvårdsverket, 2025d). Utsläpp av zink i den urbana miljön kommer ofta från avrinning av zinkrika konstruktionsmaterial som tak och takrännor (Svenska geotekniska föreningen, 2023b).

## 2.6 Riktvärden för dagvatten

Utsläpp från trafik och byggnadsmaterial förorenar dagvatten (Göteborgs stad, 2021). När det sedan rinner på hårda ytor som parkeringar och motorvägar samlar

vattnet upp förorenande partiklar som bidrar till ytterligare förorening. Miljöbalken menar att det är kommunens uppgift att förhindra verksamheter som kan försämra vattenmiljön. Kvalitetsmål som kallas Miljökvalitetsnormer (Göteborgs stad, 2021) sätts upp för att åstadkomma god vattenstatus. För tillfället uppfyller endast 3 av 41 ytvattenförekomster inom Göteborgs kommun god ekologisk status, medan god kemisk status inte uppnås alls (Göteborgs stad, 2020). Därför finns krav att såväl befintliga som nya projekt ska bidra till en förbättrad vattenkvalitet. Vid rening av dagvatten ska riktvärden och målvärden vara uppfyllda och utsläppsmängderna ska inte påverka miljökvalitetsnormerna negativt (Göteborgs stad, 2021).

Med god kemisk status menas att föroreningshalterna i ytvatten inte får överstiga de värden som anges i Havs och Vattenmyndighetens föreskrifter, HVMFS 2019:25, om klassificering och miljökvalitetsnormer för ytvatten (Havs- och vattenmyndigheten, 2020). Ekologisk status klassificeras utifrån en femgradig skala som baseras på ett sammanvägt resultat utifrån biologiska, fysikalisk-kemiska och de hydromorfologiska bedömningsgrunderna (Havs- och vattenmyndigheten, 2020). Principerna och de så kallade Särskilda Förorenande Ämnena (SFÄ) som ingår i bedömningsgrunden finns i samma föreskrifter som för den kemiska statusen. Däremot är inte SFÄ samma ämnen som de för den kemiska statusen och Havs och Vattenmyndigheten har tagit fram principer för 32 ämnen (Havs- och vattenmyndigheten, 2020).

Det finns inga nationella riktvärden för utsläpp av föroreningar via dagvatten i Sverige (Naturvårdsverket, 2024c). De riktvärden som sätts upp i Göteborg har till syfte att vägleda vid tillsyn av dagvattenanläggningar och är lågt satta för att minska påverkan på de recipienter som är kopplade till dem. Miljöbalken och EU:s ramdirektiv för vatten har använts som bedömningsgrunder vid framtagandet av riktvärdena. Status för vattendrag som ligger till grund för miljökvalitetsnormerna bedöms och beslutas av länsstyrelsen, status anges som mycket känslig recipient eller övrig recipient vilket medför olika värden för olika regnbäddar, se tabell 2.1 (Göteborgs stad, 2020). I kombination med de bedömningsgrunder som använts har jämförelsevärden från nederländska RIVM och amerikanska USEPA utvärderats, där nederländska RIVM är deras nationella institut för hälsa och miljö (RIVM, 2025) och USEPA är USAs miljöskyddsorganisation (U.S. Environmental Protection Agency, 2025).

De riktvärden och målvärden som gäller i Göteborgs Stad är:

Ämne	Riktvärden – mycket känslig recipient ( $\mu\text{g/l}$ )	Målvärden – övriga recipienter ( $\mu\text{g/l}$ )
Arsenik	16	
Bly	28	
Kadmium	0,9	
Koppar	10	22
Krom	7	
Kvikksilver	0,07	
Nickel	68	
Zink	30	60
Oljeindex	1000 $\mu\text{g}$ / 500 $\mu\text{g/l}$ inom Göta älvs vattenskyddsområde, 100 $\mu\text{g}$ nära råvattentag (ca 1–2 km uppströms)	
Suspenderat material	25 000	60 000
pH	6,5–9	
Fosfor	50	150
Kväve	1250	2500

**Tabell 2.1:** Riktvärden och målvärden (Göteborgs stad, 2021).

## 2.7 Göteborgs stads arbete mot skyfall och hantering av dagvatten

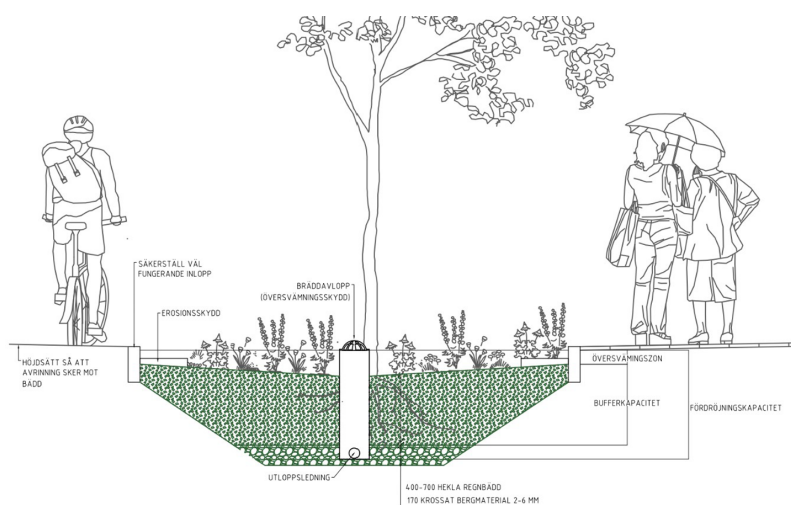
Eftersom Göteborg är en stad belägen nära havet och centrala delar av staden ligger vid älven är det många områden med stor översvämningsrisk (Göteborgs stad, u.å.f). Göteborgs stad arbetar förebyggande med att identifiera utsatta områden och ta reda på vilka följder som extremregn kan få på samhällsviktiga byggnader. För att kunna hantera skyfall har Göteborgs stad tagit fram en Skyfallsöverenskommelse mellan sju av stadens olika förvaltningar. Här tar de fram områden som kan användas som skyfallsparker. Överenskommelsen är till för att tydliggöra organisation, ansvarsfördelning och finansiering för skyfallsarbetet. Det behöver inte vara nybyggsplanering för att kommunen ska tillsätta skyfallsanläggningar utan det sker även i befintliga områden där det anses behövas. Göteborgs stad (u.å.f) nämner dock att det i bebyggda områden är stor konkurrens om marken och att ytorna konkurrerar med andra ändamål såsom fjärrvärme, elledningar och bredband, då kommunen inte får anlägga skyfallsanläggningar på privat mark. Vid bebyggda platser belägna nära vattnet byggs kombinerad skyfallsyta och skyfallsled som både fördröjer och leder bort dagvattnet. Skyfallsanläggningar kan utformas så att de, när de inte används för att hantera skyfall, kan fungera som park eller fotbollsplan (Göteborgs stad, u.å.f). Det tar dock tid att bygga en skyfallsanläggning och arbetet går därför långsamt.

Som tidigare nämnt tar dagvatten med sig en hel del föroreningar och Göteborgs stad har därför reningskrav på dagvatten. Dessa reningskrav grundar sig i miljöförvaltningens riktlinjer och riktvärden för vattenutsläpp (Göteborgs stad, u.å.d). Reningskraven är olika beroende på vilken markanvändning som används samt föroreningsbelastningen på närliggande vattendrag (Göteborgs stad, u.å.d).

I Göteborgs vattenplan nämns de föroreningar som ska tas hand om och vilka reningskrav som finns, detta för att få minsta påverkan på miljön och människan (Göteborgs stad, u.å.d). I vattenplanen står det att dagvatten ska tas hand om lokalt och som en resurs för att förvalta grundvattennivån samt skapa en god bebyggd miljö. Källorna till föroreningarna ska begränsas för minimal påverkan av omgivningen samt att se till att föroreningarna inte sprids från området. Göteborgs stad (u.å.d) menar att val av systemlösning ska vara så billig som möjligt men vara en fullgod lösning. Det handlar om att föroreningarna inte ska spridas utan tas hand om på plats och lämna minimal påverkan på närliggande miljöer eller recipienter. Bedömningarna för eventuella lösningar ska göras för varje enskilt område i beaktande av lokala förutsättningar (Göteborgs stad, u.å.d).

## 2.8 Regnbädd

Normalt sett består en regnbädd av tre zoner, nerifrån och upp är det inledningsvis ett dräneringslager bestående av makadam (Bara mineraler, u.å.). Mittenskiktet är en buffertzona vars syfte är att lagra och fördröja vatten och det översta skiktet är en fördröjningszon där regn kan ansamlas vid nederbörd (Bara mineraler, u.å.). Utöver de tre skikten finns ofta en inflödesstruktur för dagvatten från närliggande hårdgjorda ytor och ett överflödesskydd när fördröjningszonen blir full. Det finns även en dräneringslang i makadam-skiktet (Malaviya m. fl., 2019). Överflödesskydd är oftast kopplat till ett avloppssystem eller på annan plats som har större kapacitet. Överflödesskydd minskar risken för erosion och vattenskadorna i omgivningen (Malaviya m. fl., 2019).



**Figur 2.1:** Exempel på hur en regnbädd kan se ut (Bara mineraler, 2020).

Inloppet till regnbädden kan ske via en större gräsyta, ledning eller en öppning i gatstenen. Strax efter inloppet konstrueras bädden för att dagvattnet ska sprids ut över hela bädden och vattenhastigheten sänks med hjälp av exempelvis stenar för att minska risken för erosion (Fridell & Jergmo, 2015). Fördröjningszonens volym bör vara så stor som möjligt men rekommenderas normalt till 100-300 mm beroende på önskad tömningstid och infiltrationshastighet på jorden. Överskottsvattnet rekommenderas vara bortdränerat efter 24-48 h för att minimera den syrefattiga tiden för växterna i bädden och inte ge mygggägg tid att kläckas, samt ge plats för nytt regn (Fridell & Jergmo, 2015).

Överflödesskyddet bör placeras nära inloppet för att vatten vid intensiva flöden inte ska behöva passera hela bädden (Fridell & Jergmo, 2015). Regnbädden kan utrustas med två överflödesskydd på olika nivåer. Det lägre bestämmer fördröjningszonens storlek och den övre är ett skydd mot extremflöden (Fridell & Jergmo, 2015).

Buffertzonen med filterssubstrat och dess egenskaper påverkar bäddens reningseffekt, infiltration och förutsättningar för vegetation där alla delar kräver olika förutsättningar (Fridell & Jergmo, 2015). För bästa reningseffekt bör en regnbädd innehålla mycket ler för låg infiltrationshastighet vilket medför syrefattig jord och dålig växtmiljö för växterna. För att leda bort större mängder vatten bör infiltrationshastigheten vara hög, vilket leder till sämre filtrering av föroreningar och mindre tillgängligt vatten för växternas rötter (Fridell & Jergmo, 2015). En medelväg för alla parametrar bör hittas för bästa resultat på regnbädden. Beroende på val av växter kommer filtermaterialets tjocklek att variera. För en gräsyta eller perenner bör tjockleken vara minst 40 centimeter, buskar kräver minst 60 centimeter och för träd rekommenderas minst 80 centimeter. Valet av växter är viktigt då faktorer som föroreningsnivåer, klimatzon, filtersubstratets växtegenskaper och hur växterna klarar av torra respektive översvämningar i olika perioder. Regnbäddens storlek bör som tumregel vara mellan 2 till 10 procent av avrinningsytans area (Fridell & Jergmo, 2015).

Livslängden på en regnbädd är svår att identifiera och beror på hur den är uppbyggd, skötseln och det inkommande vattnet där det skiljer sig beroende på föroreningshalt. Företaget Bara mineraler (2020) som tillhandahåller regnbäddar och kunskapspaket kring dessa har ännu inte varit med om att substratet behövs bytas ut. För att förlänga livslängden kan ett sandfång installeras i ingående brunn eller sediment kontinuerligt tas bort vid inloppet för att minska risken för att bädden sätter igen och får försämrad infiltration (Bara mineraler, 2020).

I samband med nybyggnation av regnbäddar är halterna av näringsämnen fosfor och kväve initialt höga i filterssubstratet, på grund av att det till viss del innehåller kompostmaterial. Detta är avsiktligt, för att skapa en god växtmiljö som möjliggör etablering av växtlighet i bädden, vilken i sin tur bidrar till upptag av föroreningar från dagvattnet. Regnbäddens funktion påverkas dock av både höga dagvattenflöden och säsongsvariationer (RISE, 2024). Under vinterhalvåret, då växternas tillväxt är begränsad, minskar även upptaget av näringsämnen. Detta kan leda till ackumulering av fosfor och kväve i substratet. Regnbäddens princip bygger på långsam

infiltration, vilket fungerar väl vid låga flöden. Vid intensiva regn ökar dock flödet och trycket på filtersubstratet, vilket påskyndar infiltrationsprocessen. Detta kan resultera i ökad urlakning av näringsämnen, vilket i sin tur medför att halterna av fosfor och kväve i utloppet kan öka snarare än minska (RISE, 2024).

Enligt en studie från Nacka kommun från 2020 där tester utförts på olika regnbäddar där de utvärderat två regnbäddar med olika filtermaterial (Egelberg m. fl., 2020). De kom fram till att regnbäddarnas rening var mer effektiv vintertid än sommartid. De konstaterar också att bäddar med längre uppehållstid för vattnet renar mer effektivt än regnbäddar med kortare uppehållstid. Det framgår också i rapporten att olika material renar olika föroreningar olika bra (Egelberg m. fl., 2020).



# 3

## Metod

Följande kapitel kommer att ta upp hur författarnas metod genom arbetet gått till och sedan övergå till hur den tillhandahållna provtagningen gått till för att få en förståelse över vad som skiljer de olika bäddarna åt.

### 3.1 Författarnas metod

Data har erhållits av Göteborgs stad, förvaltningen Kretslopp och vatten, där de utfört provtagning på olika blågröna lösningar runt om i staden. Av de olika blågröna lösningarna är arbetet avgränsat till regnbäddar. Provtagningarna var utförda vid fyra regnbäddar i olika områden, Alelyckan, Bulycke, Svingeln och Litteraturgatan. Proverna har genomförts vid olika tillfällen och vissa regnbäddar har fler provtagningar än andra. Erhållen data har analyserats och sammanställts i passande diagram och tabeller och jämförts med projekterade data från VA-projektören samt tillhandahållna PM från Kretslopp och vatten. Provtagningsresultaten har sammanställts och granskats för att identifiera extremvärden utanför normalfördelningen, se bilagorna A.5, A.10, A.15 och A.20. Ett medelvärde har sedan tagits fram för de olika provtagningarna, vilket är de som jämförts, se bilagorna A.1, A.6, A.11 och A.16. Varje regnbädd har sammanställts enskilt och ett medelvärde för inloppet och utloppetets föroreningshalt har tagits fram. Den beräknade reningseffekten har framtagits genom en procentuell reningseffekt som återfinns i de PM som tillhandahölls med provresultaten. Målvärdet är taget från Göteborgs stads riktvärden (se tabell, 2.1) för respektive förorening, för respektive regnbädd, för att ge jämförbara sammanställningar.

Relevanta artiklar har tagits fram med hjälp av Chalmers Library databas och Scopus AI. Sökord som har använts vid litteratursökningen inkluderar “blue green infrastructure”, “blue green solutions”, “rainbeds” och “rain gardens”. Vid identifiering av relevanta artiklar har även referensgranskning tillämpats, där källornas referenslistor har undersökts för att hitta ytterligare relevanta studier (så kallad snöbollseffekt). Göteborg.se har varit den primära källan för information om Göteborgs stads hantering av dagvatten, även Boverket har använts för att ta reda på krav och lagar. För att ta reda på metallers påverkan i den svenska miljön har Naturvårdsverket och relevanta institut samt hemsidor använts, exempelvis Statens Geotekniska Institut, SGI, Svenska Geotekniska Förbundet, SGF, och Kemikalieinspektionen.

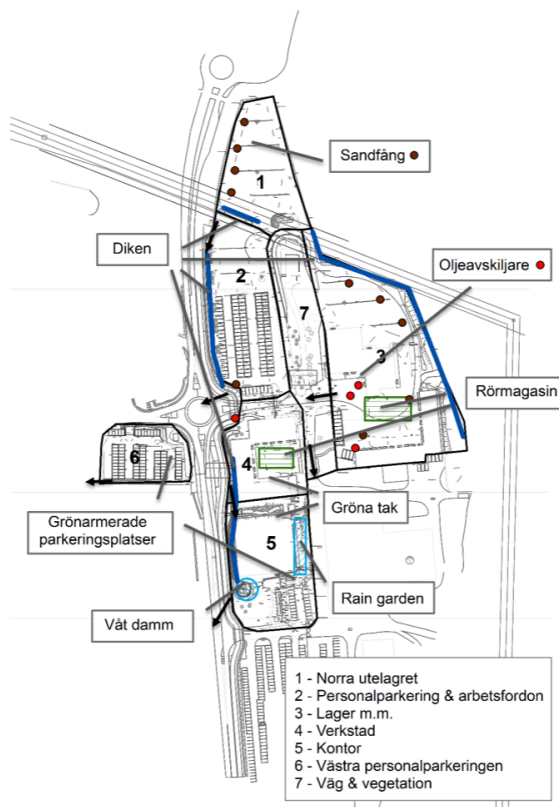
## 3.2 Metod för tillhandahållen data

Nedan framgår var de olika regnbäddarna är placerade, hur provtagningen gått till och hur regnbädden är uppbyggd. Metoden är inte utförd av författarna, utan tillhandahållen av Kretslopp och vatten. Provtagningarna är relevanta för att visa hur de gått till och att de är utförda likvärdigt vid de olika bäddarna.

