



CHALMERS



Världens bästa campus när det regnar

Utformning av multifunktionella dagvattenlösningar för
Chalmersplatsen och Kopparbunken

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

EBBA AMBY, EMMA JAKOBSSON, VIKTOR LUNDQVIST,
EVELINA SKANTZ, MARTIN THORSSON & EMMA TURESSON

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2022

www.chalmers.se

KANDIDATARBETE ACEX10-22-75

Världens bästa campus när det regnar

Utformning av multifunktionella dagvattenlösningar för Chalmersplatsen
och Kopparbunken

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

EBBA AMBY, EMMA JAKOBSSON, VIKTOR LUNDQVIST,
EVELINA SKANTZ, MARTIN THORSSON & EMMA TURESSON



CHALMERS

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2022

Världens bästa campus när det regnar
Utformning av multifunktionella dagvattenlösningar för Chalmersplatsen och
Kopparbunken

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

© EBBA AMBY, EMMA JAKOBSSON, VIKTOR LUNDQVIST, EVELINA SKANTZ,
MARTIN THORSSON & EMMA TURESSON 2022

Kandidatarbete ACEX10-22-75/ Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik,
Chalmers tekniska högskola 2022

Handledare: Sebastien Rauch, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Vatten
Miljö Teknik

Examinator: Mia Bondelind, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Vatten Miljö
Teknik

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Telephone +46 (0)31 772 1000

Omslag: Illustration av slutgiltiga lösningsförslag på Chalmers Campus Johanneberg.

Göteborg, Sverige 2022

VÄRLDENS BÄSTA CAMPUS NÄR DET REGNAR

Utformning av multifunktionella dagvattenlösningar för Chalmersplatsen och Kopparbunken

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

EBBA AMBY, EMMA JAKOBSSON, VIKTOR LUNDQVIST, EVELINA SKANTZ,

MARTIN THORSSON & EMMA TURESSON

Sammanfattning

Med allt mer frekventa och intensiva regn som förekommer till följd av klimatförändringarna ökar behovet av en bättre dagvattenhantering successivt. Detta presenterar inte bara en utmaning, utan även en möjlighet att bättre integrera mjukgjorda ytor som kan bidra med sociala och ekologiska värden i de historiskt hårdgjorda stadsmiljöerna. I dagsläget finns det goda möjligheter att utveckla denna typ av öppen dagvattenhantering på Campus Johanneberg; hantering som utöver sin renande och fördröjande förmåga kan skapa ytterligare sociala mötesplatser och därigenom ett mer attraktivt campus för både studenter och personal.

Syftet med projektet är att undersöka hur Campus Johanneberg kan bli ”Världens bästa campus när det regnar”. Projektet har avgränsats till två områden, Chalmersplatsen och Kopparbunken, där lösningsförslag som innefattar en hållbar dagvattenhantering har utformats för platserna. Detta innebär inte enbart hantering av förekommande dagvatten, utan även utvärdering av vilka sociala och ekologiska värden som kan tillföras platsen genom multifunktionella ytor. Arbetet har innefattat litteraturstudier samt intervjuer för att samla kunskap och enkätundersökning för att kartlägga önskemål hos studenter samt personal. Vidare har en multikriterieanalys (MKA) gjorts för att bedöma vilken typ av lösning som bäst tar hänsyn till de olika faktorer som spelar in i utformningen. Utöver detta har mjukvarorna SCALGO och Autodesk Revit använts för att bättre visualisera de behandlade platserna.

Resultatet från enkäten tyder på att fler parkliknande miljöer och klimatanpassade sociala rum är eftertraktade hos respondenterna, vilket därför blev främsta målet vid utformning av lokala dagvattenlösningar på Campus Johanneberg. Den ekonomiska faktorn blir ofta ett hinder vid utbyggnad av dessa blågröna dagvattenlösningar och det behövs därför stöttande underlag vid planering. Applicering av de slutgiltiga lösningsförslagen resulterade i ett minskat dagvattenflöde vid både Chalmersplatsen och Kopparbunken, enligt beräkningar med den rationella metoden. För att hantera förorenat dagvatten implementerades reningsåtgärder i serie för möjliggöra komplettering av vardera lösnings brister. Lösningarnas reningseffekt visade sig dock vara svårbedömt utan uppföljande utredningar. Detta kandidatarbete visar att det finns goda möjligheter att förbättra dagvattenhanteringen på Campus Johanneberg som samtidigt är anpassad för en campusmiljö.

Nyckelord: Campusutveckling, Chalmers Campus Johanneberg, Ekologiska värden, Hållbar dagvattenhantering, Kopparrening, Multifunktionella ytor, Multikriterieanalys, Sociala mötesplatser, Öppna dagvattenlösningar.

WORLD'S BEST CAMPUS WHEN IT RAINS

Design of Multifunctional Stormwater Solutions for Chalmersplatsen and Kopparbunken

Bachelor's Thesis in Civil Engineering

EBBA AMBY, EMMA JAKOBSSON, VIKTOR LUNDQVIST, EVELINA SKANTZ,

MARTIN THORSSON & EMMA TURESSON

Abstract

With increasingly frequent and intense rains that occur as a result of climate change, the need for better stormwater management is gradually increasing. This does not only create a challenge, but provides an opportunity to integrate softened surfaces as a way of contributing to the social and ecological values in the historically solid surfaced urban areas. In the present there are great opportunities to develop this type of open stormwater management at Campus Johanneberg; management that aside from its cleansing and delaying capabilities can create additional social venues and thereby a more attractive campus for students and staff. The aim of this project is to examine how Campus Johanneberg can become *"The World's Best Campus When it Rains"*. The project has been limited to two areas, Chalmersplatsen and Kopparbunken, where suggested solutions have been designed to include sustainable stormwater management for each location. This involves not only the management of existing stormwater, but also the evaluation of the social and ecological values that can be added to the site through multifunctional solutions. The work has been conducted with literature studies and interviews to gather knowledge and a survey to map the wishes of students and staff. Furthermore, a multi-criteria analysis (MKA) has been done to assess which type of solution best takes into account the various factors that play a role in the design. In addition, softwares, such as, SCALGO and Autodesk Revit have been used to better visualize the treated areas.

The results from the survey indicate that more park-like environments and climate adapted social venues were sought after by the respondents, hence this became the main goal in the design of local stormwater solutions at Campus Johanneberg. The economic factor often becomes an obstacle in the development of these types of blue-green stormwater solutions and therefore a supportive basis is required in the planning process. The application of the final solution proposals culminated in a reduced stormwater flow at both Chalmersplatsen and Kopparbunken, according to calculations using the rational method. In order to deal with polluted stormwater, purification measures were implemented in series to enable the completion of each solution's deficiencies. However, the treating capacity of the solutions proved to be difficult to assess without follow-up investigations. This bachelor's thesis portrays that there are opportunities to improve the current stormwater treatment at Campus Johanneberg that simultaneously can be adapted to a campus environment.

Keywords: Campus development, Chalmers Campus Johanneberg, copper treatment, Ecological values, Sustainable stormwater management, Multifunctional solutions, Multicriteria analysis, Social venues, Open stormwater solutions.

Begreppslista

Avrinningsområde - Ett område uppströms varifrån vatten rinner och når vattendrag nedströms (SMHI, 2021a).

Biofiltrering av dagvatten - Biologisk rening av dagvatten med hjälp av ett filter som består av levande materia (Blecken, 2016).

Bräddning - Ett tillfälligt utsläpp av orenat avloppsvatten till recipient i kombinerade ledningsnät, detta till följd av stora vattenmängder (NSVA, u. å).

Dagvatten - Nederbörd och smältvatten som tillfälligt rinner på marken (Svenskt Vatten, 2011).

Dagvattenmagasinering - Lagring och fördröjning av dagvatten i magasin (Uponor, u. å).

Dränvatten - Dränerat vatten från mark och byggnader (VA-guiden, 2013).

Evaporation - Avdunstning från öppna ytor (Britannica, u. å).

Evapotranspiration - Summan av transpiration och evaporation (Robertson m. fl., 2021).

Grundvattenströmning - Grundvattnets strömning som vanligtvis rinner parallellt med marklutningen (SGU, 2020).

Grön infrastruktur - Naturliga nätverk och funktioner som främjar biologisk mångfald och ekosystemtjänster i närområdet (Naturvårdsverket, u. å-b).

Infiltration - Vatten som trängs in i ett poröst material, så som jord (Svenskt Vatten, 2011).

Kvalitativ hantering - Åtgärder för att minska föroreningar i dagvatten (Elizabeth City Unified Development Ordinance, 2001).

Kvantitativ hantering - Åtgärder för att minska ytavrinning och dagvattenflöde som når ledningar (Elizabeth City Unified Development Ordinance, 2001).