## 3.3 Alelyckan

### 3.3.1 Placering av regnbädden

Regnbädden vid Alelyckan är belägen utanför Kretslopp och vattens huvudkontor vid Gamlestadsvägen i Alelyckan, nordöst om Göteborgs centrum. Figur 3.1 illustrerar avrinningsområdet och dess sju olika delområden som området delats in i. Figur 3.2 visar flödesriktning och placering av brunnar i regnbädden. De sju delområdena uppnår en total avrinningsyta på ungefär 2000 m<sup>2</sup> och själva bäddens yta är ungefär 230 m<sup>2</sup> i enlighet med Fridell & Jergmo (2015) tumregel på 2-10 procent av avrinningsområdets area (Prince, 2015). Bädden påbörjades år 2017, färdigställdes åren 2019 till 2020 och växter planterades och färdigställde regnbädden år 2021 (Polo Ruiz de Arechavaleta, 2021a).



**Figur 3.1:** Översikt av området kring regnbädden som benämns (Rain garden) i figuren (Prince, 2015).

### 3.3.2 Provtagning

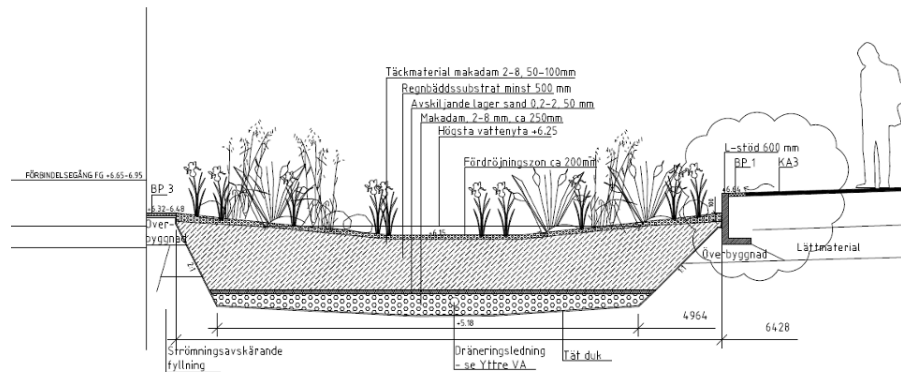
Under slutet av juli och början av augusti 2020 utfördes dagvattenprover vid Alelyckans regnbädd. Provtagningen för ingående vatten placerades under ett stuprör från taket på den närliggande kontorsbyggnaden medan för utgående vatten placerades mätaren i en dagvattenbrunn vid regnbäddens slut. En nivåsensor inställd på 10 mm användes för att starta provtagning vid inloppet och en flödesmätare inställd på 2 l/s användes för utloppet. Tre prover samlades in under testperioden. Under 2022 utfördes en ny provtagning på liknande sätt. Då användes en flödesmätare även vid inloppet i stället för en nivåsensor, flödesmätaren vid utloppet sänktes från 2 l/s till 1,5 l/s (Polo Ruiz de Arechavaleta, 2021a).



**Figur 3.2:** Illustrering av var provtagningsutrustningen är placerad och hur flödet ser ut genom bädden (Polo Ruiz de Arechavaleta, 2021a).

### 3.3.3 Uppbyggnad

Regnbäddens uppbyggnad framgår i Figur 3.3 och inleds med ett täckskikt bestående av 50–100 mm makadam. Under detta skikt återfinns ett 500 mm tjockt lager av regnsubstrat, följt av ett 50 mm tjockt lager grovsand med avskiljande funktion. Därefter ligger ett 250 mm tjockt makadamlager. Under detta makadamlager placeras en tät duk som skiljer konstruktionen från underbyggnaden. I makadamlagret är en dräneringsledning installerad och bräddningsbrunnen är placerad 130 mm ovanför regnbäddens yta, för avledning vid höga flöden (Engvall, u.å.).



**Figur 3.3:** Tvärsnitt av regnbäddens uppbyggnad (Engvall, u.å.).

## 3.4 Bulycke

### 3.4.1 Placering av regnbädden

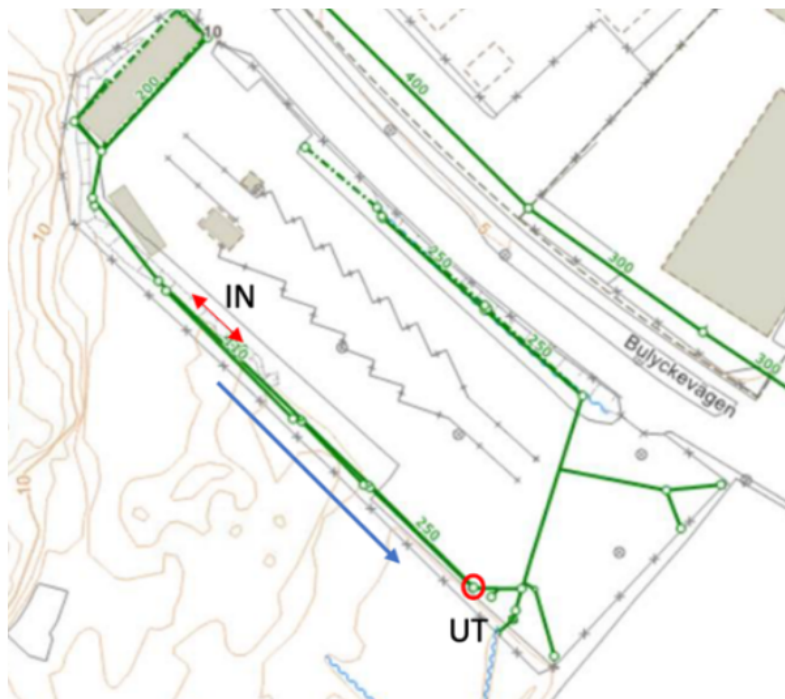
Regnbädden vid Bulycke är belägen på Hisingen, i direkt anslutning till Bulycke återvinningscentral på Bulyckevägen 10 (Lundberg & Hartung, 2016). Byggnationen av regnbädden påbörjades i början av 2017 (Hartung, u.å.). Avrinningsområdet omfattar ungefär 7 000 m<sup>2</sup> och utgörs huvudsakligen av takytor, asfalterade markytor samt omkringliggande skogsområde. Den totala ytan av regnbädden uppgår till 200 m<sup>2</sup>, fördelad på två lika stora bäddar om 100 m<sup>2</sup> vardera, placerade längs återvinningscentralens utkant. Bäddarna är dimensionerade för att hantera ett regn med en återkomsttid på 10 år och en varaktighet på 10 minuter. Dagvatten från 70 procent av den totala avrinningsytan tas om hand av regnbäddarna medan de resterande 30 procent avleds via dagvattenbrunnar. Ytan för regnbäddarna motsvarar 4 procent av det reducerade avrinningsområdet, i enlighet med Fridell & Jergmo (2015) tumregel (Lundberg & Hartung, 2016).



**Figur 3.4:** Översikt av området kring regnbäddarna (Lundberg & Hartung, 2016)

### 3.4.2 Provtagning

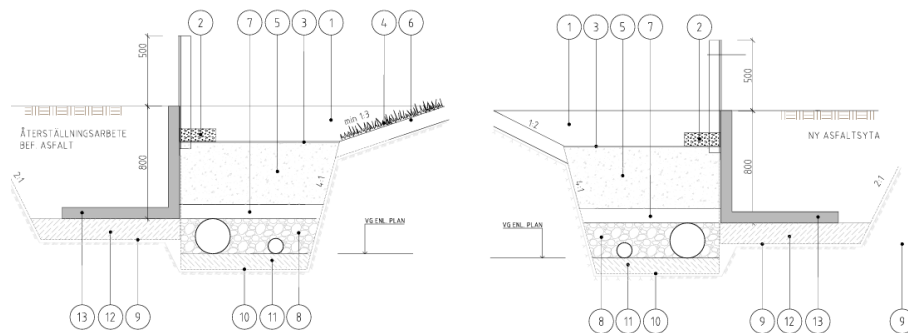
Under juli, 2020, utfördes dagvattenprover vid Bulyckes regnbädd. Dagvatten samlas in via en två meter lång ränna som samlar vatten i en back. En nivåsensor startar provtagningen. Provtagare för utgående vatten installeras i en brunn i slutet av regnbädden vid utgående dräneringsledning. Även här används en nivåsensor som trigger (Polo Ruiz de Arechavaleta, 2021b).



**Figur 3.5:** Illustrering av var provtagningsutrustningen är placerad och hur flödet ser ut genom bädden (Polo Ruiz de Arechavaleta, 2021b).

### 3.4.3 Uppbyggnad

Regnbäddens uppbyggnad illustreras i Figur 3.6 och inleds upptill med ett erosions-skydd bestående av krossmaterial. Därefter kommer vegetationen, som växer i ett ungefär 450 mm tjockt lager av växtjord. Under växtjorden finns ett avskiljande lager av grovsand med en tjocklek på 100 mm. Därefter följer ett lager makadam som fungerar som fyllnadsmaterial kring dräneringsledningarna. Under makadamen anläggs en ledningsbädd med en tjocklek på 100 mm. Längst ned placeras ett geomembran som fungerar som avgränsning mellan regnbädden och det underliggande materialet. Bräddningsbrunnen är placerad cirka 200 mm ovanför regnbäddens yta (COWI AB, 2016).

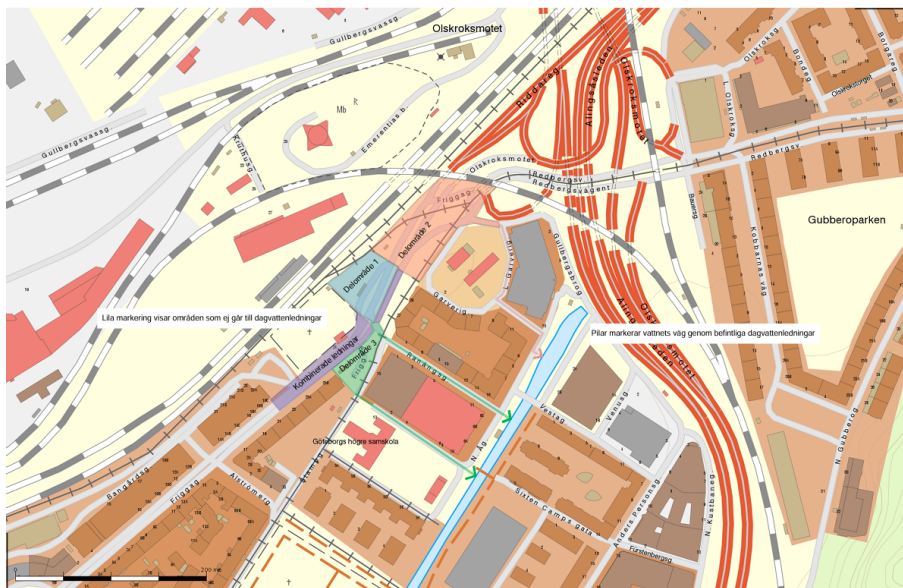


**Figur 3.6:** Tvärsnitt av regnbäddens uppbyggnad (COWI AB, 2016).

## 3.5 Svingeln

### 3.5.1 Placering av regnbädden

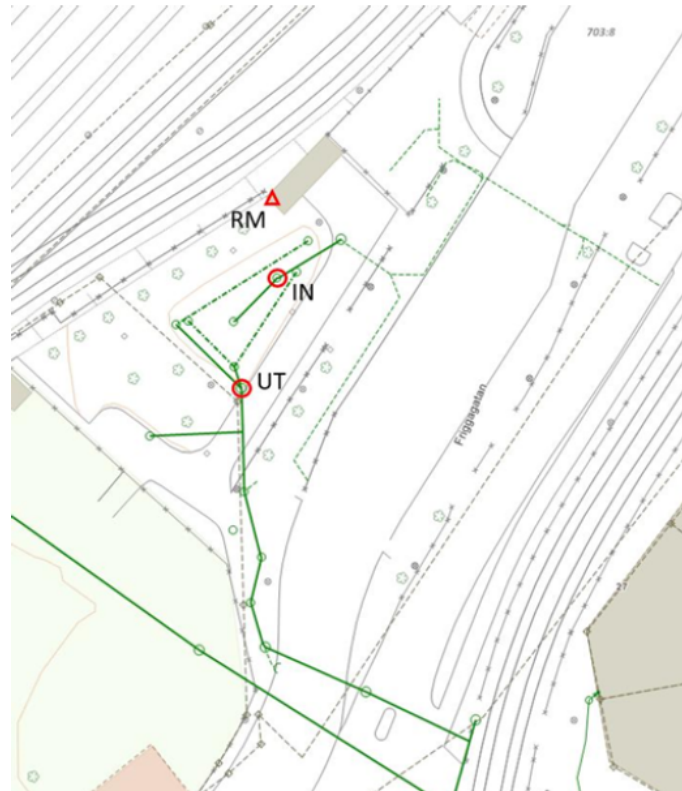
Regnbädden vid Svingeln är belägen i anslutning till buss- och spårvagnshållplatsen Svingeln som är en knutpunkt för många kollektivtrafiklinjer i Göteborg. Det område som kallas delområde 1 i Figur 3.7 är det som avvattnas och renas via regnbädden. Området är totalt 2600 m<sup>2</sup> och består till största del av hårdgjorda ytor som väg och gång- och cykelväg men även lite grönområden i form av park. Bäckens totala area uppgår till 180 m<sup>2</sup> vilket motsvarar ungefär 7 procent av avrinningsområdets area. Byggnationen av regnbädden startade i juli 2018 (Almqvist, u.å.).



Figur 3.7: Översikt av området kring regnbädd (Wedblad, 2017).

### 3.5.2 Provtagning

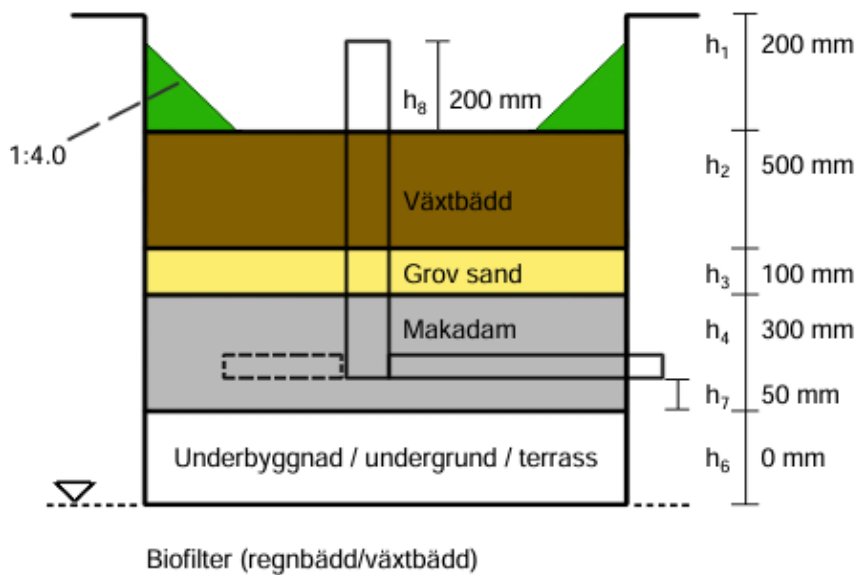
Under slutet av juli och början av augusti 2021 utfördes dagvattenprover vid Svingelns regnbädd. I april och början av maj 2022 utfördes ytterligare prover på samma regnbädd för att få en tydligare bild av resultaten, denna gång testades endast utgående vatten. Vid den första mätningen installerades en nivåsensor i en kupolbrunn med stillastående vatten som pressas upp i regnbädden. Utgående vatten mättes vid båda provtillfällena i utgående ledning från en sandfångsbrunn och en nivåsensor användes för start av provtagning (Polo Ruiz de Arechavaleta, 2022).



**Figur 3.8:** Illustrering av var provtagningsutrustningen är placerad och hur flödet ser ut genom bädden (Polo Ruiz de Arechavaleta, 2022).

### 3.5.3 Uppbyggnad

I Figur 3.9 illustreras regnbäddens uppbyggnad i ett vertikalt tvärsnitt. Bäddens fördröjningszon har en höjd på 200 mm och betecknas med höjden  $h_8$  i figuren. Direkt under, återfinns växtbädden, bestående av 500 mm filtermaterial. Därefter följer ett 100 mm tjockt lager av materialavskiljande grovsand, följt av 300 mm makadam. Under dessa lager finns en underbyggnad, där dräneringsröret är placerat 50 mm ovanför botten. Släntlutningen ner mot bädden är 1:4 (Wedblad, 2017). Göteborgs stad märkte tidigt en avvikelse i Svingelns regnbädd och konstaterade efter två omgångar med dagvattenprovtagning och revidering att den är felbyggd. Det framgår dock inte på vilket sätt (Polo Ruiz de Arechavaleta, 2022).



**Figur 3.9:** Tvärsektion av regnbäddens uppbyggnad (Wedblad, 2017).

## 3.6 Litteraturgatan

### 3.6.1 Placering av regnbädden

Regnbädden vid Litteraturgatan är belägen på Hisingen, i stadsdelen Backa. Det aktuella projekteringsområdet sträcker sig från Selma Lagerlöfs torg i norr till Klintåsgatan i söder. Avrinningsområdet omfattar huvudsakligen hårdgjorda ytor som vägbanor, parkeringar och gräsytor längs Litteraturgatan, Backadalsgatan och Wadköpingsgatan (Wedblad, 2020). För att underlätta hanteringen av dagvatten har avrinningsområdet delats upp i två delar, den norra och den södra. Den södra delen leds till en regnbädd för rening, medan den norra delen hanteras genom ett system med kassettmagasin och filterbrunnar (Wedblad, 2020). Kassettmagasin är en underjordisk konstruktion som fördröjer och renar vatten via sedimentation (VA-guiden, u.å.). Byggstart för båda lösningarna var i oktober 2020 (Mårstad, 2020). Eftersom fokus för arbetet ligger på regnbäddslösningar, kommer den södra delen av avrinningsområdet att stå i fortsatt fokus i rapporten. Bäckens exakta position längs Litteraturgatan visualiseras i Figur 3.10 under den orangea pilen. Regnbädden är 470 m<sup>2</sup> stor till ytan, vilket motsvarar 2,4 procent av den reducerade avrinningsytan (Wedblad, 2020).