Kombinerat system - Gemensam ledning för dag- och spillvatten (Svenskt Vatten, 2011).

Multifunktionella ytor - Vanligtvis nedsänkta ytor som vid skyfall kan vattenfyllas men som vid torrare perioder används till annat (Wenke, u. å).

Perkolering - Vatten som långsamt trängs in i porös mark (Svenskt Vatten, 2011). Till skillnad från infiltration så refererar detta till rörelse under markytan.

Recipient - Det mottagande vattendrag som ligger nedströms ett avrinningsområde.

Reducerad area - Del av avrinningsområde som bidrar till avrinning på markytan (Svenskt Vatten, 2011).

Retention - Förmågan att permanent kvarhålla vatten (Vattenmyndigheterna, u. å).

Sedimentering - Då fasta ämnen eller partiklar sjunker till botten av ett vattendrag (Speight, 2017).

Separerade system - Separata nät för dag- och spillvatten, där dagvattnet i ett duplikat system leds i ledningar och där det i ett separatsystem kan avledas i ett separat dike (Svenskt Vatten, 2011).

Spillvatten - Vatten som härstammar ifrån bostäder och industrier (Klimatanpassning, 2019).

Total Suspended Solids (TSS) - Sediment som transporteras i vatten och sedimenteras vid helt eller sänkt stillastående vatten. TSS kan med hjälp av filter avskiljas från vattnet (Viklander m. fl., 2019).

Transpiration - Avdunstning från träd och växter (Petruzzello, u. å).

Uppdämning - När rinnande vatten kvarhålls och stockas (Viklander m. fl., 2019).

Vattenhastighet - Vattnets hastighet genom ett specifikt tvärsnitt i m/s (Physics LibreTexts, 2022).

Ytavrinning - Den del av nederbörden som inte infiltreras, avdunstar eller upptas av växter och därmed rinner på mark (Skogen, u. å).

Återkomsttid - Sannolikhet att ett regn med viss intensitet och varaktighet återkommer inom ett visst tidsintervall (SMHI, 2021d).

Översilningsyta - En sluttande grönyta vars syfte är att infiltrera och leda dagvatten vidare till en eventuell dagvattenanordning så som damm eller dike (VA-guiden, u. å).

Innehåll

1	Inledning	1
1.0.1	Chalmers Campus Johanneberg och campusplanen	1
1.1	Syfte	2
1.2	Problemformulering	2
1.3	Avgränsningar	3
2	Teori	4
2.1	Områdesbeskrivning	4
2.1.1	Kopparbunken	4
2.1.2	Chalmersplatsen	6
2.2	Dagvattenhantering	7
2.2.1	Dagvattenkvantitet	8
2.2.2	Dagvattenkvalitet	8
2.3	Öppna dagvattenlösningar	9
2.3.1	Gröna väggar och tak	10
2.3.2	Regnträdgård	11
2.3.3	Dagvattendamm	14
2.3.4	Svackdike	14
2.3.5	Genomsläpplig beläggning	15
2.4	Sociala och ekologiska värden	16
2.4.1	Offentliga rum på campus	17
2.4.2	Väderskydd	17
2.4.3	Sittplatsernas roll	17
2.4.4	Integrerad grönska	17
2.5	Multifunktionella ytor	18
2.6	Liknande projekt	18
3	Metod	19
3.1	Platsbesök	19
3.2	Litteraturstudie	19
3.3	Enkätundersökning	20
3.4	Intervju	21
3.5	SCALGO	22
3.5.1	Applicering av SCALGO	22
3.6	Utveckling av lösningsförslag	22
3.6.1	Chalmersplatsen	23
3.6.2	Kopparbunken	23
3.7	Multikriterieanalys (MKA)	24
3.7.1	Val av kriterier	24
3.7.2	Beräkning av kriterier	26
3.8	Rationella metoden	28
3.9	Visualisering i Autodesk Revit	29
4	Resultat	30
4.1	Enkät	30
4.2	SCALGO	34
4.3	Multikriterieanalys	35
4.4	Visualisering av slutgiltiga lösningsförslaget	36
4.4.1	Chalmersplatsen	36
4.4.2	Kopparbunken	37

4.5	Rationella metoden	38
5	Diskussion	41
5.1	Multifunktionell dagvattenhantering vid Chalmersplatsen och Kopparbunken	41
5.2	Lösningförslagets påverkan på hållbar dagvattenhantering	42
5.3	Utformningarnas lämplighet för en campusmiljö	43
5.4	Svagheter i studien	43
5.4.1	Enkät	43
5.4.2	Multikriterieanalys (MKA)	44
5.4.3	SCALGO	44
5.5	Fortsatt arbete	44
6	Slutsats	46
A	Bilagor	53
A.1	Lösningförslag	53
A.2	Beräkning av multikriterieanalys	59
A.3	Beräkning av koppar i jord	60
A.4	Beräkning av nederbördsvolym	60
A.5	Enkät	61
A.6	Intervjuer	64
A.6.1	Chalmersfastigheter, 15 februari, 2022	64
A.6.2	Akademiska Hus, 18 februari, 2022	65
A.6.3	Göteborgs Stad (Kretslopp och Vatten), 9 mars, 2022	65
A.6.4	Rain Gothenburg, 7 mars, 2022	66

1 Inledning

I dagsläget regnar det i snitt var tredje dag i Göteborg (Göteborgs stad, 2021). Till följd av klimatförändringarna förväntas både en generell ökning av nederbörden i Sverige och en ökning av regnets intensitet (Naturvårdsverket, u. å-a). Den största ökningen förväntas ske under höst, vinter och vår i landets norra och västra delar. Sedan början på 1990-talet har nederbörden ökat med omkring 10 % i hela landet (SMHI, 2021c). I Göteborg väntas de skyfall som idag har en återkomsttid vart tjugonde år att istället återkomma med 8 års mellanrum (SMHI, 2017). Med återkomsttid menas den mängden skyfall som faller under en avsedd tid och som på grund av sin intensitet inte förekommer ofta (SMHI, 2021d).

Vattnets naturliga kretslopp utgörs av nederbörd, infiltration, evapotranspiration, ytavrinning och grundvattenströmning (SMHI, 2021b). Vid förändring av markanvändning påverkas vattnets kretslopp (Svenskt Vatten, 2011). Utbredning av hårda, lågpermeabla ytor leder till att mindre vatten avdunstar och infiltreras genom marken, vilket resulterar i att tätbebyggda miljöer har större ytavrinning än grönområden (Svenskt Vatten, 2011). Det vatten som utgör ytlig avrinning i bebyggda områden kallas dagvatten och kan vid stora volymer ställa till problem för samhället och dess infrastruktur. Den ännu pågående urbaniseringen i kombination med ökad nederbörd gör att de slutna ledningssystemen under marken inte längre räcker till för att hantera allt dagvatten (Sörelius, 2020). Detta kan resultera i problem så som översvämningar och att föroreningar transporteras vidare nedströms eller direkt till recipienter via bräddningspunkter i ledningssystemet (Kretsloppskontoret, 2010; Svenskt Vatten, 2011).

För att hantera problemen med ökade nederbördsmängder, kortare återkomsttider och översvämningrisker har Göteborgs Stad antagit en vision om att bli världens bästa stad när det regnar (Göteborgs stad, 2021). ”Med *’bästa’* menas att Göteborg är en stad som, ur ett systemperspektiv, är resiliert inför klimatförändringar kopplade till regn och dagvatten. En stad där det finns flera innovativa och kreativa lösningar (...), som manifesterar detta.” (Göteborgs stad, 2021).

I ett regeringsuppdrag gällande dagvatten definierar Naturvårdsverket (2019) dagvattenhantering som hållbar då den uppfyller följande tre faktorer: dagvattnet ska nyttjas som en resurs, dagvattnets föroreningsbelastning på recipienten ska minska och likaså risken för översvämningar. Naturvårdsverket (2022) menar på att hållbar dagvattenhantering bör utföras genom att primärt förebygga ytavrinningen i samhället. Detta kan exempelvis göras genom att minska andelen ickepermeabla ytor för att ge plats åt gröna ytor med syfte att öka infiltrationen och avdunstningen. Sekundärt bör dagvattnet fördröjas så nära källan som möjligt för att minska flödestopparna i ledningsnätet. Att lokalt rena dagvattnet blir alltmer aktuellt och är också en viktig aspekt att ta hänsyn till gällande dagvattenhantering. Metaller så som koppar och zink är exempelvis vanligt förekommande i dagvatten från takavrinning och därmed behövs vattnet renas för att minska den koncentration som når vattendragen (Viklander m. fl., 2019).

I en intervju med Göteborgs Stad (Kretslopp och Vatten) som är ansvariga för Göteborgs dagvattenhantering belystes utmaningen i att implementera god dagvattenhantering i redan bebyggda områden (L. Blom & H. Galfi, intervju, 9 mars, 2022). För att öka markeffektiviteten kan det därmed vara fördelaktigt att skapa multifunktionella ytor.

1.0.1 Chalmers Campus Johanneberg och campusplanen

I centrala Göteborg ligger Chalmers Campus Johanneberg som gränsar mot tät stenstad i norr och mer uppluckrad bebyggelse i söder. Sedan en tid tillbaka har en utmaning varit att förena Chalmers Campus Johanneberg med resten av staden (Akademiska hus, 2019). Chalmers Tekniska Högskola har tillsammans med Chalmers studentkår, Akademiska Hus och Chalmersfastigheter tagit fram en campusplan för åren 2019–2050 med syfte att bygga ett långsiktigt hållbart campus

(Akademiska hus, 2019). Planen innebär bland annat en nära dubbling av byggnadsbeståndet på Campus Johanneberg till år 2050, för att möta framtida behov av utbildnings- och forskningsmiljöer, kontor och studentbostäder. Samtidigt innehåller campusplanen en vision om att skapa ett *“grönt campus som främjar ekologiska värden”* samt en *“attraktiv livsmiljö som bidrar till människors välbefinnande”* (Akademiska hus, 2019).

Visionen i campusplanen korrelerar med en välfungerande och hållbar dagvattenhantering. Att utveckla Chalmers campus dagvattenhantering samtidigt som visionerna om ett socialt och ekologiskt hållbart campus förverkligas kan vara nyckeln till att skapa *‘Världens bästa campus när det regnar’*.

1.1 Syfte

Syftet med detta projekt är att undersöka hur den ökade mängden dagvatten kan hanteras på Chalmers Campus Johanneberg genom platsspecifika lösningsförslag. Lösningarna kommer att utformas för att förbättra dagvattenhanteringen med avseende på dagvattenkvalitet- och kvantitet och samtidigt skapa en attraktiv plats för sociala mötesplatser. Slutmålet är att ge lösningsförslag på hur Campus Johanneberg kan utvecklas för att i kommande tid bli *‘Världens bästa campus när det regnar’*. Frågan undersöks med hjälp av frågeställningarna:

Hur kan dagvatten på Campus Johanneberg hanteras och renas samtidigt som sociala värden skapas för studenter och personal?

Vilka dagvattenlösningar är lämpliga för en campusmiljö?

1.2 Problemformulering

I arbetet undersöks hur ett framtida ökat dagvattenflöde kan hanteras på ett hållbart sätt och samtidigt skapa attraktiva miljöer. De områdena som undersöks är Kopparbunken och Chalmersplatsen som visas i figur 1. Chalmersplatsen bedöms av projektgruppen ha outnyttjad potential för bland annat rekreation och social mötesplatser medan området runt Kopparbunken undersöks då det i dagsläget saknas tillräckliga åtgärder för att rena den höga mängden metallföroreningar som tillkommer dagvattnet (Göteborgs Stad, 2017a).



Figur 1: Karta över Campus Johanneberg som visar var Chalmersplatsen och Kopparbunken är belägna. Foto uppe till vänster: Ebba Amby, Foto nere till vänster: Tim Schüler, Bild till höger: från applikation ”Campus Maps”. Kollage modifierat av Emma Jakobsson.

Fokusområdena är vattenrening, dagvattenflöden och multifunktionella ytor. De delproblem som undersöks för att svara på frågeställningarna är:

- Hur ser områdena ut idag?
- Vilka förbättringsområden finns det på platserna?
- Vad finns det för alternativ till lösningar med avseende på det tekniska, sociala och ekologiska?
- Vilka lösningar är mest lämpliga för respektive plats?
- Utvärdering av lösningsförslag
- Hur kan målen i Campusplanen förverkligas, om ett *“grönt campus som främjar ekologiska värden”* och ett campus med en *“attraktiv livsmiljö som bidrar till människors välbefinnande”*? (Akademiska hus, 2019)?
- Visualisering av lösningsförslag

1.3 Avgränsningar

För att göra arbetet mer fokuserat har det avgränsats till två geografiska områden som bedöms ha förbättringspotential vad gäller dagvattenhanteringen och som samtidigt inte har behandlats av tidigare kandidatarbeten. De områden som behandlas är Chalmersplatsen och Kopparbunken med målet att framställa dagvattenlösningar som utöver sin renande och fördröjande förmåga tillför ett socialt mervärde till campus för studenter och anställda, vilket innebär att öppna dagvattenlösningar föreslås i den utsträckning de fungerar. Ett fokus på specifikt öppna dagvattenlösningar istället för slutna, är även önskvärt då det faller i linje med stadens allmänna strategi vad gäller dagvattenhantering; att i så stor mån som möjligt behandla dagvattnet på plats för att förhindra nedströms överbelastning (Kretsloppskontoret, 2010). Vidare tas inte hänsyn till marknära ledningar och rör som eventuellt kan hamna i konflikt med öppna dagvattenlösningar. Detta eftersom information om ledningars omfattning och placering i många fall saknas eller inte beaktas i andra dokument som berör platsernas framtida användning.

Ekonomiska, geotekniska och akustiska aspekter till dagvattenproblematiken och föreslagna lösningar är i många fall fördelaktiga att ta upp då de berör både genomförlighet och upplevelse av platsen. Dessa behandlas dock ej i större utsträckning för att inte göra ämnesområdet för brett. Detta innebär att förslagets ekonomiska rimlighet kommer övervägas vid beslut i form av underhållskostnad men att inga initiala kostnadsanalyser kommer genomföras. Multifunktionella anläggningar som bidrar med bullerreduktion kan komma att föreslås vid platser där det förekommer mycket trafik, men inga undersökningar eller beräkningar gällande ljudnivåer eller bullerreducerande förmåga kommer utföras inom ramarna för projektet. Gällande geotekniska aspekter förväntas inte föreslagna lösningar innefatta laster som är stora nog för att ge upphov till sättning- eller stabilitetsproblem. Erosion förväntas inte heller vara ett problem då det främst är aktuellt vid större lutningar än vad som förekommer på platserna (Bredelius, 2018).

2 Teori

För att kunna ge förslag på funktionella och realiserbara dagvattenlösningar för Chalmersplatsen och Kopparbunken behöver platsernas nutida behov kartläggas och en konkret bakgrund behöver fastställas, till vad potentiella dagvattenlösningar kan tillföra. Att hämta lärdomar från slutsatserna hos liknande arbeten är även av intresse, då eventuella fallgropar och problem kan undvikas i bästa möjliga mån.

2.1 Områdesbeskrivning

Chalmers Campus Johanneberg är beläget i centrala Göteborg. Den första byggnaden som kom att tillhöra Chalmers Johanneberg uppfördes på 1920-talet och sedan dess har byggnationen expanderats för att möta tillväxten av studenter och annan verksamhet (Akademiska hus, 2019). Byggnader från 1920-talet präglades av funktionalism, där funktionskraven för de enskilda byggnaderna prioriterades framför stadsbilden i sin helhet.

2.1.1 Kopparbunken

Kopparbunken är beläget i Campus Johannebergs sydöstligaste del och har i projektet behandlats som ett område på ungefär 5300 m². Byggnaden har fått sitt namn från koppartaket som omsluter fasaden, se figur 2. Kopparbunken ingår i Göteborgs kommuns bevarandeprogram och är utpekad som en byggnad med kulturhistoriskt värde (Göteborgs Stad, 2020). Därmed får inga direkta förändringar på byggnadens fasad göras. Idag används byggnaden som ett klätterlabb som bedrivs av Fysiken som är ett sport- och motionscenter.



Figur 2: Flygbild över Kopparbunken. Foto: Tim Schüler

Enligt den lokala dagvattenutredningen för Kopparbunken förekommer flertalet föroreningar i det avrunna dagvattnet (Göteborgs Stad, 2017a). De föroreningar som överskrider bestämda gränsvärden kan ses i tabell 1 där ”Ja” representerar de som överskrider.

Tabell 1: Föroreningshalt i förhållande till riktvärden innan rening.

Förorening	P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Hg	SS	Oil	BAP
Överskrider riktvärden	Ja	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Nej

En av de främst förekommande metallföroreningarna för koppartak är just koppar (Milovanović m. fl., 2022). Koppar förekommer främst i löst form i det avrunna dagvattnet och är vid små

mängder ett mikronäringsämne men blir toxiskt vid högre koncentrationer och är särskilt skadligt för vattenlevande organismer som fisk och alger (Flemming och Trevors, 1989). Att dessa kopparföreningar främst förekommer i löst form innebär att dagvattenlösningar som bygger på sedimentation blir ineffektiva för behandling. Med utgång ifrån rapporten av Sörme och Lagerkvist (2002) kan det förväntas en avrinning på 2 gram koppar per kvadratmeter och år vid Kopparbunken. Vidare ger Eniros mätverktyg en uppskattad area på cirka 670 m², vilket innebär att ett kopparflöde på ungefär 1340 g/år kan förväntas.