**Figur 3.10:** Översikt av området kring regnbädden (Wedblad, 2020).

### 3.6.2 Provtagning

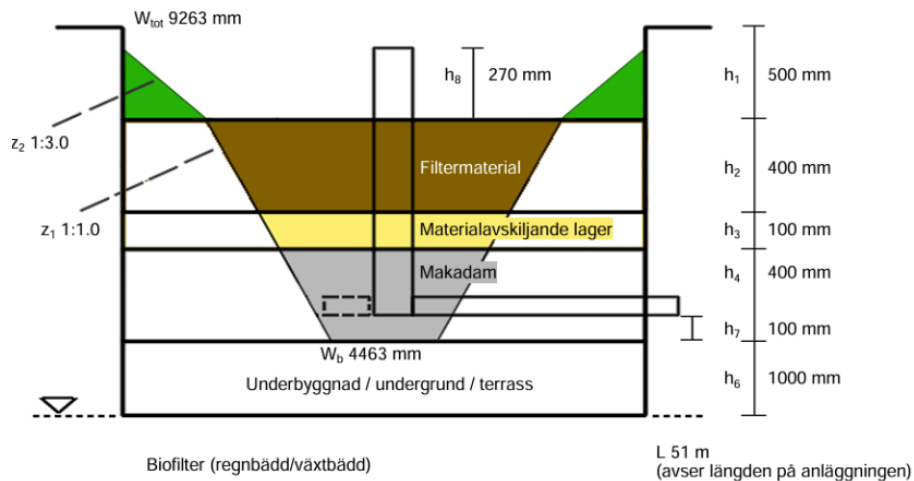
Mellan april och juli, 2022, utfördes dagvattenprover för regnbädden vid Litteraturgatan i Hisings Backa. Inkommande vatten samlades in från en ledning i en nedstigningsbrunn med sandfång. Nedstigningsbrunnen har tre inkommande ledningar och flödesmätare placerades i den av ledningarna med störst avrinningsområde. Mätning av utgående vatten togs vid slutet av regnbädden i en brunn med två anslutna dräneringsledningar, där provtagning skedde i sandfånget och flödesmätaren placerades efter brunnen i utgående ledning. Fyra prover samlades in från vardera mätare (Polo Ruiz de Arechavaleta, 2023).



**Figur 3.11:** Illustrering av var provtagningsutrustningen är placerad och hur flödet ser ut genom bädden (Polo Ruiz de Arechavaleta, 2023)

### 3.6.3 Uppbyggnad

I Figur 3.12 illustreras regnbäddens uppbyggnad i ett vertikalt tvärsnitt. Bäckens fördröjningszon har en tjocklek på 270 mm och betecknas med höjden  $h_8$  i figuren. Direkt under denna zon återfinns det översta materiallagret, bestående av 400 mm filtermaterial. Därefter följer ett 100 mm tjockt lager av materialavskiljande grovsand, följt av 500 mm makadam. Under dessa lager finns en 1000 mm tjock underbyggnad, där dräneringsröret är placerat 100 mm ovanför botten i makadammen. Släntlutningen ner mot bädden är 1:3 (Wedblad, 2020).



Figur 3.12: Tvärsnitt av regnbäddens uppbyggnad (Wedblad, 2020).



# 4

## Resultat

Kommande kapitel går i genom de resultat som provtagningarna visade var samtliga regnbäddar. Resultaten för fosfor, kväve och tungmetaller presenteras i stapeldiagram tillsammans med förväntad rening och målvärde för respektive regnbädd.

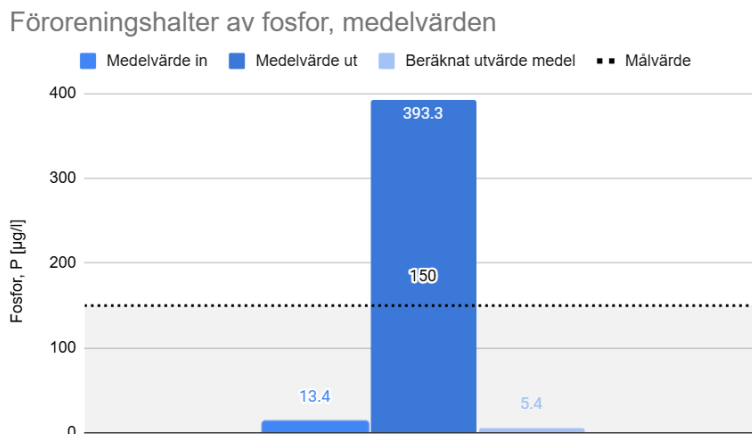
Resultatet för dagvattenprovtagning vid regnbäddarna Alelyckan, Bulycke, Svingeln och Litteraturgatan har sammanställts i diagram. Diagrammen visar hur regnbädden fungerar i praktiken i förhållande till hur den var tänkt att fungera i reningseffekt, samt vad kommunens riktvärden är för respektive föroreningshalt. Regnbäddarna har även sammanställts och jämförts i reningseffektivitet gentemot varandra. I de separata resultaten har ett medelvärde för regnbädden i fråga beräknats där utstickande värden som faller utanför normalfördelningen exkluderats.

Resultat från dagvattenprovtagning har jämförts med den beräknade reningseffektivitet som togs fram i projekteringsskedet. Den beräknade utgående föroreningshalten har tagits fram genom att tillämpa den projekterade procentuella reningseffektiviteten på de uppmätta föroreningskoncentrationerna i inkommande dagvatten. Därefter har dessa beräknade värden använts för att uppskatta vad föroreningshalterna borde vara vid respektive provtagningstillfälle. Resultaten har i sin tur använts för att ta fram ett medelvärde för den förväntade föroreningshalten i det utgående vattnet.

Det är viktigt att notera att arsenik inte fanns med i något av de tillgängliga projekteringsunderlagen. Därför saknas jämförelsevärden för detta ämne, med undantag för kommunens riktvärden.

## 4.1 Alelyckan

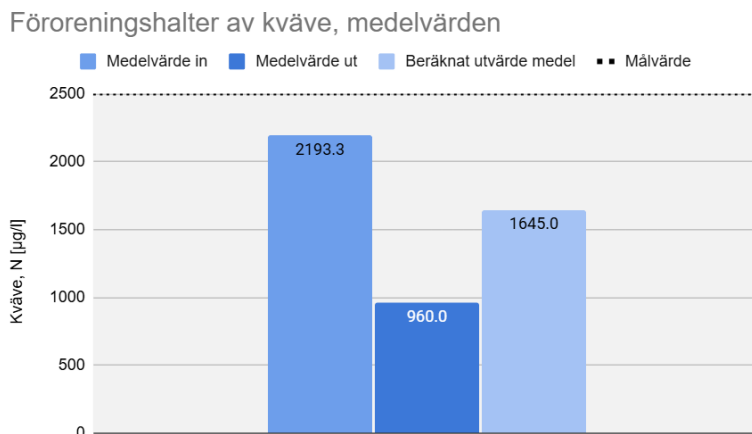
### 4.1.1 Fosfor



**Figur 4.1:** Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halt av fosfor och dess målvärde.

Fosforhalten vid inloppet av regnbädden i Alelyckan ligger på 13,4 µg/l. Utgående halter uppgår till 393 µg/l. Målvärdet är 150 µg/l och det beräknade värdet efter rening ligger på 5,4 µg/l .

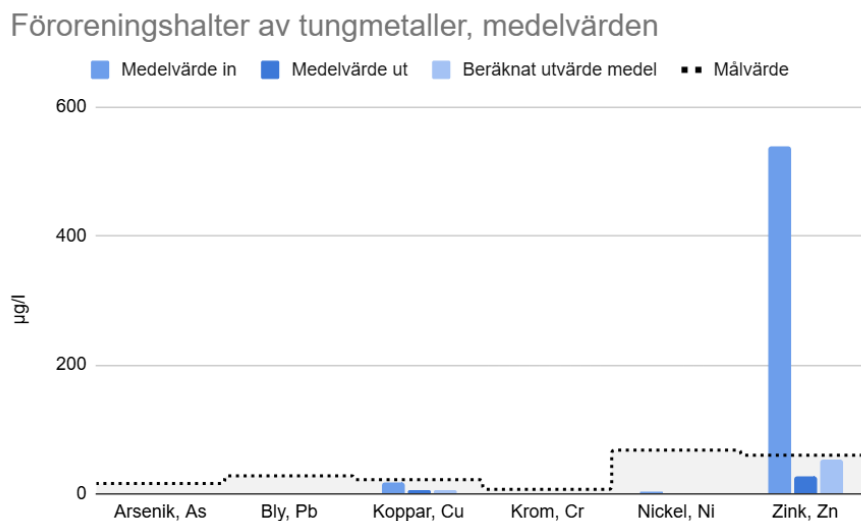
### 4.1.2 Kväve



**Figur 4.2:** Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halt av kväve och dess målvärde.

Ingående koncentration av kväve uppgår till 2193 µg/l och utgående ligger på 960 µg/l, vilket visar på rening. Målvärdet är 2500 µg/l. Det beräknade utvärdet ligger på 1645 µg/l.

### 4.1.3 Tungmetaller

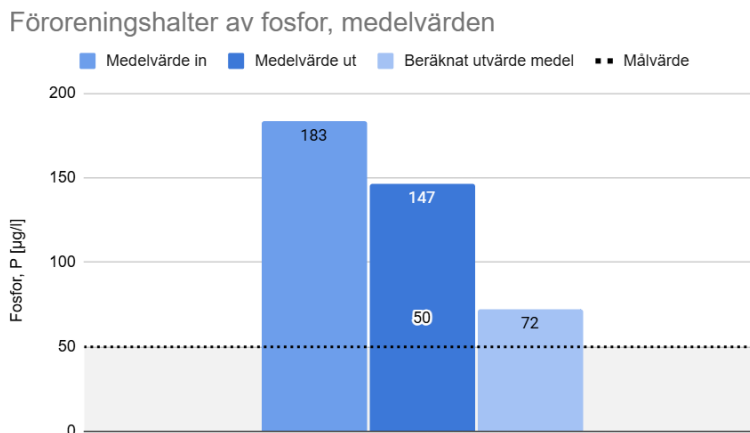


**Figur 4.3:** Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halter av tungmetaller och dess målvärde.

Vid reningen av tungmetaller visar figuren låga invärden för arsenik, bly och krom som alla ligger under 1 µg/l. Koppar ligger på 17 µg/l, nickel ligger på 3 µg/l och zink urskiljer sig med att uppgå till 539 µg/l. Zink är den enda föroreningen vars invärde ligger utanför målvärdet. Det beräknade utvärdet uppnås eller är nära för alla ämnen. Bly, arsenik och krom ökar genom bädden men värdena är fortsatt låga.

## 4.2 Bulycke

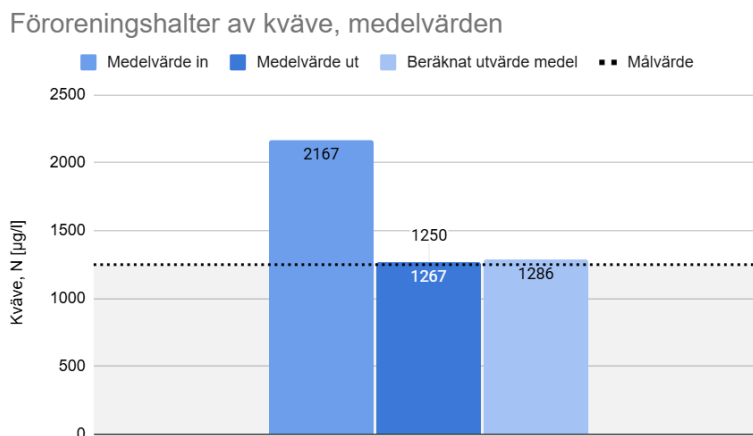
### 4.2.1 Fosfor



**Figur 4.4:** Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halt av fosfor och dess målvärde.

Invärdet för fosfor uppgår till 183 µg/l och utvärdet ligger på 147 µg/l. Det beräknade utvärdet av fosfor ligger på 72 µg/l och målvärdet är 50 µg/l.

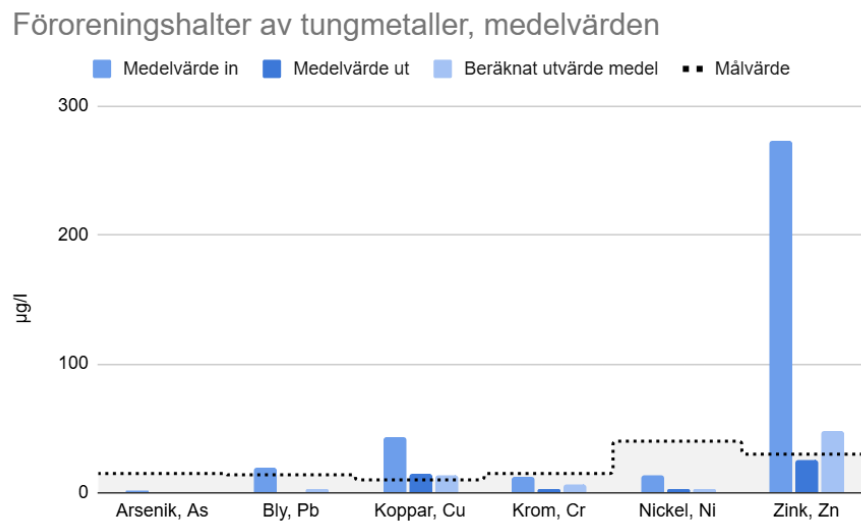
### 4.2.2 Kväve



**Figur 4.5:** Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halt av kväve och dess målvärde.

Invärdet för kväve ligger på 2167 µg/l, och utvärdet uppgår till 1267 µg/l. Det projekterade värdet ligger på 1286 µg/l och målvärdet är 1250 µg/l.

### 4.2.3 Tungmetaller

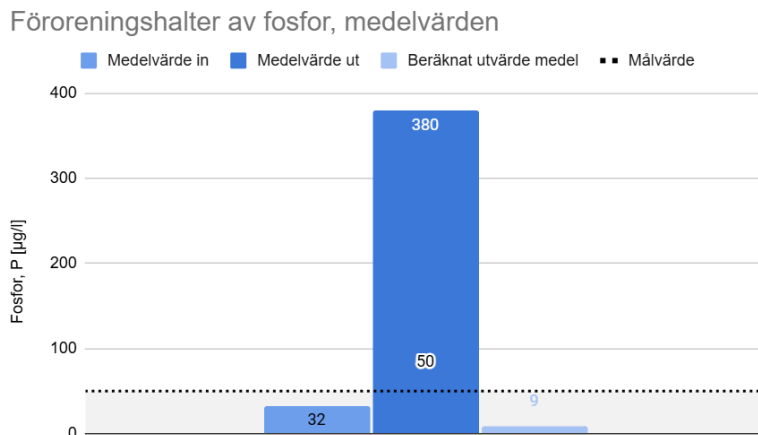


**Figur 4.6:** Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halter av tungmetaller och dess målvärde.

För invärden av tungmetaller ligger arsenik lågt på 2 µg/l, bly, krom och nickel ligger alla under 20 µg/l. Koppar ligger på 43 µg/l, och zink urskiljer sig på 273 µg/l. Samtliga metallers koncentrationshalt minskar efter regnbädden. Koppar är det enda som slutar på högre än det projekterade värdet. Alla utom koppar når sina respektive målvärden.

## 4.3 Svingeln

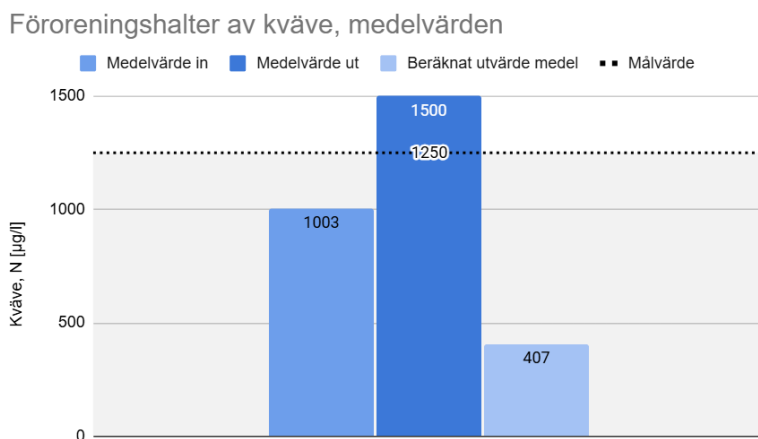
### 4.3.1 Fosfor



**Figur 4.7:** Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halt av fosfor och dess målvärde.

Invärdet för fosfor ligger på 32 µg/l och utvärdet uppgår till 380 µg/l. Det projekterade utvärdet ligger på 9 µg/l och målvärdet är 50 µg/l.