En lösning som föreslogs i dagvatten-PM om dagvattenrening för Kopparbunken var antingen en regnträdgård eller ett brunnfilter som tillåter partiklar att sedimentera innan vattnet passerar ett filter, vilket är menat att hantera de föroreningar som inte sedimenterar (Göteborgs Stad, 2017a). I dagsläget är fem brunnar utrustade med filter placerade runt byggnaden, varav tre av dessa visas i figur 3. Brunnarna är placerade på olika höjder och jämnt fördelade runt byggnaden, med ett avstånd om två till fem meter från fasad, vilket uppskattades vid platsbesök. Enligt markägarna Akademiska Hus, råder osäkerhet om brunnarnas verkningsgrad då uppföljande utredningar saknas (S. Karlsson, intervju, 18 februari, 2022). Generellt sett har filterbrunnar en reningskapacitet om 50-60 %, men bör kompletteras med andra åtgärder för att inte överskrida gränsvärden (L. Blom & H. Galfi, intervju, 9 mars, 2022).



Figur 3: Brunnar med filter runt Kopparbunken. Foto: Evelina Skantz

Utöver brunnarna utrustade med filter finns dagvattenbrunnar placerade i de lägre punkterna runt byggnaden. I figur 4 syns den lägst belägna brunnen.



Figur 4: Dagvattenbrunn vid Kopparbunken. Foto: Evelina Skantz

I detaljplanen för Gibraltarvallen (2020) föreslås det att Kopparbunken ska omges av en park, benämnd Kopparparken, istället för att som i nuläget avskärmas av en väg. Detta för att göra området mer attraktivt och leda mer uppmärksamhet till byggnaden (Göteborgs stad, 2020). Fortsatt arbete tar hänsyn till förslaget om en park vid Kopparbunken.

2.1.2 Chalmersplatsen

Chalmersplatsen är belägen mellan kårhuset med tillhörande portal samt Chalmershållplatsen som trafikeras av buss och spårvagn. Platsen utgörs till största del av hårdgjorda ytor, varav en andel är genomsläpplig beläggning. Chalmersplatsen bedöms vara ungefär 3400 m² varav 2900 m² är hårdgjord yta. I detaljplanen för Chalmers Tekniska Högskola beskrivs det att Chalmersplatsen ska ha karaktären av ett entrétorg (Göteborgs stad Stadsbyggnadskontoret, 1998). Översiktbilder av platsen visas i figur 5.



Figur 5: Chalmersplatsen. Foto: Evelina Skantz

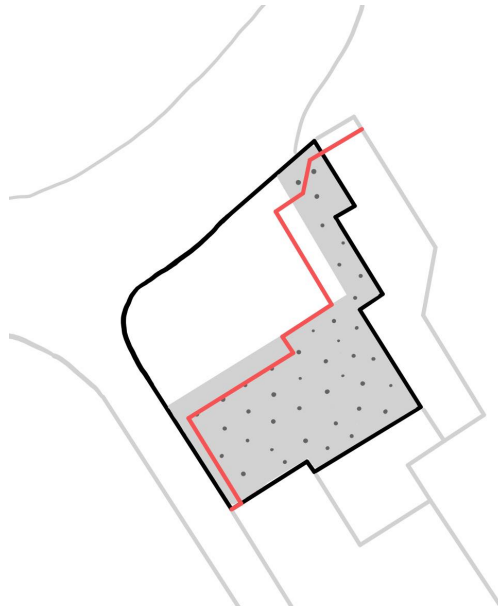
Chalmersplatsen är i nuläget utrustad med sittplatser i form av betongblock och träbänkar runt en upphöjd rabatt, vilka visas i figur 6.



Figur 6: Sittplatser på Chalmersplatsen i form av betongblock och en upphöjd rabatt omringad av sittplatser. Foto: Evelina Skantz

Den delen av platsen belägen närmast kårhuset är prickmark och får därmed enligt planbestämmelserna inte byggas på (Akademiska hus, 2019). Ägandeförhållandet på platsen beskrivs i

Campusplanen (2019). Prickmarken och gångbanan mellan Chalmershållplatsen och Chalmersportalen ägs av Chalmersfastigheter medan resterande yta ägs av Göteborgs Stad, se figur 7.



Figur 7: En ritning av Chalmersplatsen där området som utgör prickmark (ljusgrått område med mörkgrå prickar) och fastighetsgränsen (röd linje) visas. Modifierad av Emma Jakobsson från Detaljplan för Chalmers Tekniska Högskola (Kårhus m.m) och campusplanen (Göteborgs stad Stadsbyggnadskontoret, 1998; Akademiska hus, 2019).

Chalmersplatsen beskrivs som en viktig del i att få campus att bättre samverka med staden genom att bli mer tillgänglig för allmänheten och därtill bland annat öka tryggheten på platsen (Akademiska hus, 2019). Fortsättningsvis nämns en framtida vision om en entrébyggnad på Chalmersplatsen med funktioner för allmänheten som ska göra platsen mer inbjudande. Byggnaden föreslås utrustas med bland annat ett café och besökscenter. Visionen om denna byggnad tas inte hänsyn till i projektet.

2.2 Dagvattenhantering

Traditionellt sett har dagvatten hanterats i slutna system. Fram till 1950-talet dominerade kombinerade avloppssystem i tätbebyggelse, vilket innebär att spill-, dag- och dränvatten leds i en gemensam ledning (Svenskt Vatten, 2016). Under 1950-talet började övergången till duplikatsystemet, där spill- och dagvatten istället avleds i separata ledningar. Utöver de nämnda systemen finns separata system, där spillvatten leds genom ledningar och dagvattnet avleds via ytliga diken, men detta är inte särskilt aktuellt i Göteborg (Kretsloppskontoret, 2010). Vid höga dagvattenflöden riskerar det slutna ledningssystemet att bli överbelastat, vilket kan resultera i översvämningar. Dessa översvämningar kan bli problematiska om de inskränker på tillgänglighet på trafikeradeleder, viktiga anläggningar eller kommer i kontakt med byggnader (Svenskt Vatten, 2016). En annan risk när höga flöden tillkommer i kombinerade ledningar är bräddning, vilket innebär att systemet avlastas via bräddavlopp till antingen recipienter eller andra bräddavlopp. Detta medför att stora volymer orenat vatten riskerar att hamna direkt i recipienter vid större regn, vilket kan ha negativa konsekvenser för lokala akvatiska ekosystem och stränder i närheten av bräddpunkter (Kretsloppskontoret, 2010). Viklander m. fl. (2019) skriver att det framförallt är de små och medelstora regnen som transporterar stora föroreningsmängder men att höga vattenflöden riskerar att föra med sig sedimenterade föroreningar.

Hantering av dagvatten innebär både att klara av att hantera de eventuellt höga flödesvolymerna som förekommer samt att klara av de riktvärden som ställs på olika förekommande föroreningar. Detta innebär att både kvantitativ- och kvalitativ dagvattenhantering krävs.

2.2.1 Dagvattenkvantitet

Då nya dagvattensystem byggs är ett minimikrav att de dimensioneras för regn med återkomsttid om 30 år (Svenskt Vatten, 2016). Detta gäller för markdimensionering i centrumbebyggelse, vilket Campus Johanneberg kan definieras som. Regnintensiteten ökas med en klimatfaktor för att dimensionera för framtida ökade flöden. För varaktighet kortare än en timme ska klimatfaktorn sättas till minst 1,25. För längre varaktighet används klimatfaktor om minst 1,2.

Nederbördens varaktighet varierar mellan tio minuter och två timmar för snabb dagvattenavledning (Svenskt Vatten, 2016). I motsats till detta står trög avledning som innefattar magasinering, vilket inte behandlas i rapporten. Inom arbetet sätts därför varaktigheten till en timme, vilket medför att klimatfaktorn blir 1,25. Med en given återkomsttid och varaktighet på regnet kan regnbelastningen beräknas med hjälp av Dahlströms metod (2010).

2.2.2 Dagvattenkvalitet

Dagvattnets kvalitet varierar och dess innehåll påverkas bland annat av regnintensitet, markanvändning, mänskliga aktiviteter, byggnadsmaterial och årstid (Svenskt Vatten, 2019). Dagvatten kan innehålla föroreningar som tungmetaller, näringsämnen, partiklar, bakterier, organiska föroreningar och salter. Vidare nämner Svenskt Vatten (2019) att forskning under de senaste decennierna har visat att dagvatten både kan vara akut toxiskt och ha långvarig skadlig inverkan på miljön. Dagvatten för ofta med sig föroreningarna till recipienter då det sällan renas innan, vilket kan bli särskilt problematiskt om recipienten används som dricksvattentäkt eller om det förekommer känsliga vattenlevande organismer (Svenskt Vatten, 2019). Idag finns inga nationella riktlinjer för hur dagvatten ska hanteras utan arbetet baseras i stället på kvalitetsmål och riktlinjer för recipienten. De första riktvärdena för rening av dagvatten presenterades år 2008 av Miljöförvaltningen i Göteborgs Stad och har sedan dess reviderats under årens gång. Den version som kommer att beaktas i denna rapport är den så kallade R2020:13 (Landström m. fl., 2020). De riktvärden för kopparhalten i dagvatten som når vattenavledningssystemen eller recipient enligt R2020:13 ligger på 10 µg/l.

Fordonstrafik, industri och metalliska byggnadsmaterial är betydande källor till de tungmetaller som förekommer i dagvattnet (Malmqvist, 1983). Föroreningar från trafik innefattar avgaser, drivmedel, olja, smörjmedel, korroderade fordon, halkbekämpning, slitage av bromsbelägg, däck och vägbeläggningar. I kallare klimat innehåller vägdagvattnet högre halt av vissa föroreningar under vintern än under sommaren (Westerlund, 2007). De vanligaste metallerna i vägdagvatten är kadmium, zink, koppar, bly, nickel och krom medan avrinning från metalliska byggnadsmaterial vanligtvis innehåller en högre koncentration av koppar och zink. Kadmium och bly är direkt giftiga, medan metaller som koppar och zink är essentiella näringsämnen (Svenskt Vatten, 2019). I hög koncentration kan dock dessa essentiella metaller vara skadliga och även i liten mängd vara giftiga för vattenlevande organismer.

I fallet Kopparbunken, se avsnitt 2.1.1, är det främst metalliska föroreningar som bidrar till dagvattenproblematiken och i dagsläget har filterbrunnar implementerats för att hantera detta. Den här typen av filterlösning innefattar rening via infiltration genom ett permeabelt material (Viklander m. fl., 2019). Material som sand och grus är vanligt, men även alternativa filtermaterial som zeolit och torv uppvisar hög förmåga att rena speciellt lösta metallföroreningar via adsorption och kan därmed bli av intresse att utvärdera för det specifika ändamålet (Kalmykova m. fl., 2009; Milovanović m. fl., 2022). Zeolit, vilket är ett material som består av alluminiumsillikater har i fallstudien utförd av Athanasiadis m. fl. (2007) renat 96% av kopparföroreningar under svenska förutsättningar. Dock lyfts den hydrauliska konduktiviteten som ett problem enligt Milovanović m. fl. (2022) och frekvent underhåll kan behövas för att bibehålla en filtrerande förmåga enligt Athanasiadis m. fl. (2007). Ett annat alternativt filtermaterial är torv, vilket precis som zeolit har en

hög renande förmåga för flera av de relevanta föroreningarna som koppar, zink, kadmium, nickel och bly på grund av sin förmåga att adsorbera metaller (Kalmykova m. fl., 2009). Dock har torv som filtermaterial även det problem med låg hydraulisk konduktivitet, en minskad renande förmåga vid exponering av NaCl och även problem med utsläpp av växthusgas vid extraktion (Kalmykova m. fl., 2009; Lindfors och Director, 2006).

En potentiell lösning på problematiken gällande torv som filtermaterial förekommer i form av produkten APTsorb utvecklad av American Peat Technology (2022). Genom en process görs torv från en ojämn produkt med låg genomsläpplighet till ett granulärt medium med en hydraulisk konduktivitet som i studier motsvarar den hos sand, detta med en bibehållen renande förmåga. En högre hydraulisk konduktivitet har många positiva implikationer för torv som filtermaterial. Det innebär att en mindre ytarea krävs för att behandla en given mängd vatten, vilket tillsammans med torvens höga kapacitet att binda metaller innebär att en kompakt filtreringslösning kan rena mycket avrunnet vatten under lång tid. Det medför också att mindre filtermaterial behövs, vilket minskar utsläppen av metan samt risken att metallföroreningarna ackumuleras i betydligt högre koncentrationer. Detta bör i teorin möjliggöra återanvändning av metallerna via extraktion från filtermaterialet. Dock kvarstår i slutändan en del problem; dels renar inte torvfilter varken kvicksilver eller fosfor väl och dels blir fortfarande den renande förmågan negativt påverkad vid förekomsten av NaCl från till exempel vägsaltning.

2.3 Öppna dagvattenlösningar

Den allt mer förtätade staden med stor andel hårdgjorda ytor är en bidragande faktor till den ökade mängden dagvatten (Svenskt Vatten, 2011). Det innebär att tekniken inom samhällsbyggnadssektorn måste utvecklas och förbättras för att på ett hållbart sätt kunna hantera stora mängder dagvatten. I konceptet *'hållbar dagvattenhantering'* ingår dränering, fördröjning och lagring av dagvatten i form av öppna eller slutna dagvattenlösningar (Svenskt Vatten, 2011). Syftet med dessa lösningar är att på bästa sätt efterlikna naturens tillvägagångssätt att ta hand om nederbörd genom infiltration, ytavrinning, perkolation samt fördröjning i dagvattendammar eller magasin.

Dagvattenlösningar syftar till att ta hand om vattnet på olika avstånd och i olika omfattning från tomt till recipient (Svenskt Vatten, 2011). Detta görs genom lokalt omhändertagande, fördröjning nära källan, trög avledning och samlad fördröjning. Det förstnämnda innebär att vattnet omhändertas på privat mark genom exempelvis infiltration, för att jämna ut flödesstopparna till recipienten, minimera risk för problematik nedströms och för att minska miljöpåverkan från spridning av förorenat vatten (Stahre, 2008). Fördröjning nära källan ger möjlighet för perkolation och sedimentering samt en minskad ytavrinning, vilket minskar risken för erosionsrelaterade problem. Samlad fördröjning sker närmast recipienten.

De öppna dagvattenlösningar som berörs i detta kapitel hör till lokalt omhändertagande, fördröjning nära källan och trög avledning (Svenskt Vatten, 2011). De presenteras i tabell 2 tillsammans med dess nivå av omhändertagande.

Tabell 2: Dagvattenlösningar och tillhörande kategori av omhändertagande (Svenskt Vatten, 2011).

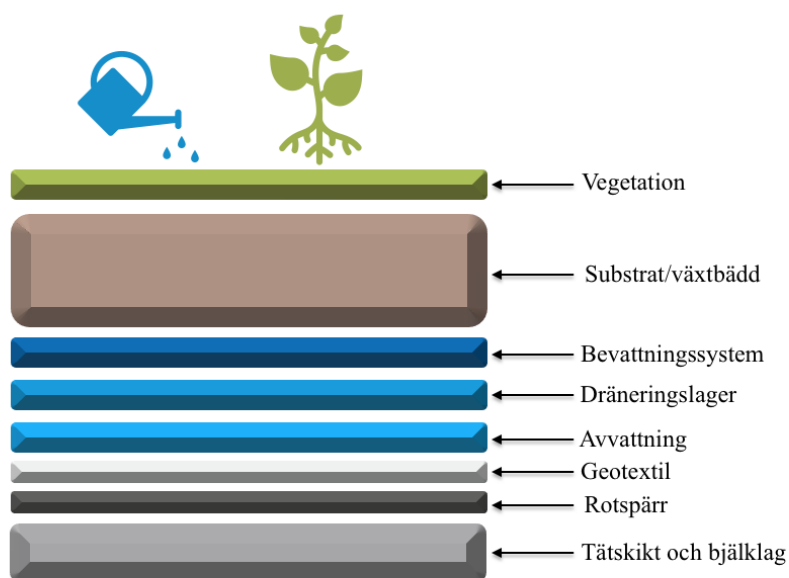
Nivå av omhändertagande	Dagvattenlösning
Lokalt omhändertagande	Gröna väggar och tak Genomsläpplig beläggning Dagvattendamm Regnträdgård
Fördröjning nära källan	Genomsläpplig beläggning Dagvattendamm
Trög avledning	Svackdike

2.3.1 Gröna väggar och tak

Gröna väggar och tak har funnits sedan 1800-talet och har fortsatt en viktig funktion i tätastäder (Welser, 2011). Gröna tak och väggar är användbara medel för att motverka urbaniseringens negativa miljöeffekter och för att öka mängden grönytor i städerna. I tätbebyggda städer är det svårt att göra plats till grönska men genom att använda redan bebyggd yta så som tak och väggar, ökar den ekoeffektiva ytan (den totala gröna ytan på en tomt) som samtidigt gynnar den biologiska mångfalden ovan jord, främst växtätare och pollinatörer (Boverket, 2019c). Gröna tak och väggar kan göra nytta för samhället genom ett ökat välmående associerat med grönska, förmågan att lokalt sänka temperatur och buller samt reduktion av dagvattenmängder (Boverket, 2019c).