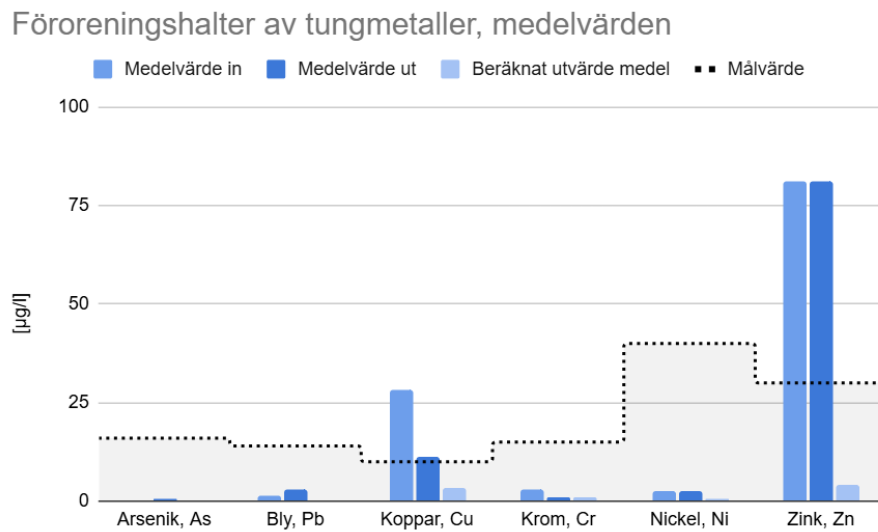
### 4.3.2 Kväve



**Figur 4.8:** Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halt av kväve och dess målvärde.

Koncentrationen av kväve in i regnbädden ligger på 1003 µg/l och utgående värde uppgår till 1500 µg/l. Det projekterade värdet ligger på 407 µg/l och målvärdet är 1250 µg/l.

### 4.3.3 Tungmetaller

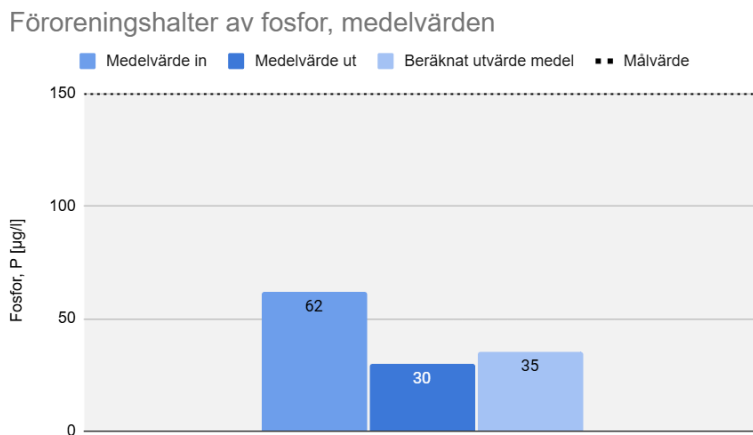


**Figur 4.9:** Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halter av tungmetaller och dess målvärde.

Föroreningshalten av metaller i ingående vatten vid Svingeln är låg för arsenik, bly, krom och nickel som alla ligger mellan 0-3 µg/l. Koppar ligger på 28 µg/l och zink på 81 µg/l. Arsenik och bly ökar båda för utgående vatten, med 1 respektive 2 µg/l. Halterna för nickel och zink är oförändrade. Koppar och krom är de metaller vars halt minskade i det utgående vattnet, med 17 respektive 2 µg/l. Sett till det projekterade målvärdet är det endast nickel som når ner till önskad halt. Samtliga värden utom koppar och zink klarar målvärdet, både före och efter regnbädden.

## 4.4 Litteraturgatan

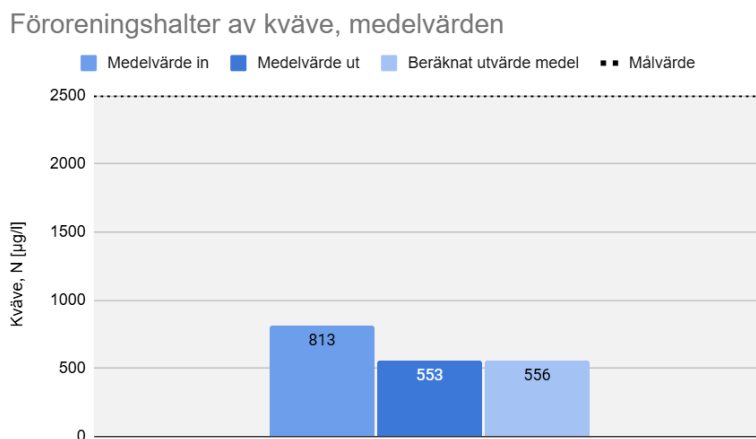
### 4.4.1 Fosfor



**Figur 4.10:** Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halt av fosfor och dess målvärde.

Invärdet av fosfor uppgår till 62 µg/l och utvärdet ligger på 30 µg/l. Det projekterade värdet för regnbädden ligger på 35 µg/l och målvärdet är 150 µg/l.

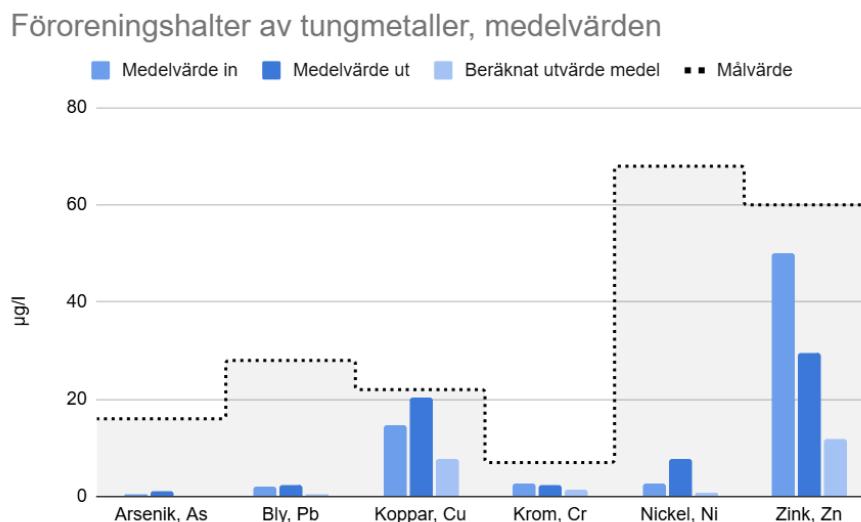
### 4.4.2 Kväve



**Figur 4.11:** Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halt av kväve och dess målvärde.

Kvävehalten vid inloppet ligger på 813 µg/l och vid utloppet 553 µg/l. Det projekterade värdet ligger på 556 µg/l. Samtliga värden ligger under målvärdet som är på 2500 µg/l.

### 4.4.3 Tungmetaller



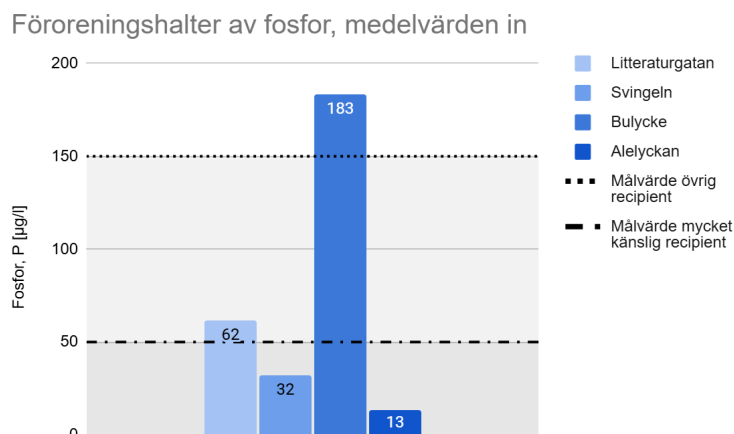
**Figur 4.12:** Diagram med ingående, utgående och förväntad utgående halter av tungmetaller och dess målvärde.

Vid inloppet för Litteraturgatan är föroreningshalten på metallerna arsenik, bly, krom och nickel alla under 4 µg/l. För koppar ligger den på 15 µg/l och zink uppgår till 50 µg/l. Alla metaller utom krom och zink ökar i föroreningshalt vid utloppet. Ingen av provtagningsämnen ligger under det projekterade målvärdet. Samtliga provvärden ligger under kommunens riktvärde, benämnt målvärde i figuren.

## 4.5 Jämförelse

### 4.5.1 Föroreningshalter in

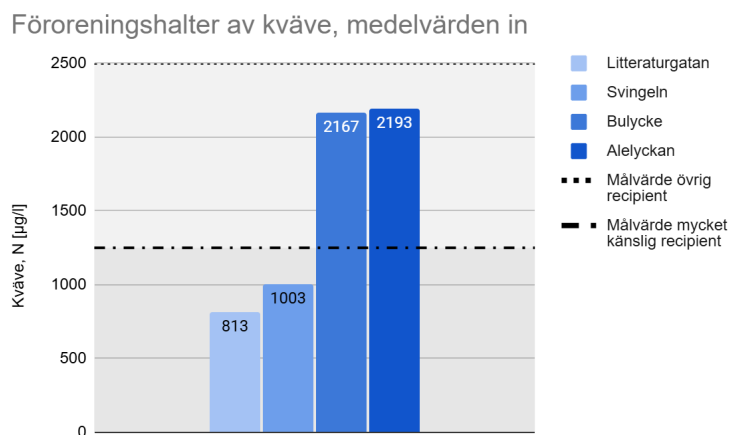
#### 4.5.1.1 Fosfor



**Figur 4.13:** Diagram med ingående halt av fosfor och dess målvärde.

Föroreningshalterna på dagvattnet för fosfor ligger under 65 µg/l för alla regnbäddar förutom vid återvinningsstationen i Bulycke som sticker ut från mängden och ligger betydligt högre än de andra och är uppe på 183 µg/l.

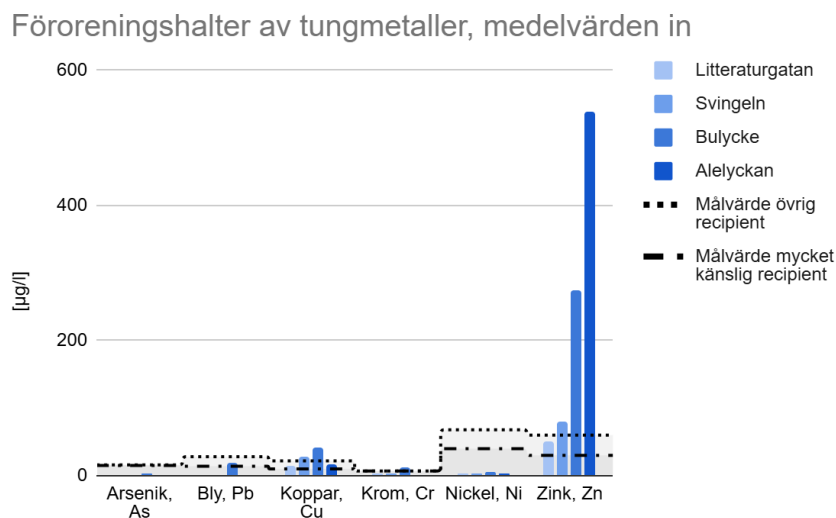
#### 4.5.1.2 Kväve



**Figur 4.14:** Diagram med ingående halter av kväve och dess målvärde.

Samtliga uppmätta föroreningshalter av kväve ligger under målvärdesgränsen på 2500 µg/l. Svingeln och Litteraturgatan uppvisar lägre halter kväve jämfört med Bulycke och Alelyckan.

### 4.5.1.3 Tungmetaller

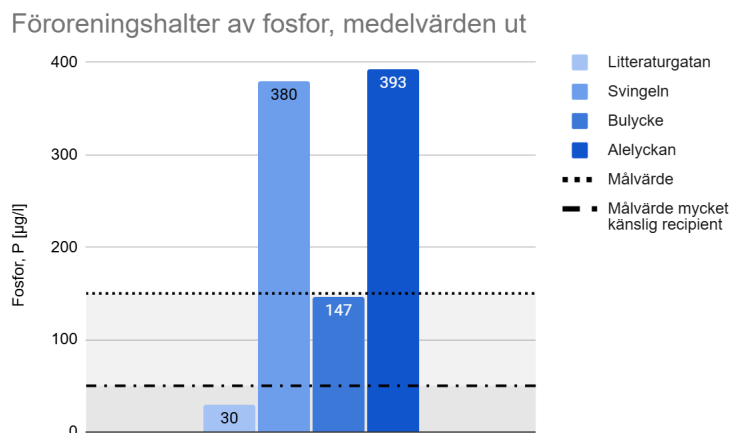


**Figur 4.15:** Diagram med ingående halter av tungmetaller och dess målvärde.

Ingående föroreningshalter av tungmetaller för de fyra regnbäddarna ligger inom målvärdets gränser för alla metaller utom koppar, krom och zink där Bulycke överstiger i alla tre fallen. Alelycken och Svingeln överstiger för zink.

## 4.5.2 Föroreningshalter ut

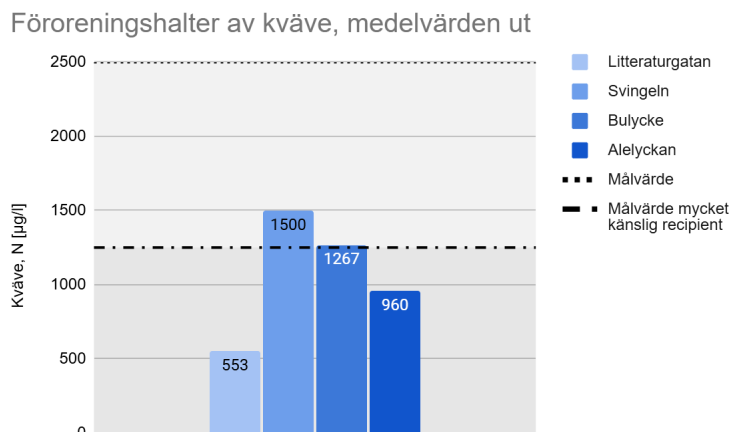
### 4.5.2.1 Fosfor



**Figur 4.16:** Diagram med utgående halt av fosfor och dess målvärde.

De uppmätta fosforhalterna i det utgående vattnet från regnbäddarna vid Svingeln och Alelyckan uppgår till 380  $\mu\text{g/l}$  respektive 393  $\mu\text{g/l}$ , vilket tydligt överstiger målvärdet. Vid Bulycke noterades en fosforhalt som marginellt understiger Göteborgs generella målvärde på 150  $\mu\text{g/l}$ , medan Litteraturgatan uppvisar den mest effektiva reningen med halter som ligger betydligt under gällande målgräns.

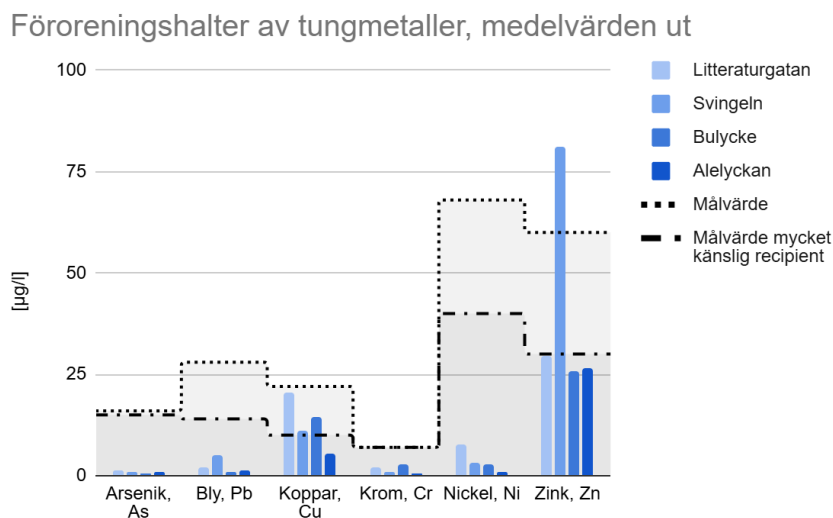
### 4.5.2.2 Kväve



**Figur 4.17:** Diagram med utgående halt av kväve och dess målvärde.

De uppmätta halterna av kväve i utgående vatten från samtliga fyra regnbäddar understiger den generella målvärdesgränsen på 2500  $\mu\text{g/l}$ . Utstående är regnbädden vid Litteraturgatan, där kvävehalten uppmäts till 553  $\mu\text{g/l}$ , vilket är lägre än vid övriga provpunkter.

### 4.5.2.3 Tungmetaller

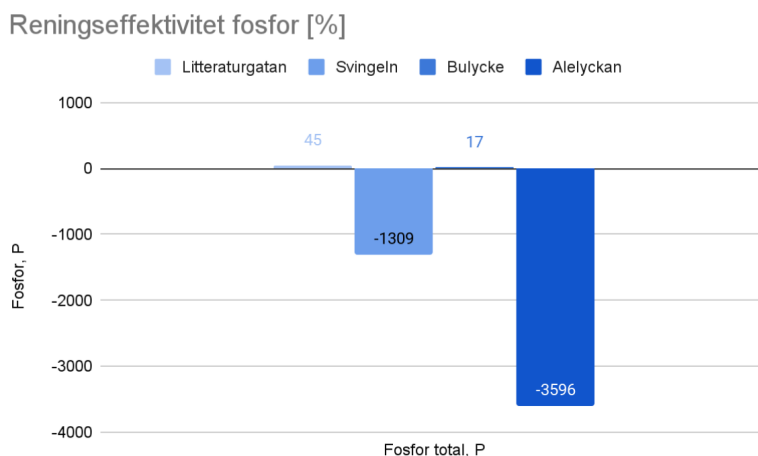


**Figur 4.18:** Diagram med utgående halter av tungmetaller och dess målvärde.

De uppmätta utgående halterna av tungmetaller ligger generellt under respektive målvärdesgränser vid samtliga regnbäddar, med undantag för zink vid regnbädden i Svingeln, där halten överskrider målvärdet på 60 µg/l. Koppar uppvisar halter nära målvärdet vid både Litteraturgatan och Bulycke, medan nickel förekommer i betydligt lägre koncentrationer än den angivna målgränsen vid samtliga bäddar.