Gröna tak

Vegetationstäckta tak delas in i två varianter, extensiva och intensiva (Werthmann, 2007). Termerna är ett underlag för att beskriva nivån av skötseln som krävs för respektive tak. Skillnaden mellan de två är att extensiva är tunnare, kräver mindre underhåll och klarar sig ofta med naturlig nederbörd medan intensiva är djupare och kräver mer underhåll. I Sverige är extensiva gröna tak vanligast (Svenskt Vatten, 2011). Växtbäddens uppbyggnad kan se ut på olika sätt. Figur 8 illustrerar en typisk uppbyggnad av ett grönt tak (Pettersson Skog m. fl., 2021). Vegetationen kan variera mellan olika växttyper beroende på vilket utseende som önskas samt vilken klimatfunktion bädden ska ha. I det här fallet väljs en växt som gynnar dagvattenhantering i tätbebodda städer: blågröna tak. Blågröna tak har framtagits med syfte att även vid kraftigt regn minska mängden avrinning av dagvatten (Pettersson Skog m. fl., 2021).



Figur 8: Systemkomponenter av gröna tak, illustrationsbild modifierad av Ebba Amby från Grönatakhandboken (Pettersson Skog m. fl., 2021).

Den avrinningsvolym som gröna tak kan ta hand om beror på växtbäddens uppbyggnad så som val av vegetation och växtbäddens tjocklek (Palla m. fl., 2011). Tunna tak uppskattas ha kapacitet att minska mängden årsavrinning med 50 % medan djupa kan minska mängden med 75 % (Svenskt Vatten, 2011). Detta bidrar i sin tur till fördröjning. Värt att nämna är att vanliga tak uppskattas minska mängden årsavrinning med 20 %. Däremot kan maximalt 5 mm regn hanteras, medan övrig volym avrinner. En större mängd nederbörd kan fördröjas med ökad tjocklek hos växtbädden och en mindre lutning på taket (Palla m. fl., 2011). Avrinningshastigheten hos flödestopparna kan minskas med 60-80 % då gröna tak används.



Figur 9: Grönt tak illustrerat i Masthugget. Foto: Veg Tech AB.

Gröna väggar

Förr i tiden användes klättrväxter i form av murgröna som bidrog mycket till det estetiska, men idag används en mer väletablerad lösning med så kallade levande väggar (Boverket, 2019c). Det finns flera uttryck för gröna väggar, så som vertikala trädgårdar, växtväggar och levande fasader (Besir och Cuce, 2018). Begreppen har samma betydelse som åsyftar på att hela eller en del av en vägg är klädd i olika former av växtlighet. Däremot finns det flera utformanden av gröna väggar som delas in i kategorierna: hydroponiska system, modulväggar och klättrande växter (Bustami m. fl., 2018). Exempelbild på en grön vägg visas i figur 10.



Figur 10: Pumphuset på Sundstorget, Helsingborg. Foto: Eva Lie (Helsingborgs stad, 2020).

Gröna väggar avlastar dagvattensystemen genom att både vattenflöden och avrinningshastigheten minskar genom infiltration i växtbeläggningen (Yau Seng Mah m. fl., 2018). Den avrinningsvolym som gröna väggar kan ta hand om är något lägre än gröna tak. Väggarna uppskattas kunna fördröja 45-75 % av den totala avrinningsvolymen, jämfört med gröna väggars kapacitet om 50-75 % (Yau Seng Mah m. fl., 2018).

2.3.2 Regnträdgård

En regnträdgård är en planterad nedsänkt bädd bestående av exempelvis permeabla jordar och växter vars främsta syfte är att absorbera och fördröja dagvatten (Dietz och Clausen, 2005). Vanligtvis förväntas en regnträdgård kunna hantera en nederbörd med en återkomsttid på två år (Trafikverket, 2019). Regnträdgårdar besitter inte bara förmågan att hantera flödesmängder, de har även en reningspotential vad gäller flertalet föroreningar (Trafikverket, 2019). Ytterligare

fördel med regnträdgårdar vid användning av gynnsamma plantor är en ökad biodiversitet (Morash m. fl., 2019). För att maximera den kvantitativa- och kvalitativa effekten av en regnträdgård är det vissa faktorer som bör beaktas vid design- och byggnationsfasen. Exempel på sådana faktorer är regnträdgårdens placering, dimensioner, val av vegetation och filtreringsmaterial samt i vilken utsträckning regnträdgården underhålls (Trafikverket, 2019). Underhållskostnaden för en 140 m² stor regnträdgård är ungefär 3400 SEK/år (Svenstrup, 2012). Se figur 11 för ett exempel på hur en regnträdgård kan se ut.



Figur 11: Regnträdgård vid Science Park, Campus Johanneberg. Foto: Emma Turesson

Placering och dimensionering

Bortsett från självklara anledningar så som att regnträdgården inte bör placeras där den inte behövs, bör den inte heller positioneras vid en sluttning på mer än 5 % (Virginia DCR, 2013). Vid dimensionering av storlek bör inte regnträdgården överstiga 5 % av ytarean för den hårdgjorda ytan. Detta för att minimera risken att vegetationen uttorkas (Trafikverket, 2019). Av samma anledning rekommenderas det att en regnträdgård ska dimensioneras för att kunna hantera runt 75–95 % av den årliga nederbörden, vilket motsvarar ungefär 15 l/s·ha (Trafikverket, 2019). Vidare görs fördelaktigt den ena sidan dubbelt så lång som den andra. Vad detta innebär för regnträdgårdens- och vardera lagers djup beror på val av jordtyp och vegetation (Trafikverket, 2019).

Val av material och vegetation

För att infiltrationen i en regnträdgård ska fungera optimalt även under kalla månader rekommenderas en något högre fraktion av grövre material än normalt (Trafikverket, 2019). I ett nordiskt klimat påträffas även en högre andel salt i vattnet från ytavrinning under vinterhalvåret, vilket innebär att den vegetation som planteras behöver ha en bra tolerans mot höga saltkoncentrationer. Enligt Trafikverket (2019) påträffas sådana plantor i nära omgivning till havet. Ytterligare fördel med denna typ av vegetation är att de vanligtvis tål stora vattenmängder.

Växter som tål de rådande förutsättningarna och som därmed är lämpliga att plantera i en regnträdgård är exempelvis Knapptåg, Rörflen och Hirstarr (Søberg m. fl., 2014). Samtliga tål variationer i vattentillgång, hög salthalt och de har visat sig ha ett bra upptag av oorganiska föroreningar. Val av vegetation bör även göras med hänsyn till den lokala tillgången då tidigare okända plantor för ett specifikt område riskerar att rubba ekosystemet (Trafikverket, 2019). Användandet av robusta arter rekommenderas för en regnträdgård då detta kan förbättra dess effektivitet, gynna biodiversitet och stärka ekosystemet (Morash m. fl., 2019).

Kvalitativ hantering

Val av filtermaterial och plantor har stor påverkan på vad det huvudsakliga syftet med regn-