### 4.5.3 Reningseffektivitet

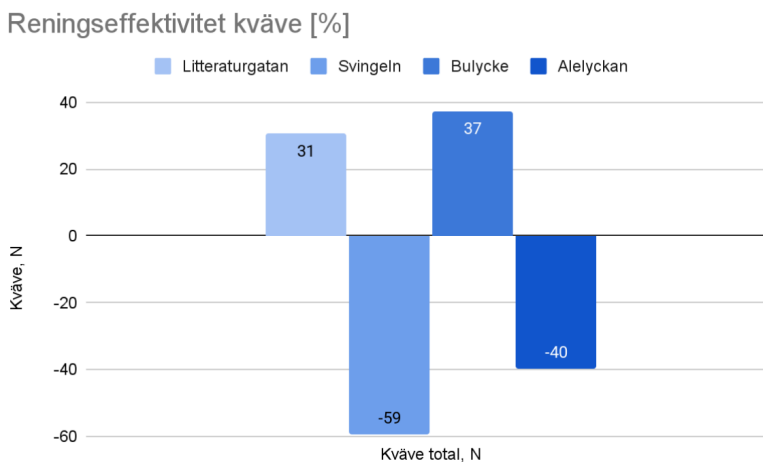
#### 4.5.3.1 Fosfor



Figur 4.19: Diagram med reningseffektivitet av fosfor.

Reningseffektiviteten för fosfor varierar mellan de studerade regnbäddarna. Vid Bulycke uppmäts en måttlig men positiv reduktion med en reningseffektivitet på 17 procent, medan Litteraturgatan uppnår en betydligt högre effektivitet på 45 procent, vilket tyder på en god fosforrening. I kontrast till detta uppvisar regnbäddarna vid Svingeln och Alelyckan ingen reducerande effekt. Tvärtom noteras en markant ökning av fosforhalten i det utgående vattnet, med en koncentrationsökning på 1309 procent respektive 3596 procent.

#### 4.5.3.2 Kväve



Figur 4.20: Diagram med reningseffektivitet av kväve.

Reningseffektiviteten för kväve uppvisar varierande resultat mellan regnbäddarna. Vid Litteraturgatan och Bulycke uppmäts en reduktion av kvävehalterna med 31 procent respektive 37 procent, vilket indikerar en god reningskapacitet vid dessa anläggningar. I motsats till detta observerades en ökning av kvävekoncentrationerna genom regnbäddarna vid Svingeln och Alelyckan, med förhöjda halter på 59 procent respektive 40 procent i det utgående vattnet.

## 4.5.3.3 Tungmetaller



**Figur 4.21:** Diagram med reningseffektivitet av tungmetaller.

Reningseffektiviteten varierar avsevärt, både mellan de olika metallerna och mellan regnbäddarna. I Alelyckan varierar reningseffektiviteten stort beroende på metall. Arsenik och bly ökar kraftigt genom bädden, medan koppar minskar till viss del. Krom uppvisar inga större förändringar, medan både zink och nickel minskar kraftigt. 99 procent av nickelföreningarna renas från vattnet efter passage genom regnbädden. Bulycke uppvisar högst reningseffektivitet, med positiva och höga reduktioner för samtliga tungmetaller, där bly uppvisar en reduktion på 95 procent. Svingeln visar en låg men positiv effektivitet för zink, men uppnår en relativt bra reningseffektivitet för koppar och krom, med reduktioner på 51 procent respektive 52 procent. Däremot ökar koncentrationerna av nickel och bly genom bädden, medan påverkan på arsenik är negativ, med en ökning på 5754 procent. Vid Litteraturgatan är reningseffektiviteten sämre, och regnbädden har en negativ effekt på koncentrationerna av samtliga metaller, förutom zink, vars koncentration minskar något genom bädden.



# 5

## Diskussion

I följande kapitel tolkas resultatet och relevant diskussion förs kring regnbäddarnas olika resultat. Metodkritik och begränsningar samt förslag till framtida studier nämns.

### 5.1 Sammanfattning av resultat

Avsnitt 5.1 presenterar och sammanställer de resultat som har visualiserats i kapitel fyra. De viktigaste delarna tas upp för respektive regnbädd.

#### 5.1.1 Alelyckan

##### 5.1.1.1 Fosfor

För fosfor uppnår Alelyckans regnbädd varken det beräknade målvärdet eller Göteborgs stads riktvärden. Koncentrationen vid inloppet är 13,4  $\mu\text{g/l}$  och när vattnet har passerat regnbädden är utloppsvattnets koncentration 393,3  $\mu\text{g/l}$ . Det är en ökning vilket ger en negativ effekt. Regnbädden förorenar dagvattnet, motsatt effekt från vad den är menad att göra.

##### 5.1.1.2 Kväve

För kväve ligger den ingående koncentrationen på 2193,3  $\mu\text{g/l}$ . Den utgående koncentrationen landade på 960  $\mu\text{g/l}$  och regnbädden visar på god rening av kväve. 960  $\mu\text{g/l}$  är under både beräknat utvärde och kommunens riktvärde, vilket visar på reningseffekt över förväntan.

##### 5.1.1.3 Tungmetaller

För tungmetallerna visar regnbädden på god reningseffekt. De flesta metaller utom zink ligger redan under kommunens riktvärde. Zink som har ingående värde på 539,3  $\mu\text{g/l}$  renas till 26,7  $\mu\text{g/l}$ , vilket är en bättre reningseffekt än vad regnbädden är projekterad för. Krom, bly och arsenik ökar alla i koncentration efter att ha passerat genom regnbädden. Krom ökar med 0,2  $\mu\text{g/l}$ , bly med 1,1  $\mu\text{g/l}$  och arsenik med 0,5  $\mu\text{g/l}$ , vilket är låga koncentrationer.

## 5.1.2 Bulycke

### 5.1.2.1 Fosfor

Fosforhalterna vid Bulyckes regnbädd överstiger både vid inlopp och utlopp där halterna är 183  $\mu\text{g/l}$  vid inlopp och renas ner till 147  $\mu\text{g/l}$ . Reningseffektiviteten är positiv men når varken målvärdet på 50  $\mu\text{g/l}$  eller det projekterade värdet på 72  $\mu\text{g/l}$ . Recipienten för avrinning från Bulyckes regnbädd anses vara mycket känslig, som visas i Tabell 2.1 och därför är målvärdet lägre än för exempelvis Alelyckans regnbädd.

### 5.1.2.2 Kväve

Halterna av kväve ligger långt över målvärdet vid inloppet på 2167  $\mu\text{g/l}$ . Renings-effektiviteten för bädden når projekterad nivå, något bättre än den beräknade då utgående värde ligger på 1267  $\mu\text{g/l}$  och det beräknade värdet vid utloppet är 1286  $\mu\text{g/l}$ . Då recipienten är mycket känslig ligger målvärdet lågt på 1250  $\mu\text{g/l}$  vilket inte uppnås. Reningsgraden är som förväntat, men åtgärder för att sänka nivåerna till önskat värde bör ligga på att minska utsläppen och inte på att hitta bättre reningsalternativ.

### 5.1.2.3 Tungmetaller

De flesta metaller utom koppar, bly och zink ligger under målvärdesgränserna redan vid inloppet. Koppar och bly överskrider något medan zink ligger långt över gränsen vid inloppet. Däremot uppfyller samtliga metaller målvärdesgränsen efter rening och bädden visar god reningseffektivitet. För bly, krom och zink hamnar utgående värden under det beräknade utvärdet. Att ingående zinkvärde är högt och ligger på 273  $\mu\text{g/l}$  kan förklaras med att bäddarna ligger i anslutning till en återvinningscentral och avfallshantering är en av de högsta utsläppskällorna av zink. Att reningseffektiviteten är så pass hög och når ner till lägre nivåer än både målvärde och det beräknade värdet vid projektering är anmärkningsvärt positivt.

## 5.1.3 Svingeln

### 5.1.3.1 Fosfor

Fosforhalterna för Svingeln ligger vid inloppet av regnbädden på 32  $\mu\text{g/l}$ . Vid utloppet stiger koncentrationen till 380  $\mu\text{g/l}$  vilket är en markant ökning och tyder på förorening av dagvattnet och motsatt effekt från projektering. Beräknad rening är förväntad att landa på 5  $\mu\text{g/l}$  vilket utvärdet inte uppfyller. Kommunens riktvärde på 50  $\mu\text{g/l}$  uppnås vid inloppets vatten men överskrids efter regnbädden.

### 5.1.3.2 Kväve

Koncentrationen av kväve mäts vid inloppet upp till 1003  $\mu\text{g/l}$ . Efter vattnet har passerat regnbädden ökar koncentrationen till 1500  $\mu\text{g/l}$  vilket visar på en negativ reningseffekt. Det beräknade värdet efter regnbädden är 407  $\mu\text{g/l}$ , alltså mindre än en tredjedel av vad som faktiskt uppnås. Kommunens riktvärde är 1250  $\mu\text{g/l}$  och uppnås innan vattnet passerar regnbädden. Regnbädden uppnår varken riktvärde eller det beräknade reningsvärdet.

### 5.1.3.3 Tungmetaller

Vid förorening av tungmetaller vid inloppet av Svingelns regnbädd är mätningarna låga för arsenik, bly och krom som sjönk ytterligare genom regnbädden och ligger under kommunens riktvärden. Nickel är också lågt men ökar något i koncentration vid utloppet. Koncentrationen ligger under målvärdet vid både in- och utloppet men renas inte som förväntat. Koncentrationen av koppar minskar vid utlopp men uppnår varken den förväntade reningsgraden eller målvärdet. Zink utmärker sig och är högt vid inloppet för att sedan minska något, dock inte ner till vare sig den beräknade koncentrationen eller det uppsatta målvärdet.

## 5.1.4 Litteraturgatan

### 5.1.4.1 Fosfor

Fosforkoncentrationen vid inloppet för Litteraturgatans regnbädd ligger på 62 µg/l och minskar genom regnbädden ner till 30 µg/l. Vilket är 5 µg/l under det beräknade reningsvärdet. Kommunens riktvärde ligger på 150 µg/l och är betydligt högre än det ingående och utgående värdet. Regnbädden visar på god reningseffekt och fungerar något bättre än förväntat för rening av fosfor.

### 5.1.4.2 Kväve

Koncentrationen av kväve är vid inloppet 813 µg/l och renas genom regnbädden ner till 553 µg/l, vilket är 3 µg/l lägre än det beräknade utvärdet. Kommunens riktvärden ligger på 2500 µg/l då regnbädden inte ligger vid någon känslig recipient. Värdet är betydligt högre än de uppmätta värdena. Regnbädden fungerar som förväntat för rening av kväve.

### 5.1.4.3 Tungmetaller

För koncentrationer av tungmetaller i regnbädden vid Litteraturgatan är det låga halter av arsenik, bly, krom och nickel som alla ligger under 4 µg/l vid inloppet. De uppfyller inte sina beräknade reningsvärden. Krom sjunker i koncentration, dock inte hela vägen till sitt beräknade utvärde. Arsenik och bly ökar marginellt och uppnår inte sina respektive beräknade värden. Då värdena ligger på så pass låga nivåer kan det vara svårt att rena ytterligare. Koppar ökar från 15 µg/l till 20 µg/l genom regnbädden och når inte sin beräknade reningseffekt utan har i stället motsatt effekt. Nickel får en negativ reningseffekt och ökar från 3 µg/l till 8 µg/l genom regnbädden och når inte sin beräknade reningseffekt. Zink är den metall som utmärker sig och har högre koncentration än de andra på 50 µg/l och renas sedan ner till 30 µg/l vilket inte är hela vägen ner till det beräknade utvärdet på 12 µg/l. Samtliga metaller ligger under de riktvärden som Göteborgs stad har satt upp, vid samtliga mätningar.

## 5.1.5 Reningseffekt

### 5.1.5.1 Fosfor

Reningseffektiviteten för fosfor varierar mellan regnbäddarna, både Litteraturgatan och Bulycke uppvisar en positiv reningseffekt, med minskade fosforhalter i det utgående vattnet. Litteraturgatan reducerar fosforhalterna med 45 procent, medan Bulycke uppnår en reduktion på 17 procent.

Svingeln och Alelyckan uppvisar däremot negativa reningseffekter, där fosforhalterna ökar markant efter genomströmning. I Svingeln observeras en ökning med 1309 procent och i Alelyckan hela 3596 procent. Dessa ökningarna innebär att de utgående fosforhalterna i båda fallen överstiger kommunens målvärden, från att ligga under respektive målvärde vid inloppet.

### 5.1.5.2 Kväve

Både Litteraturgatan och Bulycke renar dagvattnet från kväve, med en reningseffekt på 31 procent respektive 37 procent. Vid Svingeln och Alelyckan är reningseffekten negativ, vilket visar på att regnbäddarna i stället tillför kväve till vattnet som rinner genom bädden. Svingeln och Alelyckan förorenar regnvattnet genom regnbädden, med 59 procent respektive 40 procent.

### 5.1.5.3 Tungmetaller

Ser vi till arsenik så bidrar tre av fyra regnbäddar med negativ rening, alltså förorening. Enbart Bulycke renar arsenik från dagvattnet, med 74 procent. För bly var resultaten liknande med negativ rening för alla bäddar utom Bulycke. Koppar har en positiv reningseffekt för Svingeln och Bulycke med 51 respektive 62 procent. För Litteraturgatan och Alelyckan är det negativ reningseffekt på -56 respektive -8 procent. Krom har positiv reningseffekt för Svingeln och Bulycke, men negativ reningseffekt för Litteraturgatan och Alelyckan. För nickel är det negativ reningseffekt för Litteraturgatan och Svingeln. Positiv reningseffekt för Bulycke och Alelyckan. Zink är den enda av de uppmätta metallerna som renas genom samtliga regnbäddar.

## 5.2 Tolkning av resultaten

I följande avsnitt diskuteras och tolkas resultaten vidare, och generella slutsatser som kan dras presenteras. Frågeställningar kring regnbäddars funktion samt visualisering av resultaten behandlas också.

### 5.2.1 Problematik med visualisering i procent

Mätningar och visualisering av reningseffektiviteten i procent är gynnsamt för att få en överblick av föroreningar och hur de processas genom regnbädden, men när det gäller låga koncentrationer kan procent vara missvisande. Exempelvis för arsenik i Svingelns regnbädd där halterna ökar från 0,027 µg/l till 0,72 µg/l. Båda resultaten är långt under kommunens riktvärde som är 16 µg/l men reningseffekten landar på -5754 procent.

En liknande problematik återfinns vid analys av blyhalter. Bulycke är den enda regnbädd som uppvisar en positiv reningseffekt, med en minskning av blyhalter på 95 procent. Övriga regnbäddar uppvisar ökande halter, där Alelyckan står för den största ökningen med 440 procent. Trots dessa procentuella förändringar rör det sig om mycket låga absoluta halter. I fallet Alelyckan innebär ökningen en blyhalt från 0,6 µg/l till 1,3 µg/l, vilket är avsevärt under målvärdesgränsen på 28 µg/l. Den procentuella ökningen kan därmed vara missvisande ur ett miljömässigt perspektiv, då de uppmätta nivåerna fortsatt ligger långt under gränsvärdet och sannolikt inte utgör någon risk för miljön.

Procentuell reningseffektivitet är ett användbart verktyg vid analys av vissa ämnen, särskilt där halterna är relativt höga. Detta gäller framför allt för kväve och fosfor, men även för zink och koppar, där både absoluta nivåer och skillnader i koncentrationer gör det relevant att visualisera reningseffekten i procent. Procentuella jämförelser ger i dessa fall en tydlig bild av regnbäddarnas påverkan på dagvattnets föroreningsinnehåll.

Tolkningen av procentuella förändringar för ämnen med mycket låg förekomst bör ske med försiktighet, då dessa kan ge en överdriven bild av faktiska variationer. I dessa fall kan även små absoluta förändringar ge upphov till höga procentuella skillnader, vilket riskerar att ge en missvisande bild av reningseffekten. Dessutom kan resultaten påverkas av variationer i provtagningsmetodik och begränsningar i laboratorietrustningens mätnoggrannhet. För dessa ämnen är därför procentuell reningseffektivitet ett mindre tillförlitligt mått för att bedöma regnbäddarnas reningsskapacitet.

### 5.2.2 Bakgrund till resultaten

#### 5.2.2.1 Alelyckan

De ingående föroreningshalterna vid Alelyckan är generellt låga för samtliga ämnen, med undantag för zink, där halterna är de högsta som uppmätts bland de fyra analyserade regnbäddarna. Det är anmärkningsvärt att de ingående zinkhalterna vid Alelyckan är så pass höga, eftersom avrinningsområdet huvudsakligen består av en

personalparkering, en yta som normalt inte förknippas med omfattande zinkutsläpp. Samtidigt visar mätningarna vid Bulyckes regnbädd, som ligger i anslutning till en återvinningscentral, en verksamhet som är känd för att bidra till höga zinkhalter, se kapitel 2.5.7, lägre halter än de vid Alelyckan, men som rimligtvis bör vara högst. Trots de förväntade skillnaderna överskrider Alelyckans regnbädd den beräknade reningseffektiviteten och målvärdet för zink uppnås.

För övriga metaller är koncentrationerna så pass låga att procentuell reningseffekt blir svårtolkad. Exempelvis motsvarar en ökning av bly från 0,4 µg/l till 1,5 µg/l, en ökning med 440 procent, men båda nivåerna ligger långt under det tillämpliga målvärdet på 28 µg/l.

Kvävehalten minskar genom regnbädden, medan fosforhalten ökar markant, en ökning med 3596 procent har uppmätts. En möjlig förklaring är att regnbädden är relativt ny och att filtersubstratet ännu innehåller höga halter av lättillgänglig fosfor, se kapitel 2.8. Ett känt fenomen vid nyetablerade anläggningar, där näringsläckage initialt kan uppträda innan systemet stabiliseras. I detta fall fungerar bädden inledningsvis som en källa till fosforutsläpp snarare än som en effektiv reningsanläggning.

### 5.2.2.2 Bulycke

Regnbädden vid Bulycke visar positiv reningseffekt för samtliga ämnen och uppfyller målvärdena för alla analyserade tungmetaller, trots att ingående zinkhalter är mycket höga. Halterna av kväve och fosfor ligger nära målvärdena och den observerade reningsgraden överensstämmer till stor del med den beräknade. För att ytterligare minska utsläppen till recipienten bör insatser i detta fall fokusera på att identifiera och begränsa föroreningskällorna, snarare än att justera själva anläggningen. Placeringen av regnbädden i direkt anslutning till återvinningscentralen bidrar till höga ingående föroreningshalter, vilket försvårar möjligheten att uppnå låga utgående nivåer. Trots detta visar anläggningen på en reningseffektivitet som i stort överensstämmer med de projekterade förväntningarna.

Bäddens storlek ligger inom det intervall på 2-10 som anges i Fridell & Jergmo (2015), se kapitel 2.8, men är mindre än anläggningarna vid Alelyckan och Svingeln i förhållande till respektive reducerat avrinningsområde. Trots detta uppvisar Bulycke en högre procentuell reningseffekt, vilket kan indikera att projekteringen är väl utförd och byggnationen har följt bygghandlingarna i högre grad jämfört med Svingeln.

### 5.2.2.3 Svingeln

Regnbädden vid Svingelns busshållplats uppvisar bristande reningsförmåga, särskilt med avseende på näringsämnen fosfor och kväve, vilka uppmätts i högre halter i utgående vatten jämfört med inkommande. Halterna av zink och koppar, vilka i hög grad släpps ut från kollektivtrafiken i området, reduceras endast marginellt genom bädden. Enligt en intern analys från Kretslopp och Vatten (Polo Ruiz de Arechavala, 2023) beror den begränsade reningskapaciteten på att anläggningen inte byggts enligt de ursprungliga bygghandlingarna, vilket har påverkat dess funktion negativt.

#### 5.2.2.4 Litteraturgatan

Föroreningshalterna vid regnbädden på Litteraturgatan är generellt sett låga redan vid inloppet, särskilt för näringsämnen kväve och fosfor, vars halter dessutom minskar ytterligare genom bädden. Den uppmätta reningseffektiviteten är högre än den beräknade och utgående halter ligger under både det beräknade utvärdet och målvärdet, vilket delvis beror på de låga ingående nivåerna.

Vad gäller tungmetaller presterar bädden något sämre, där zink är det enda ämnet som uppvisar en tydlig minskning. I jämförelse med de andra undersökta regnbäddarna är det anmärkningsvärt att halterna av kväve och fosfor, som ofta är svåra att minska, sänks effektivt vid Litteraturgatan. Litteraturgatans regnbädd har till skillnad från de andra regnbäddarna ingen växtlighet annat än gräs, vilket kan vara en förklaring till resultatet. Tillägg av växtlighet och substrat som behöver användas, bidrar till ökad förorening av fosfor och kväve, men renar tungmetaller bättre i senare skede genom växtlighetens rötter, se kapitel 2.8. De flesta tungmetaller förekommer dock i så pass låga koncentrationer redan vid inloppet att den marginella ökningen som sker genom bädden kan betraktas som försumbar. Undantaget är koppar, vars halt ökar trots att den ingående nivån är betydande, men målvärdet överskrider inte trots det. Den projekterade reningseffektiviteten för tungmetaller uppnås inte, vilket sannolikt kan förklaras av de låga ingående halterna. När koncentrationerna är mycket låga är det svårare att uppnå hög procentuell rening, eftersom små förändringar får större genomslag i relativa termer.

### 5.2.3 Förorena för att rena

Livslängden hos en regnbädd är svår att fastställa exakt, då den påverkas av flera faktorer, främst halterna av föroreningar i dagvattnet, se kapitel 2.8. Det är framför allt filterssubstratet som med tiden mätas med tungmetaller och näringsämnen, vilket begränsar bäddens funktion. Generellt gäller att ju högre halter av till exempel zink, koppar, kväve och fosfor som tillförs via dagvattnet, desto kortare blir livslängden.

Som nämnt kan halterna av kväve och fosfor initialt efter ny anläggning i utgående vatten vara förhöjda, se kapitel 2.8. Detta beror på att filterssubstratet ofta innehåller kompostmaterial som främjar växtetablering, men samtidigt bidrar med näringsämnen, se kapitel 2.8. Om mängden växtmaterial och organiskt substrat reduceras för att minska utsläpp av näringsämnen i den inledande fasen, kan det på sikt försämra bäddens funktion eftersom växterna spelar en viktig roll i upptaget av både näringsämnen och tungmetaller.

Skyfall kan påverka regnbäddens funktion och reningseffektivitet negativt, se kapitel 2.8. Höga vattenflöden riskerar att spola ut tidigare bundna föroreningar från filterssubstratet, vilket kan leda till att utgående halter överskrider de ingående. Det uppstår därmed en avvägning mellan önskad reningseffekt och regnbäddens livslängd i relation till föroreningsbelastningen. Redan i projekteringskedet bör det därför utvärderas om en regnbädd är en lämplig blågrön lösning för det aktuella området. I så fall bör livslängden vara tillräcklig för att motivera de inledande utsläppen av näringsämnen efter anläggning.

### 5.2.4 Är regnbäddarna meningsfulla?

Huruvida regnbäddar är en givande lösning beror i hög grad på hur väl de är utformade och hur grundligt arbetet har utförts under projekteringsfasen. Att slentrianmässigt välja en regnbädd enbart för att det är en modern blågrön lösning som passar in i stadsplaneringen, se kapitel 2.1, kan vara problematiskt ur ett dagvattenkvalitetsperspektiv. Denna undersökning visar att regnbäddarna i flera fall inte fungerar enligt förväntningarna och i vissa fall till och med bidrar till ökade föroreningshalter snarare än minskade.

Bulycke är den enda av regnbäddarna som uppvisar en generell minskning av samtliga analyserade ämnen och därmed uppfyller sin tänkta funktion, även om den inte alltid når uppsatta målvärden. Övriga bäddar visar stora variationer. Svingeln och Alelyckan fungerar bristfälligt när det gäller reduktion av näringsämnen som kväve och fosfor, men uppvisar acceptabla resultat för vissa tungmetaller. Litteraturgatan presterar däremot väl vad gäller näringsämnen, men ökar halterna av samtliga tungmetaller förutom zink. Därför kan den inte anses fullt ut uppfylla sitt syfte som reningslösning.

Om huvudsyftet med den blågröna lösningen är att rena dagvatten från föroreningar, är en regnbädd inte alltid det mest effektiva alternativet. Detta framgår tydligt i resultaten från Alelyckan, Svingeln och delvis Litteraturgatan. Däremot visar utfallet från Bulycke att en regnbädd kan fungera väl, förutsatt att den är korrekt utformad och anpassad till lokala förhållanden. Om målet i stället är att förbättra stadsmiljön genom att tillföra grönska som även bidrar till viss dagvattenrening, är regnbäddar ofta ett lämpligt val, se kapitel 2.1. Även om reningen blir bättre först när regnbädden åldrats. Regnbäddarna kan alltså fylla fler funktioner än bara rening, exempelvis bidra till en grönare stadsbild och samtidigt främja biologisk mångfald, se kapitel 2.1. För att säkerställa att rätt blågrön lösning väljs, krävs det att syfte och målsättningar tydliggörs redan i projekteringsfasen, samt att förutsättningarna i det aktuella området noggrant analyseras. se kapitel 2.6.

## 5.3 Praktiska implikationer

I följande avsnitt diskuteras resultatens effekter och eventuella lösningar eller vidare studier som bör göras för att kunna föreslå en lösning.

### 5.3.1 Alelyckan

Resultaten visar i linje med teorin att de nyligen anlagda regnbäddarna renar fosfor och kväve betydligt sämre än vad som förväntas i projekteringsdatan. I själva verket bidrar regnbäddarna till ytterligare förorening av dagvattnet. Regnbädden vid Alelyckan, som anlades under 2019–2020, hade bara varit i drift i några månader vid provtagningstillfället samt att växter planterades först 2021. Detta kan vara en förklaring till de kraftigt ökade halterna av fosfor och kväve mellan in- och utflödet i proverna, se kapitel 2.8. Ser man till reningseffektiviteten presterar regnbädden generellt sett svagt vad gäller tungmetaller, med undantag för zink där den uppnår en rening som överträffar den projekterade effekten. Samtidigt ligger samtliga utgående halter under angivna målvärden. Vilket innebär att bedömningen av huruvida bädden uppfyller sin funktion beror på om kriteriet för godkänd funktion baseras på faktisk reningseffekt eller enbart på att utsläppsnivåerna inte överskrider gränsvärdena. Om godkännandegrund baseras på att utgående halter inte överskrider satta målvärden, kan regnbädden anses uppfylla sin funktion i dagsläget. Om målet med anläggningen är att i största möjliga utsträckning reducera föroreningshalter och förbättra dagvattenkvaliteten bör orsaken till den observerade ökningen av tungmetaller genom regnbädden undersökas närmare.

### 5.3.2 Bulycke

Som tidigare nämnt fungerar regnbädden vid Bulycke överlag mycket väl, men den uppfyller inte uppsatta målvärden för kväve och fosfor. Halten av kväve överskrider målvärdet med endast 17 µg/l, medan överskridandet för fosfor är något större. Trots detta uppvisar regnbädden en bättre reningseffekt för fosfor än vad som initialt beräknats vid projektering. För att ytterligare minska utsläppen och uppnå målvärdena bör fokus därför riktas mot att identifiera och åtgärda källan till föroreningarna, snarare än att justera regnbäddens utformning. Eftersom regnbädden i övrigt uppvisar god reningsförmåga vore det olämpligt att genomföra justeringar i syfte att minska kvävehalterna, då detta riskerar att påverka andra funktioner negativt. Anläggningen påbörjades i början av 2017 och bör vid provtagningstillfällena under sommaren 2020 ha uppnått en stabil driftsfas. Eventuella initiala läckage av näringsämnen från filtermaterialet bör därför inte längre påverka resultaten i någon större utsträckning och kan inte anses förklara den begränsade reningen av kväve.

### 5.3.3 Svingeln

Svingelns regnbädd påbörjades, likt Alelyckans regnbädd, år 2017 och prover togs år 2021 och år 2022. Vad som noterades vid första provtagningarna var att regnbädden inte presterat som förväntat. Trots att den åldras och fosfor och kväve förväntas att minska, fortsätter regnbädden att förorena vattnet ytterligare. Regnbädden har konstaterats vara felbyggd och renar inte dagvattnet från kväve och fosfor (Polo Ruiz de Arechavaleta, 2022). Trots att regnbädden är felbyggd, renar den dagvattnet från tungmetallerna. De metaller som inte renas ökar endast några  $\mu\text{g/l}$  per metall. Koppar renas, även om den inte uppfyller målvärdet eller den förväntade reningshalten, så kommer den närmare kommunens riktvärde. Zinkhalterna förblir oförändrade, annars landar regnbäddens resultat under kommunens riktvärden för resterande tungmetaller. Trots att resultaten inte är som förväntat, håller sig många av föroreningarna på önskade låga värden.

För att åtgärda problemen med otillräcklig rening av kväve och fosfor bör regnbädden undersökas i detalj för att fastställa på vilket sätt konstruktionen avviker från det planerade utförandet. Det kan handla om felaktigt växtval, olämpligt filtersubstrat eller en bristfällig utformning av bäddens vattenflöde, se kapitel 2.8. Innan några åtgärder vidtas är det därför avgörande att först identifiera grundorsaken till den bristande funktionen. Det kan också vara av vikt att utvärdera om växter är ett bra val eller inte då det huvudsakligen är planteringen av växter som bidrar till ökad förorening de första åren, se kapitel 2.8. För att återkoppla till tidigare frågeställning i avsnitt 5.2.3, huruvida det är värt att förorena för att sedan rena? Om bädden förorenar dagvattnet snarare än renar, är det då värt att ha kvar bädden eller är det bättre att ta bort den helt eller byta ut den mot en annan blågrön lösning?

### 5.3.4 Litteraturgatan

Litteraturgatan, vars regnbädd började anläggas under hösten 2020, uppvisar motsatt beteende jämfört med Bulycke. Anläggningen presterar väl vad gäller reduktion av näringsämnen, men har en begränsad reningseffekt av tungmetaller. Trots att samtliga uppmätta värden ligger under målvärdena, uppnås inte den projekterade reningseffekten för någon av metallerna. Tvärtom ökar halterna av de flesta tungmetaller genom regnbädden. Om målet med regnbädden endast är att föroreningarna i utloppet ska hållas under kommunens riktvärden, kan den anses uppfylla sin funktion i dagsläget. Om målet med anläggningen är att i största möjliga utsträckning reducera föroreningshalter och förbättra dagvattenkvaliteten, bör orsaken till den observerade ökningen av tungmetaller genom regnbädden undersökas närmare. En möjlig förklaring kan vara att växtvalet inte är optimalt, vilket medför att metallerna inte tas upp i tillräcklig omfattning. I stället kan de ackumuleras i substratet och frigöras vid högre flöden, vilket försämrar reningseffekten över tid.

## 5.4 Metodkritik och begränsningar

Begränsningar i rapporten är bland annat det snäva urvalet. Eftersom rapporten fokuserar på regnbäddar i Göteborg, begränsades arbetet till enbart fyra regnbäddar där varje bädd hade 1-2 provtagningstillfällen med 2-8 provtagningar. Detta skapar ett litet urval och om det funnits fler regnbäddar och fler prover där exempelvis regnintensitet ingår samt tid mellan olika regn står angivet, vore ett mer pålitligt resultat möjligt.

De fyra regnbäddarna har olika förutsättningar, där Alelyckan vid en kontorsbyggnad, Bulycke vid en återvinningscentral, Svingeln ligger vid ett kraftigt trafikerat område och Litteraturgatan vid en mindre trafikerad väg. Föroreningsmängderna för regnbäddarna är varierande och det kan diskuteras om bäddarna bör jämföras med varandra.

Även arean för regnbäddarnas avrinningsområde skiljs åt vilket gör att regnbäddarna hanterar olika mängd vatten. Även om alla regnbäddarna håller sig inom tumregeln som nämns i kapitel 2.8 och är procentuellt utformade efter avrinningsområdet, kan 2-10 procent utgöra en skillnad i resultatet och göra det svårt att jämföra regnbäddarna sinsemellan.

Då testerna inte är utförda av författarna till rapporten utan av Kretslopp och vatten på Göteborgs stad med hjälp av konsulter, är rapporten enbart skriven utifrån det som står i tillhandahållna rapporter. Detta kan ses som en begränsning då författarna inte kan avgöra hur exakt de olika proverna är utförda. Datan är även bearbetad av författarna där extremvärden har tagits bort, samt att medelvärden har tagits fram, vilket kan bidra till andra resultat. Testerna har utförts på olika sätt då vissa tester genomförts med flödesmätare och andra prover har tagits med nivåtrigger. Detta gör att provtagningarna har olika förutsättningar vilket kan ha en påverkan på resultatet. Regnintensiteten är en faktor då provtagningarna börjar vid ett visst flöde, vad som inte tas hänsyn till är kraftiga regn som kan medföra påskyndad filtreringsprocess i enstaka fall. Detta kan i sin tur bidra till högre koncentrationer i utvärdet då regnbäddar spolats ut snarare än att vattnet filtreras och renas, se kapitel 2.8.

Att utgå från projekterade in- och utgående föroreningshalter för att beräkna en teoretisk reningseffektivitet, och därefter jämföra denna med medelvärden från verkliga regn, kan i vissa fall bli missvisande. Föroreningshalter i  $\mu\text{g/l}$  påverkas av regnintensitet och reningseffektiviteten hos regnbäddar är sällan linjär. Tvärtom tenderar effektiviteten att vara högre vid större föroreningshalter och lägre vid låga halter, se kapitel 2.8, vilket innebär ett icke-linjärt, ofta exponentiellt samband. Att jämföra reningseffektivitet mellan projekterade värden och uppmätt data utan att ta hänsyn till regnvolym, intensitet och variation i halter kan därför ge en förenklad och potentiellt missvisande bild av bäddens verkliga funktion.

## 5.5 Förslag till fortsatta studier

Förslag till fortsatt forskning skulle vara att undersöka fler regnbäddar för att få ett bredare resultat. Rapporten fokuserar på regnbäddar i Göteborgs stad, framtida forskning skulle kunna vara att inkludera regnbäddar i exempelvis grannkommuner. Att ta fler prover vid olika typer av nederbörds mängder för att få fram mer jämförbara resultat hade även gett mer pålitliga resultat.

# 6

## Slutsats

Regnbäddarna runt om i Göteborg ligger i de allra flesta av mätningarna inom ramen för kommunens riktvärden. Alelyckans regnbädd når inte upp till beräknad reningseffekt avseende fosfor. För kväve presterar regnbädden över förväntan med 685 µg/l under det beräknade reningsvärdet. För tungmetallerna är det i många fall små halter av föroreningar vilket gör att bädden bidrar till föroreningar. Detta sker för arsenik, bly och krom. För nickel är det 0,1 µg/l från beräknat värde. Koppar och zink renas båda bättre än projekterat där zink utmärker sig med en rening av 512,6 µg/l.