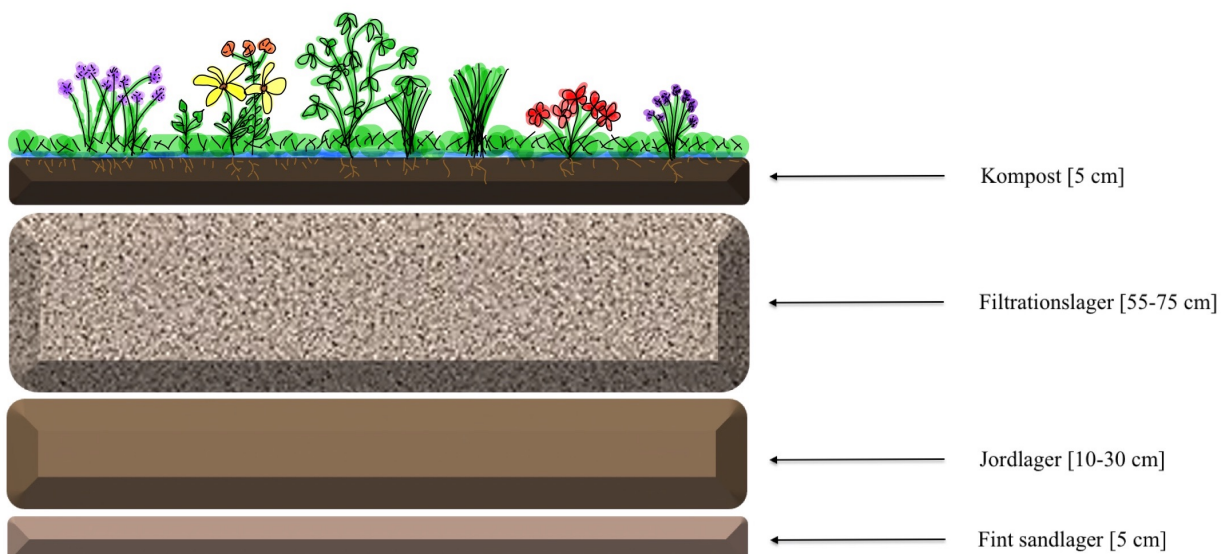
trädgården är, alltså om ändamålet är att rena dagvattnet eller att kvantitativt lagra eller fördröja det (Trafikverket, 2019). Regnträdgårdens stora potential ligger i det förstnämnda där en långsam infiltrationsprocess är gynnsam. Detta uppnås genom att välja ett fint filtermaterial med en infiltrationshastighet mellan 50 – 300 mm/timme. Vissa metaller som koppar och zink är nödvändiga mikronäringsämnen för plantor och kan till och med hjälpa deras tillväxt vid rätt halter, men allt för stora metallaster kan leda till toxiska miljöer även för plantor (Kumar m. fl., 2021).

Vidare presenteras ett typexempel på en regnträdgårds reningseffektivitet av föroreningar i tabell 3. Dessa siffror kommer ifrån Prince George's County i manualen "Bioretention manual" från 2007, som sammanfattades av Svenstrup (2012):

Tabell 3: Generell reningseffektivitet i % av en typad regnträdgård.

	Fosfor	Kväve	Koppar	Zink	Bly	TSS	O/F	Bakterier
Regnträdgård	35-65	33-66	36-93	31-99	24-99	97	99	70

Som kan avläsas i tabell 3 existerar en stor variation i en regnträdgårds förmåga att rena vattnet från föroreningar. Dessa variationer beror bland annat på geologiska och topologiska förhållanden, storlek och djup samt val av vegetation och plantor. För att statuera ett exempel har en rekommendationsdesign för en regnträdgård framtagits utifrån laborativa resultat i en rapport av Hsieh och Davis (2005). För ett kombinerat filtrerings- och vegetationslager rekommenderas följande djup för vardera lager, se figur 12:



Figur 12: Rekommenderad lagerföljd till en regnträdgård. Illustrerad av Ebba Amby.

Kvantitativ hantering

Om regnträdgården utformas för att främst hantera flödesmängder rekommenderas användandet av ett grövre filtreringsmaterial med en infiltrationshastighet på minst 300 mm/timme (Trafikverket, 2019). Denna rekommendation gäller främst för kallare klimat. Andelen finkornig jord bör användas varsamt då ler och silt tenderar att reducera infiltrationen. I en studie av Statens vegvesen (2017) visade det sig att kombinationen av tallbark och pulveriserad olivin för filtermaterial besatt stor potential för det kvantitativa vattenupptaget.

Då en regnträdgård inte alltid kan hantera all den vattenmängd som infiltreras, kopplas vanligtvis ett dräneringsrör på vid det djupaste lagret (Trafikverket, 2019). I ett kallare klimat löper dessa däremot större risk för frysning. Dräneringsröret kopplas vidare till dagvattenledningar.

2.3.3 Dagvattendamm

En dagvattendamm är enligt Göteborgs Stads definition (2017b) en konstgjord vattensamling med en fördröjande effekt som syftar att hantera vardagsregn och skyfall. Dammens funktion är att fungera som en flödesutjämnare samtidigt som vattnet renas genom sedimentation av partiklar och reduktion av närsalter (Persson, 1999). De komponenter som förekommer i en våt dagvattendamm är inlopp, utlopp, en permanent vattenvolym och en lagringsvolym för sediment (Blecken m. fl., 2017). För en torr dagvattendamm, även kallat överdämningsyta, saknas emellertid vattenvolymen.

Dagvattendammar är utrymmeskrävande dagvattenlösningar då deras magasinkapacitet och area är faktorer som påverkar flödesutjämnningen och reningskapaciteten. Pettersson m. fl. (1999) skriver att kvoten mellan arean på dammen och den hårdgjorda avrinningsytan är en god indikator på dess förmåga att avlägsna föroreningar. Vidare presenteras att en kvot mellan 150 och 250 m²/ha (motsvarande 1,5 till 2,5%) är att eftersträva. Även dammens geometriska utformning är av betydelse för dess förmåga att rena vattnet (Persson, 1999). Långsmala dammar har högre hydraulisk effektivitet och den förlängda uppehållstiden i dammen främjar partikelsedimenteringen. Center for Watershed Collection (2003) visar att den genomsnittliga reningseffektiviteten för en våt dagvattendamm är 46 % och motsvarande siffra för en torr dagvattendamm är 10 %. Den genomsnittliga reningseffekten för koppar är 57 % för en våt damm respektive 29 % för en torr damm.



Figur 13: Till vänster visas en våt dagvattendamm och till höger visas en torr dagvattendamm/överdämningsyta i ett bostadsområde. Foto: WRS AB.

En damm kan utformas utav såväl hårda som mjuka material och är en dagvattenlösning med stor potential att främja den biologiska mångfalden (Göteborgs Stad, 2017b). Med tiden får dammar vegetationstillväxt vilket främjar anläggningens förmåga att avskilja föroreningar (Persson och Pettersson, 2006).

Då självtillrinning till dagvattendammen är önskvärt anläggs dammar fördelaktigt i topografiskt låga partier (Persson, 1999). Dimensioneringen av denna dagvattenlösning är därför begränsat av läget och är dessutom utrymmeskrävande för att uppnå dess optimala funktion, vilket utgör ett hinder för anläggningen av dagvattendammar i tätbebyggda städer. Dessutom kan dammar utgöra hinder gällande framkomlighet, vilket även behöver tas hänsyn till vid dimensionering. Vidare kräver dammar underhåll, för att bland annat ta hand om bottensediment och slamsugning, men i det stora hela är lösningen billig i förhållande till nyttan (Göteborgs Stad, 2017b).

2.3.4 Svackdike

Ett svackdike är en typ av dagvattenanläggning vars huvudsakliga syfte är att fördröja och avleda dagvatten vid förhållandevis grunda djup och lätta lutningar (Blecken, 2016). Det är bland de mest

enkla och grundläggande dagvattenanläggningar. Det som skiljer ett svackdike från ett vanligt dike är själva utformningen. Ett vanligt dike har i regel mer branta släntlutningar och mindre tvärsnittsytta som gör att vattnet får en högre hastighet än vad det får i ett svackdike. Den låga hastighet som ett svackdike möjliggör resulterar i en högre grad av partikelsedimentering i vattnet. Rening kan även ske genom infiltration om flödet är lågt (Larm och Blecken, 2019). Både svackdiken och vanliga diken är vanligtvis beklädda med vegetation vilket tillsammans med lutningen skapar en så kallad översilningsyta där partiklar kan filtreras bort förutsatt att vattnet rinner ner längs sluttningen. Se figur 14 för exempel på hur ett svackdike kan se ut.



Figur 14: Svackdike, Planted brick swale Balfour street pocket park, av Didiunsw, 2015, CC BY-SA 4.0

Vanligtvis är svackdiken belagda intill vägar, gator och stråk (Blecken, 2016). Det krävs också att det är en nedsänkt kant mellan vägytan och diket för att vattnet ska ha möjlighet att flöda fritt från vägen och motverka risken att vattnet dämmer upp vid vägytan. Brunnar behövs även i svackdiken för att kunna avleda vattnet. Även dräneringsrör under svackdiket kan behövas beroende på jordförhållanden. Svackdikets magasineringsförmåga kan förbättras genom att förhöja utloppet cirka 50 - 100 mm, vilket ger en förbättrad retention som också kan leda till gynnsammare sedimentation. Dock undviks gärna att vattnet hålls stillastående för länge och därmed måste jorden alltså tillåta en tillräckligt bra infiltration.

Reningseffekt och utformning

Ett svackdike kan delvis rena vattnet men kräver kompletterande åtgärder för att kunna uppnå god vattenkvalitet. Det råder delade meningar om svackdikens reningsförmåga. Enligt Bäckström m.fl. (2006) kan ungefär 20 % av metallföroreningar avlägsnas. Stagge m.fl (2012) rapporterade att svackdiken påvisade en väldigt effektiv rening av bly, koppar, zink och kadmium. Detta vid en undersökning där flertal svackdikens reningsförmåga utvärderades under 45 olika väderförhållanden.