Bulyckes regnbädd når inte det beräknade värdet för fosfor. Reningen av kväve ligger 19 µg/l under sin beräknade rening och fungerar som projekterat. För tungmetallerna renas samtliga metaller. Bly, koppar, krom och zink ligger alla under sin förväntade reningsgrad och nickel ligger på sin förväntade reningsgrad medan arsenik saknar projekterat värde.

För fosfor ökar halten för Svingelns regnbädd med 348 µg/l när den är beräknad att minska med 23 µg/l. Även för kväve ökade halten med 497 µg/l när den är beräknad att minska med 596 µg/l. För tungmetallerna är värdena låga för arsenik, bly, krom och nickel. Halterna för arsenik och bly ökar. Halten för krom minskar ner till projekterat värde. Nickel och zink förblir oförändrade genom regnbädden och når inte upp till sitt projekterade värde. Koppar är den metallen som renas mest men bara till hälften av vad den förväntas göra.

Litteraturgatans regnbädd uppnår den projekterade reningseffektiviteten för både fosfor och kväve, vilket tyder på att den fungerar väl för dessa ämnen i enlighet med planeringen. Däremot uppnås inte den projekterade reningseffekten för någon av tungmetallerna. Särskilt zink och koppar uppvisar tydliga avvikelser, med utgående halter som ligger 18 respektive 12 µg/l över de projekterade värdena.

Sammanfattningsvis är det bara Litteraturgatans regnbädd som uppnår det projekterade värdet för fosfor. Detta visar på svårigheterna med rening av ämnet. Svingeln är den enda av regnbäddarna som inte klarar det beräknade värdet för kväve. För tungmetallerna presterar regnbäddarna olika vid olika metaller, då regnbäddarna är uppbyggda på olika sätt. Zink är den enda metallen som är oförändrad eller minskar genom alla bäddar vilket tyder på att zink är relativt lätt att rena. Resultaten visar

## 6. Slutsats

---

att korrekt projektering och utförande, inklusive anpassning till lokala förhållanden och föroreningsprofiler, är avgörande för att regnbädden ska fungera som tänkt, vilket kan ses på Bulyckes regnbädd.

# Litteraturförteckning

- Almqvist, D. (u.å.). *Anmälan om dagvattenanläggning* (forskningsrapport). Göteborg: Kretslopp och Vatten, Göteborgs stad.
- Bara mineraler. (2020). *Webinar om regnbäddar*. Hämtad från <https://www.baramineraler.se/videoarkiv/webinar-om-regnbaeddar/> (Hämtad 25 april 2025)
- Bara mineraler. (u.å.). *Principritningar regnbäddar. principritningar regnbädd v.2305.pdf*. (Hämtad 10 mars 2025)
- Boverket. (2019a). *Biologisk mångfald ger motståndskraft*. Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/naturen/motstandskraft/>
- Boverket. (2019b). *Ekosystemtjänster för klimatanpassning – dagvattenlösningar och temperaturreglering*. Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/praktiken/klimatanpassningar/> (Hämtad 20 februari 2025)
- Boverket. (2019c). *Urbanisering*. Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/bostadsmarknad/bostadsforsorjning/flyttningar/urbanisering/> (Hämtad 28 februari 2025)
- Boverket. (2021). *Hårdgjorda ytor*. Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/platser/hardgjorda/> (Hämtad 2025-05-12)
- Boverket. (2023a). *Ansvar för dagvatten i detaljplan*. Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/temadelar-detaljplan/dagvatten-i-detaljplan/ansvar-for-dagvatten-i-detaljplan/> (Hämtad 20 februari 2025)
- Boverket. (2023b). *Flera lagar reglerar dagvatten*. Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/temadelar-detaljplan/dagvatten-i-detaljplan/flera-lagar-reglerar-dagvatten/> (Hämtad 20 februari 2025)
- Boverket. (2024). *Plan- och bygglagen*. Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/arkitektur-och-gestaltad-livsmiljo/arbetssatt/>

- vardens-miljoer/lagar-mal-och-riktlinjer/lagar-och-regler/  
plan--och-bygglagen/ (Hämtad 18 april 2025)
- COWI AB. (2016). *Ritning m-30-2-002 a: Typsektioner raingarden, bulycke Åvc.* (Renova)
- Egelberg, P., Wold, S., Wehlin, A. & Åkerman, S. (2020). *Utvärdering av regnbäddar – testanläggningar värmdövägen (nv-05802-20)* (forskningsrapport). Scandinavian Tunneling and Civil Engineering AB, Nacka Kommun. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/4ac52b/globalassets/amnen/avlopp/resultat/rapport-regnbaddar.pdf> (Hämtad 2025-05-16)
- Engvall, L. (u.å.). *Regnrabatt* (forskningsrapport). Göteborg: Kretslopp och Vatten, Göteborgs stad.
- Fridell, K. & Jergmo, F. (2015). *Regnbäddar - biofilter för behandling av dagvatten. movium fakta, #2.* Hämtad från <https://pub.epsilon.slu.se/27942/1/fridell-k-et-al-220518.pdf> (Hämtad 14 mars 2025)
- Göteborgs stad. (2020). *Riktlinjer och riktvärden för utsläpp av förorenat vatten till dagvattennät och recipient.* Hämtad från <https://goteborg.se/.../Riktlinjer+och+riktv%C3%A4rden+...pdf> (Hämtad 9 april 2025)
- Göteborgs stad. (2021). *Reningskrav för dagvatten.* Hämtad från <https://goteborg.se/.../Reningskrav%20dagvatten%202021-03-11.pdf> (Hämtad 21 februari 2025)
- Göteborgs stad. (u.å.a). *Dagvatten och skyfall i stadsplanering.* Hämtad från <https://goteborg.se/.../dagvatten-och-skyfall-i-stadsplaneringen/> (Hämtad 21 februari 2025)
- Göteborgs stad. (u.å.b). *Detta är dagvatten och skyfall.* Hämtad från <https://goteborg.se/wps/portal/start/bygga-bo-och-leva-hallbart/vatten-och-avlopp/dagvatten-och-skyfall/detta-ar-dagvatten-och-skyfall> (Hämtad 5 mars 2025)
- Göteborgs stad. (u.å.c). *Göteborgs skyfall säsong 2024.* Hämtad från <https://goteborg.se/wps/portal/start/bygga-bo-och-leva-hallbart/vatten-och-avlopp/dagvatten-och-skyfall/goteborgs-skyfallssasong-2024> (Hämtad 5 mars 2025)
- Göteborgs stad. (u.å.d). *Krav på rening av dagvatten.* Hämtad från <https://goteborg.se/.../krav-pa-rening-av-dagvatten> (Hämtad 21 februari 2025)
- Göteborgs stad. (u.å.e). *Så arbetar göteborgs stad med dagvatten och skyfall.* Hämtad från <https://goteborg.se/wps/portal/start/bygga-bo-och-leva-hallbart/vatten-och-avlopp/dagvatten-och-skyfall/sa-arbetar-goteborgs-stad-med-dagvatten-och-skyfall> (Hämtad 5 mars 2025)
- Göteborgs stad. (u.å.f). *Så arbetar göteborgs stad med dagvatten och skyfall.* Hämtad från <https://goteborg.se/wps/portal/start/>

- bygga-bo-och-leva-hallbart/vatten-och-avlopp/dagvatten-och-skyfall/sa-arbetar-goteborgs-stad-med-dagvatten-och-skyfall (Hämtad 20 februari 2025)
- Hartung, J. (u.å.). *Anmälan om dagvattenanläggning* (forskningsrapport). Göteborg: Kretslopp och Vatten, Göteborgs stad.
- Havet. (2023). *Miljögifter*. Hämtad från <https://www.havet.nu/miljogifter-> (Hämtad 23 mars 2025)
- Havet. (2024). *Övergödning*. Hämtad från <https://www.havet.nu/overgodning-> (Hämtad 25 april 2025)
- Havs- och vattenmyndigheten. (2017). *Miljöbalken och vår roll*. Hämtad från <http://havochovatten.se/.../miljobalken.html> (Hämtad 18 april 2025)
- Havs- och vattenmyndigheten. (2020). *Statusklassning av ytvatten*. Hämtad från <https://www.havochovatten.se/.../klassificering-och-miljokvalitetsnormer-avseende-ytvatten-hvmfs-201925.html> (Hämtad 15 april 2025)
- Havs och vattenmyndigheten. (2023). *Övergödning*. <https://www.havochovatten.se/miljopaverkan-och-atgarder/miljopaverkan/overgodning-och-algblomning/overgodning.html>. (Hämtad 2025-05-02)
- Islam, M. R., Shahfahad, Talukdar, S., Rihan, M. & Rahman, A. (2024, October). Evaluating cooling effect of blue-green infrastructure on urban thermal environment in a metropolitan city: Using geospatial and machine learning techniques. *Sustainable Cities and Society*, 113, 105666. Hämtad från <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105666> doi: 10.1016/j.scs.2024.105666
- Karolinska Institutet. (2025a). *Arsenik. institutet för miljömedicin*. Hämtad från <https://ki.se/imm/.../riskwebben/arsenik> (Hämtad 14 april 2025)
- Karolinska Institutet. (2025b). *Nickel. institutet för miljömedicin*. Hämtad från <https://ki.se/imm/.../riskwebben/nickel> (Hämtad 14 april 2025)
- Kemikalieinspektionen. (2022). *Metaller*. Hämtad från <https://www.kemi.se/rad-till-privatpersoner/kemikalier-i-material/metaller> (Hämtad 25 april 2025)
- Lasky, J. (2024). *Nitrogen (n)*. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=4106c7b7-8251-3b19-adbe-529d999e81d3>. (Salem Press Encyclopedia of Science. Hämtad 2025-04-25)
- Livsmedelsverket. (2024). *Salt och mineraler*. Hämtad från <https://www.livsmedelsverket.se/.../salt-och-mineraler1> (Hämtad 23 mars 2025)
- Livsmedelsverket. (2025a). *Bly*. Hämtad från <https://www.livsmedelsverket.se/.../metaller1/bly> (Hämtad 23 mars 2025)
- Livsmedelsverket. (2025b). *Koppar*. Hämtad från <https://www.livsmedelsverket.se/.../metaller1/koppar> (Hämtad 23 mars 2025)

- Lundberg, L. & Hartung, J. (2016). *Föroreningar i dagvatten vid ombyggnation av bulycke återvinningscentral (Åvc)* (forskningsrapport). Göteborg: Kretslopp och Vatten, Göteborgs stad.
- Lundberg, L. & Karlsson, L. (2021). *Reningskrav för dagvatten* (forskningsrapport). Göteborgs stad. Hämtad från <https://goteborg.se/wps/wcm/connect/2997f065-9532-4a05-9812-c0336237292e/Reningskrav+dagvatten+2021-03-11.pdf?MOD=AJPERES> (Hämtad 2025-05-16)
- Malaviya, P., Sharma, R. & Sharma, P. K. (2019). Rain gardens as stormwater management tool. I S. Shah, V. Venkatramanan & R. Prasad (red.), *Sustainable green technologies for environmental management*. Singapore: Springer. Hämtad från [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2772-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2772-8_7) doi: 10.1007/978-981-13-2772-8\_7
- Mårstad, A. (2020). *Anmälan om dagvattenanläggning* (forskningsrapport). Göteborg: Kretslopp och Vatten, Göteborgs stad.
- Naturvårdsverket. (2024a). *Klimatförändringarnas effekter i sverige*. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/arnesomraden/klimatforandringar/klimatet-i-framtiden/effekter-i-sverige/> (Hämtad 11 mars 2025)
- Naturvårdsverket. (2024b). *Metaller som miljögift*. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/arnesomraden/miljoforooreningar/metaller/> (Hämtad 5 mars 2025)
- Naturvårdsverket. (2024c). *Tillsyn av dagvatten*. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avlopp/dagvatten/> (Hämtad 2025-04-09)
- Naturvårdsverket. (2025a). *Fakta om bly*. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/arnesomraden/miljoforooreningar/metaller/fakta-om-bly/> (Hämtad 2025-04-07)
- Naturvårdsverket. (2025b). *Fakta om koppar*. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/arnesomraden/miljoforooreningar/metaller/fakta-om-koppar/> (Hämtad 2025-04-07)
- Naturvårdsverket. (2025c). *Om miljöbalken*. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/lagar-och-regler/om-miljobalken/> (Hämtad 2025-04-18)
- Naturvårdsverket. (2025d). *Zink, utsläpp till vatten från industrianläggningar*. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/industri/zink-utslapp-till-vatten-fran-industrianlaggningar/> (Hämtad 2025-04-02)
- Naturvårdsverket. (u.å). *Krom (cr). utsläpp i siffror*. Hämtad från <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/sv/Arnen/Tungmetaller/Krom/> (Hämtad 25 april 2025)

- Pelorusso, R., Petroselli, A., Cappelli, F., Noto, S., Tauro, F., Apollonio, C. & Grimaldi, S. (2023). Blue-green roofs as nature-based solutions for urban areas: hydrological performance and climatic index analyses. *Environmental Science and Pollution Research*. Hämtad från <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31638-7> doi: 10.1007/s11356-023-31638-7
- Polo Ruiz de Arechavaleta, S. (2021a). *Dagvattenprovtagning: Rapport alelyckan 2020* (forskningsrapport). Göteborg: Kretslopp och Vatten, Göteborgs stad. (Intern rapport)
- Polo Ruiz de Arechavaleta, S. (2021b). *Dagvattenprovtagning: Rapport bulycke 2020* (forskningsrapport). Göteborg: Kretslopp och Vatten, Göteborgs stad. (Intern rapport)
- Polo Ruiz de Arechavaleta, S. (2022). *Dagvattenprovtagning: Rapport svingel 2021* (forskningsrapport). Göteborg: Kretslopp och Vatten, Göteborgs stad. (Intern rapport)
- Polo Ruiz de Arechavaleta, S. (2023). *Dagvatten- & jordprovtagning: Rapport litteraturgatan regnbädd 2022* (forskningsrapport). Göteborg: Kretslopp och Vatten, Göteborgs stad. (Intern rapport)
- Prince, A. (2015). *Pm dagvattenanmälan – alelyckan* (forskningsrapport). Göteborg: Kretslopp och Vatten, Göteborgs stad.
- RISE. (2024). *Utredning regnbäddssubstrat*. Hämtad från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1923430/FULLTEXT01.pdf> (Hämtad 2025-04-25)
- RIVM. (2025). *About rivm*. Hämtad från <https://www.rivm.nl/en/about-rivm> (Hämtad 2025-04-16)
- Scandinavian Copper Development Association. (u.å.). *Koppars avrinning från tak*. Hämtad från <https://www.koppar.com/kopparns-avrinning-fran-tak/> (Hämtad 2025-04-07)
- SGI och MSB. (2021). *Riskområden för ras, skred, erosion och översvämning, redovisning av regeringsuppdrag enligt regeringsbeslut m2019/0124/kl*. Hämtad från <https://www.msb.se/contentassets/725fd943144a1f8dca5c54a8ad69b8/ru-riskomraden.pdf> (Statens geotekniska institut (SGI) och Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB))
- SGU. (2020). *Fosfatmineral och fosfor*. <https://www.sgu.se/mineralnaring/kritiska-ravaror/fosfatmineral-och-fosfor/>. (Hämtad 2025-05-02)
- StormTac. (2025). *Areas of application*. Hämtad från [https://www.stormtac.com/?page\\_id=217](https://www.stormtac.com/?page_id=217) (Hämtad 2025-02-13)
- Svenska geotekniska föreningen. (2023a). *Nickel (ni)*. Hämtad från <https://www.fororenadeomraden.se/index.php/aemnen/metaller/nickel> (Hämtad 2025-04-14)

- Svenska geotekniska föreningen. (2023b). *Zink*. Hämtad från <https://www.fororenadeomraden.se/index.php/aemnen/metaller/zink> (Hämtad 2025-04-17)
- Svenskt Vatten. (2025). *Lagen om allmänna vattentjänster*. Hämtad från <https://www.svensktvatten.se/vara-sakomraden/juridik/vattentjanstlagen/> (Hämtad 2025-04-18)
- Sveriges vattenmiljö. (2023). *Övergödning*. Hämtad från <https://www.sverigesvattenmiljo.se/sa-mar-vara-vatten/2023/sammanfattningar/0/0/4#tillstand> (Hämtad 2025-03-23)
- U.S. Environmental Protection Agency. (2025). *Startsida*. Hämtad 2025-04-16, från <https://www.epa.gov/>
- VA-guiden. (u.å.). *Perkolationsmagasin*. Hämtad från <https://vaguiden.se/dagvatten/anlaggningswiki/perkolationsmagasin/> (Hämtad 2025-05-02)
- Wedblad, J. (2017). *Pm dagvattenföroreningar – svingeln* (forskningsrapport). Göteborg: Trafikkontoret, Göteborgs stad.
- Wedblad, J. (2020). *Pm underlag dagvattenanmälan – litteraturgatan etapp 1 (dnr 2288/18)*. Göteborg.

# A

## Bilagor

### A.1 Alelyckan

Rapportdatum	Provtagningsdag	Nedbörd [mm]	Fosfor total, P	Kväve total, N	Arsenik, As	Bly, Pb	Koppar, Cu	Krom, Cr	Nickel, Ni	Zink, Zn			
2020-07-21	Alelyckan regnbåd	Inglände vatten	Prov 1, IN	2020-07-06	35,6	14	2500	0,58	0,47	29	0,1	3,5	670
2020-07-23	Alelyckan regnbåd	Inglände vatten	Prov 2, IN	2020-07-15	19,2	5,3	290	0,1	0,1	1,9	0,1	0,1	88
2020-08-04	Alelyckan regnbåd	Inglände vatten	Prov 3, IN	2020-07-27	29	21	3800	0,06	0,06	19	0,76	5,2	860
			Medel		17,4	1393,3	0,6	0,6	16,6	6,8	4,4	539,3	
			Standardavvikelse		7,9	1779,9	0,100	0,1	13,7	0,8	1,2	402,2	
2020-07-18	Alelyckan regnbåd	Uglände vatten	Prov 1	2020-07-08	38,8	460	900	1,100	1,800	7,3	0,600	0,700	25
2020-07-24	Alelyckan regnbåd	Uglände vatten	Prov 2	2020-07-15	19,2	310	1000	0,780	1,100	5,3	0,700	0,840	25
2020-08-06	Alelyckan regnbåd	Uglände vatten	Prov 3	2020-07-27	29	410	900	0,940	0,940	4	0,100	0,700	30
			Medel		292,3	860	0,900	1,300	5,5	0,700	0,800	26,7	
			Standardavvikelse		16,4	52,8	0,200	0,600	1,7	0,100	0,1	2,9	
2022-04-21	Alelyckan regnbåd	Uglände vatten	Prov 1	2022-04-05	22,2	130	710	0,031	0,039	3	2,200	1,5	23
2022-04-26	Alelyckan regnbåd	Uglände vatten	Prov 2	2022-04-08	18,4	180	760	0,031	0,030	1,7			24
2022-05-31	Alelyckan regnbåd	Uglände vatten	Prov 3	2022-05-11	8,4	140	2400	1,300	6,800	9,1	2,000	2,2	82
			Medel		216,7	1266,7	0,7	2,7	4,6	2,100	1,9	46,3	
			Standardavvikelse		109,7	656,2	0,5	3,5	4	0,1	0,5	39,6	
<b>Måvärde</b>					<b>190</b>	<b>2500</b>	<b>16</b>	<b>28</b>	<b>22</b>	<b>7</b>	<b>68</b>	<b>60</b>	

Figur A.1: Bilaga 1

Reningsseffektivitet	Fosfor total, P	Kväve total, N	Arsenik, As	Bly, Pb	Koppar, Cu	Krom, Cr	Nickel, Ni	Zink, Zn
Alelyckan regnbåd	-3186,7	64,0	-80,7	-263,0	74,8	-500,0	79,1	96,3
Alelyckan regnbåd	-5748,1	-257,1	-690,0	-1000,0	-178,9	-620,0		71,6
Alelyckan regnbåd	-1852,4	74,2	-42,4	-38,2	78,9	86,8	85,6	96,5
Medel	-3505,7	-39,6	-270,7	-440,4	-8,4	-344,4	82,4	88,1

Figur A.2: Bilaga 2

Reningsseffektivitet	Fosfor total, P	Kväve total, N	Arsenik, As	Bly, Pb	Koppar, Cu	Krom, Cr	Nickel, Ni	Zink, Zn
Bäckstad	80,0	25,0		80,0	60,0	25,0	75,0	90,0

Figur A.3: Bilaga 3

Normalfördelning Invärdet	Fosfor total, P	Kväve total, N	Arsenik, As	Bly, Pb	Koppar, Cu	Krom, Cr	Nickel, Ni	Zink, Zn
Q1	5,3	280,0	0,1	0,1	1,9	0,1	0,1	88,0
Q2	14,0	2500,0	0,6	0,5	19,0	0,1	3,5	670,0
Q3	21,0	3800,0	0,7	0,6	29,0	0,8	5,2	860,0
IQR	16,7	3520,0	0,6	0,6	27,1	0,7	5,1	772,0
MIN (Q1-3*IQR)	-41,8	-10280,0	-1,6	-1,6	-79,4	-1,9	-15,2	-2228,0
MAX (Q3+3*IQR)	68,1	14360,0	2,3	2,4	110,3	2,7	20,5	3176,0
Normalfördelning Utvärdet	Fosfor total, P	Kväve total, N	Arsenik, As	Bly, Pb	Koppar, Cu	Krom, Cr	Nickel, Ni	Zink, Zn
Q1	310,0	900,0	0,8	0,9	4,0	0,4	0,7	23,8
Q2	325,0	940,0	0,9	1,0	4,7	0,7	0,8	25,0
Q3	422,5	1350,0	1,2	3,1	7,8	2,1	1,9	45,5
IQR	112,5	450,0	0,4	2,1	3,8	1,8	1,1	21,8
MIN (Q1-3*IQR)	-27,5	-450,0	-0,3	-5,4	-7,3	-4,9	-2,6	-41,5
MAX (Q3+3*IQR)	760,0	2700,0	2,3	9,4	19,0	7,4	5,2	110,8

Figur A.4: Bilaga 4

Effter renning av utstickande resultat	Fosfor total, P	Kväve total, N	Arsenik, As	Bly, Pb	Koppar, Cu	Krom, Cr	Nickel, Ni	Zink, Zn
Alelyckan regnbåd	14	2500	0,58	0,47	29	0,1	3,5	670
Alelyckan regnbåd	5,3	290	0,1	0,1	1,9	0,1	0,1	88
Alelyckan regnbåd	21,0	3800,0	0,66	0,66	19	0,76	5,2	860,0
Medel	13,43	2183,33	0,45	0,42	16,63	0,32	2,63	539,33
Standardavvikelse	7,87	1779,93	0,30	0,29	13,70	0,38	2,60	402,25
Alelyckan regnbåd	310,0	900,0	0,8	0,9	4,0	0,4	0,7	23,8
Alelyckan regnbåd	310	1000	0,780	1,100	5,3	0,700	0,840	25
Alelyckan regnbåd	410	900	0,940	0,940	4	0,100	0,700	30
Medel	363,33	960,00	0,94	1,45	5,53	0,47	0,71	26,07
Standardavvikelse	78,36	52,92	0,16	0,46	1,66	0,33	0,66	2,85
<b>Måvärde</b>	<b>190</b>	<b>2500</b>	<b>16</b>	<b>28</b>	<b>22</b>	<b>7</b>	<b>68</b>	<b>60</b>

Figur A.5: Bilaga 5

## A.2 Bulycke

Rapportdatum	Provtagningsdag	Nederbörd [mm]	Fosfor total, P	Kväve total, N	Arsenik, As	Bly, Pb	Koppar, Cu	Krom, Cr	Nickel, Ni	Zink, Zn		
			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l		
Bulycke regnbådd	Ingående vatten	Prov 1, IN	2020-07-09	4.4	240	1900	2.7	29	43	13	11	370
Bulycke regnbådd	Ingående vatten	Prov 2, IN	2020-07-15	25	130	1500	1.4	10	27	7.1	5.8	170
Bulycke regnbådd	Ingående vatten	Prov 3, IN	2020-07-27	23.6	180	3100	2.4	18	58	18	24	280
	Medel			183.33	2168.67	2.17	19.00	42.67	12.70	13.60	9.37	273.33
	Standardavvikelse			55.08	832.67	0.68	9.54	15.50	5.46			100.17
Bulycke regnbådd	Utgående vatten	Prov 1, UT	2020-07-09	4.4	190	1000	0.59	0.63	16	0.82	2.1	32
Bulycke regnbådd	Utgående vatten	Prov 2, UT	2020-07-15	25	120	1300	0.45	0.61	14	0.86	2.2	23
Bulycke regnbådd	Utgående vatten	Prov 3, UT	2020-07-27	23.6	170	1500	0.57	1	14	6.3	4.3	22
	Medel			146.67	1266.67	0.54	0.75	14.67	2.66	2.67	25.67	
	Standardavvikelse			25.17	251.66	0.08	0.22	1.15	3.15	1.24	5.51	
Måtvärde				90	1260	15	14	16	15	40	30	

Figur A.6: Bilaga 6

Renings effektivitet	Fosfor total, P	Kväve total, N	Arsenik, As	Bly, Pb	Koppar, Cu	Krom, Cr	Nickel, Ni	Zink, Zn		
	%	%	%	%	%	%	%	%		
Bulycke regnbådd	Prov 1	2020-07-09	37.5	47.4	78.1	97.8	62.8	93.7	80.9	91.4
Bulycke regnbådd	Prov 2	2020-07-15	7.7	13.3	67.9	93.9	48.1	87.9	82.1	86.5
Bulycke regnbådd	Prov 3	2020-07-27	5.6	51.6	76.3	94.4	75.9	85.0	82.1	92.1
	Medel		16.9	37.4	74.1	95.4	62.3	82.2	75.0	90.0

Figur A.7: Bilaga 7

Renings effektivitet	Fosfor total, P	Kväve total, N	Arsenik, As	Bly, Pb	Koppar, Cu	Krom, Cr	Nickel, Ni	Zink, Zn
	%	%	%	%	%	%	%	%
Beräknad		40.7	nd	82.5	69.0	46.0	75.5	82.3

Figur A.8: Bilaga 8

Normalfördelning Invärden	Fosfor total, P	Kväve total, N	Arsenik, As	Bly, Pb	Koppar, Cu	Krom, Cr	Nickel, Ni	Zink, Zn
Q1	130	1500	1.4	10	27	7.1	5.8	170
Q2	180	1900	2.4	18	43	13	11	280
Q3	240	3100	2.7	29	58	18	24	370
IQR	110	1600	1.3	19	31	10.9	18.2	200
MIN (Q1-3*IQR)	-200	-3300	-2.5	-47	-66	-25.6	-48.8	-430
MAX (Q3+3*IQR)	570	7900	6.6	86	151	50.7	78.6	970
Normalfördelning Utvärden	Fosfor total, P	Kväve total, N	Arsenik, As	Bly, Pb	Koppar, Cu	Krom, Cr	Nickel, Ni	Zink, Zn
Q1	120	1000	0.45	0.61	14	0.82	2.1	22
Q2	150	1300	0.57	0.83	14	0.86	2.2	23
Q3	170	1500	0.59	1	16	6.3	4.3	32
IQR	50	500	0.14	0.39	2	5.48	2.2	10
MIN (Q1-3*IQR)	-30	-500	0.03	-0.56	8	-15.62	-4.5	-8
MAX (Q3+3*IQR)	320	3000	1.01	2.17	22	22.74	10.9	62

Figur A.9: Bilaga 9

Efter rensning av utstickande resultat	Fosfor total, P	Kväve total, N	Arsenik, As	Bly, Pb	Koppar, Cu	Krom, Cr	Nickel, Ni	Zink, Zn				
Bulycke regnbådd	Prov 3, IN	2020-07-09	8.2	240	1900	2.7	29	43	13	11	370	
Bulycke regnbådd	Ingående vatten	Prov 4, IN	2020-07-15	13	130	1500	1.4	10	27	7.1	5.8	170
Bulycke regnbådd	Ingående vatten	Prov 5, IN	2020-07-27	9.4	180	3100	2.4	18	58	18	24	280
	Medel			183.33	2168.67	2.17	19.00	42.67	12.70	13.60	9.37	273.33
	Standardavvikelse			55.08	832.67	0.68	9.54	15.50	5.46			100.17
Bulycke regnbådd	Utgående vatten	Prov 3, UT	2020-07-09	8.2	190	1000	0.59	0.63	16	0.82	2.1	32
Bulycke regnbådd	Utgående vatten	Prov 4, UT	2020-07-15	13	120	1300	0.45	0.61	14	0.86	2.2	23
Bulycke regnbådd	Utgående vatten	Prov 5, UT	2020-07-27	9.4	170	1500	0.57	1	14	6.3	4.3	22
	Medel			146.67	1266.67	0.54	0.75	14.67	2.66	2.67	25.67	
	Standardavvikelse			25.17	251.66	0.08	0.22	1.15	3.15	1.24	5.51	
Måtvärde				90	1260	15	14	16	15	40	30	

Figur A.10: Bilaga 10



## A.4 Litteraturgatan

Provtagning			Provtagningsdag	Nederbörd (mm)	Fosfor total, P		Kväve total, N		Arsenik, As		Bly, Pb		Koppar, Cu		Krom, Cr		Nickel, Ni		Zink, Zn			
					µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l					
Litteraturgatan regnbådd	Inglöende vatten	Prov 3, IN	2022-05-27	8,2	69	930	0,67	2,3	18	3,3	3,6	55										
Litteraturgatan regnbådd	Inglöende vatten	Prov 4, IN	2022-06-07	13	74	510	0,73	2,9	17	3,7	3,2	74										
Litteraturgatan regnbådd	Inglöende vatten	Prov 5, IN	2022-07-02	9,4	42	1000	0,4	0,54	8,8	0,78	1,5	21										
		Medel			61,67	813,33	0,60	1,91	14,60	2,59	2,77	50,00										
		Standardavvikelse			17,21	265,02	0,18	1,23	5,05	1,58	1,12	26,85										
Litteraturgatan regnbådd	Utlöende vatten	Prov 3, UT	2022-05-27	8,2	24	660	1,1	1,5	21	1,2	7,4	25										
Litteraturgatan regnbådd	Utlöende vatten	Prov 4, UT	2022-06-07	13	24	390	0,92	0,98	19	1,8	8,4	32										
Litteraturgatan regnbådd	Utlöende vatten	Prov 5, UT	2022-07-02	9,4	41	610	1,4	4,2	21	3,6	7,7	32										
		Medel			29,67	553,33	1,14	2,23	20,33	2,20	7,83	29,67										
		Standardavvikelse			9,81	143,64	0,24	1,73	1,15	1,25	0,51	4,04										
<b>Måtvärde</b>					<b>190</b>	<b>2890</b>	<b>16</b>	<b>28</b>	<b>22</b>	<b>7</b>	<b>46</b>	<b>69</b>										

Figur A.16: Bilaga 16

Reningsseffektivitet																						
					%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Litteraturgatan regnbådd	Inglöende vatten	Prov 3	2022-05-27		65,2	29,0	-84,2	34,8	-18,7	63,8	-105,6	54,5										
Litteraturgatan regnbådd	Inglöende vatten	Prov 4	2022-06-07		67,6	23,5	-26,0	66,2	-11,8	51,4	-162,5	56,8										
Litteraturgatan regnbådd	Inglöende vatten	Prov 5	2022-07-02		2,4	38,0	-250,0	-677,8	-138,6	-391,5	-413,3	-52,4										
		Medel			45,1	30,5	-113,4	-192,3	-55,7	-82,2	-227,1	19,0										

Figur A.17: Bilaga 17

Reningsseffektivitet					Fosfor total, P	Kväve total, N	Arsenik, As	Bly, Pb	Koppar, Cu	Krom, Cr	Nickel, Ni	Zink, Zn
					%	%	%	%	%	%	%	%
Beräknad					43,1	31,6	rd	71,8	48,0	49,4	73,2	76,3

Figur A.18: Bilaga 18

Normalfördelning Invärdet																						
Q1					42	510	0,4	0,54	8,8	0,78	1,5	21										
Q2					69	930	0,67	2,3	17	3,3	3,2	55										
Q3					74	1000	0,73	2,9	18	3,7	3,6	74										
IQR					32	490	0,33	2,36	9,2	2,92	2,1	53										
MIN [Q1-3*IQR]					-54	-960	-0,59	-4,54	-18,8	-7,98	-4,8	-138										
MAX [Q3+3*IQR]					170	2470	1,72	9,98	45,6	12,48	9,9	233										
Normalfördelning Utvärdet																						
Q1					24	390	0,92	0,98	19	1,2	7,4	25										
Q2					24	610	1,1	1,5	21	1,8	7,7	32										
Q3					41	660	1,4	4,2	21	3,6	8,4	32										
IQR					17	270	0,48	3,22	2	2,4	1	7										
MIN [Q1-3*IQR]					-27	-420	-0,52	-8,68	13	-6	-4,4	-4										
MAX [Q3+3*IQR]					92	1470	2,84	13,86	27	10,8	11,4	53										

Figur A.19: Bilaga 19

Efter rensning av utstickande resultat																							
Litteraturgatan regnbådd	Inglöende vatten	Prov 3, IN	2022-05-27	8,2	69	930	0,67	2,3	18	3,3	3,6	55											
Litteraturgatan regnbådd	Inglöende vatten	Prov 4, IN	2022-06-07	13	74	510	0,73	2,9	17	3,7	3,2	74											
Litteraturgatan regnbådd	Inglöende vatten	Prov 5, IN	2022-07-02	9,4	42	1000	0,4	0,54	8,8	0,78	1,5	21											
		Medel			61,67	813,33	0,60	1,91	14,60	2,59	2,77	50,00											
		Standardavvikelse			17,21	265,02	0,18	1,23	5,05	1,58	1,12	26,85											
Litteraturgatan regnbådd	Utlöende vatten	Prov 3, UT	2022-05-27	8,2	24	660	1,1	1,5	21	1,2	7,4	25											
Litteraturgatan regnbådd	Utlöende vatten	Prov 4, UT	2022-06-07	13	24	390	0,92	0,98	19	1,8	8,4	32											
Litteraturgatan regnbådd	Utlöende vatten	Prov 5, UT	2022-07-02	9,4	41	610	1,4	4,2	21	3,6	7,7	32											
		Medel			29,67	553,33	1,14	2,23	20,33	2,20	7,83	29,67											
		Standardavvikelse			9,81	143,64	0,24	1,73	1,15	1,25	0,51	4,04											
<b>Måtvärde</b>					<b>190</b>	<b>2890</b>	<b>16</b>	<b>28</b>	<b>22</b>	<b>7</b>	<b>46</b>	<b>69</b>											

Figur A.20: Bilaga 20

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik  
**CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**  
Göteborg, Sverige  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**