Svackdikets utformning har en betydande påverkan på reningseffekten. Shaw Yu m.fl. (2001) påpekar att det inte bara är svackdikets längd som påverkar reningseffektiviteten, utan även dess lutning i längsled. En brantare lutning bidrog till försämrade rening och en lutning på över 3 % är inte önskvärd för ett svackdike. Typen av växtlighet har också visat sig ha en påverkan på reningskapaciteten. Winston m.fl. (2012) observerade att svackdiken med våtmarksväxtlighet, visade på en signifikant förbättring på rening av näringsämnen av typen kväveföreningar, jämfört med svackdiken med mer traditionell växtlighet som exempelvis gräs.

2.3.5 Genomsläpplig beläggning

Genomsläpplig beläggning (alt. dränerande hårdgjord yta) är ett paraplybegrepp som beskriver olika typer av högpermeabla ytor som tillsammans med ett makadamfyllt magasin ger höga nivåer

av rening och som kan användas som alternativ eller tillägg till utbredda, hårdgjorda ytor (Fridell m. fl., 2019). Det finns flera olika varianter av genomsläppliga ytor som kan väljas utifrån ytans trafik samt dess infiltrationsbehov; högre belastningar medför mer komplexa, djupgående lösningar med till exempel bärlager för fordonstrafik eller djupare porösa fyllningar i kombination med brunnar för större vattenvolymer. Se figur 15 för gräsarmerad betong, vilket är en vanligt förekommande typ av genomsläpplig beläggning med gräs (Viklander m. fl.).



Figur 15: Genomsläpplig beläggning utanför Science Park mot Sven Hultins gata. Foto: Emma Turesson

En genomsläpplig beläggning är ett bra alternativ eller tillägg till en uniform hårdgjord yta som en parkering, gång eller cykelväg (Viklander m. fl., 2019). Denna typ av beläggning bidrar med flödesutjämning samt rening och är en rumseffektiv dagvattenlösning då den i stora drag uppfyller samma funktion som en ordinär hårdgjord yta, men samtidigt skapar möjlighet för både växtlighet och för magasinering utöver sin filtrerande förmåga. Dock passar inte beläggningen fullt så väl på lutande eller högbelastade ytor då detta begränsar dess effekt. Även underhållskostnader kan bli problematiskt höga då regelbunden skötsel krävs för att bibehålla beläggningens infiltrerande förmåga.

Den renande förmågan hos en genomsläpplig beläggning är hög då vattnet infiltrerar ytan, med studier som påvisar att den kan variera mellan 60-90% beroende på fall (Viklander m. fl., 2019). Denna renande förmågan innefattar inte bara suspenderade partiklar utan har även observerats påverka halter av näringsämnen, bakterier och metaller (Drake m. fl., 2014). Skillnader i renande förmåga beror på valet av permeabelt material; grövre material är mer genomsläpplig och har därför högre kapacitet för infiltration men med mindre renande förmåga än ett finare material, som har större möjligheter för adsorption (Mikkelsen m. fl., 1997). En nackdel med genomsläpplig beläggning ur ett föroreningsperspektiv är att de förlorar sin kapacitet över tid när föroreningar ackumuleras i materialet (Blecken, 2016). Denna ackumulation som sker främst överst i materialet behöver då hanteras, vilket innebär utökade underhållskostnader. Ytterligare en svaghet med genomsläpplig beläggning som involverar finare material är dess känslighet mot tjäle och saltning (Fach och Dierkes, 2011). Båda dessa leder till en drastiskt reducerad renande förmåga vilket innebär att anläggningen blir sämre anpassad till kallare klimat som t.ex. Sverige under vintern.

Av det totala flödet bedöms 30-40 % av den annars avrunna mängd dagvatten tas om hand av den genomsläppliga beläggningen (Svenskt Vatten, 2011). Detta tills ytan är mättad på vatten, då all nederbörd istället avrinner.

2.4 Sociala och ekologiska värden

En del i att skapa det bästa campuset när det regnar berör förbättrandet av de allmänna utrymmena som delas av alla verksamma i området. Utöver hantering och rening av dagvatten är därför de sociala och ekologiska aspekterna väsentliga vid utformandet av en campusmiljö som människor

ska vilja vistas i, oavsett väder. I detta avsnitt utreds ekologiska och sociala värden, hur de skapas och vilken funktion de fyller för människorna på campus.

2.4.1 Offentliga rum på campus

Offentliga rum i stadsmiljöer så som parker, torg och gångbanor är utrymmen som är till för allmänheten att nyttja (Mumcu och Yilmaz, 2016a). Platserna i de offentliga rummen är viktiga för människor för funktionen de tillhandahåller; de förser människor med en plats att mötas på, inbjuder till sociala aktiviteter och erbjuder en plats att vila på (Mehta, 2014).

De offentliga utrymmena på campus fyller samma syfte som de i stadsmiljö (Hanan, 2013). Utformningen av den fysiska miljön på campus är viktig eftersom det påverkar campuslivet för studenter och hur möten studenter emellan äger rum (Hanan, 2013). Författaren menar att de ska fungera som platser avskilda från där studier normalt sker, där möten kan äga rum på neutral mark under mer avslappnade förhållanden. Mötena som kan ske mellan obekanta och vänner inger en känsla av gemenskap mellan människorna på campus.

Några av kriterierna som formuleras av Hanan (2013) angående offentliga utrymmen på campus är att de ska vara tillgängliga för alla, utformade för att stödja olika typer av aktiviteter samt vara estetiskt tilltalande så att människor dras dit.

2.4.2 Väderskydd

Enligt Mehta (2014) påverkar användandet av offentliga rum av dess förmåga att ge skydd från olika väderförhållanden som sol, vind och regn. Platser som släpper igenom solljus och tillhandahåller skydd från vind och regn är enligt författaren attraktiva att använda för sociala aktiviteter. Whyte (1980) menar på att valmöjligheter är viktiga, att kunna välja att sitta i solen eller ta skydd från den samt att sitta bland folk eller mer avskilt. Andra faktorer som rör hur behaglig platsen uppfattas är enligt Mehta (2014) bland annat de ljud, dofter och ljus som kan uppfattas på platsen. Människor föredrar platser som ger viss stimuli med avseende på bland annat ljud, utan att det övergår till buller (Mehta, 2014).

För att förlänga de årstider då det är behagligt att vistas ute, särskilt på regniga platser, ser Whyte (1980) att det är det går att skapa platser som är ett mellanting mellan utomhus och inomhus. Detta genom glastak eller paviljonger som erbjuder skydd mot regnet.

2.4.3 Sittplatsernas roll

En betydande del i hur en plats används är kopplat till förekomsten av sittplatser (Mehta, 2014). Whyte (1980) menar fortsatt att sittplatser förhöjer kvaliteten hos en mötesplats och är den faktor som får människor att dra sig till platsen och stanna där. Något som påverkar den upplevda komforten hos en sittplats är dess utformning. Sittplatser som stödjer kroppens ergonomi upplevs som attraktiva och utnyttjas i högre grad (Mehta, 2014). En plats att sitta på med ryggstöd som stödjer kroppens former anses viktigt och en fördel är om armstöd finns (Whyte, 1980).

2.4.4 Integrerad grönska

Inslag av naturliga miljöer på bebyggda platser har många fördelar både gällande sociala och ekologiska aspekter (Mumcu och Yilmaz, 2016b). Till de sociala hör hur grönska förändrar känslan kring en plats och påverkar människors hälsa. Växter och grönska tillsätter färg och textur och gör platserna mer attraktiva att vistas på. Enligt författarna påverkar naturliga miljöer med inslag av vatten och växtlighet livskvaliteten för människor i stadsmiljöer och gör bebyggda platser mer beboeliga. Växtligheten blir ett sätt för människor att komma närmare naturen och det har även visats påverka den mentala hälsan; att vara kring grönska ger människor en känsla av lugn.

Meenar m. fl. (2022) påpekar att växtlighet påverkar den fysiska hälsan. Enligt författarna leder integration av växtlighet i den byggda miljön bland annat till stressreduktion, muskelavslappning samt även sänkt blodtryck. Utöver hälsofördelar har det visat sig vara fördelaktigt för bland annat kreativiteten och produktiviteten att vistas i miljöer med integrerad grönska.

Enligt Mumcu och Yilmaz (2016b) är växtlighet viktig för den ekologiska hållbarheten eftersom växter erbjuder ekosystemtjänster och bidrar till den biologiska mångfalden. Även mindre grönytor kan hjälpa till att upprätthålla ekologiska nätverk (Niemi m. fl., 2010). Därmed bibehålls biologisk mångfald och relaterade ekosystemtjänster i en stadsmiljö. Andra funktioner som grönska tillhandahåller är att de kan verka ljudreducerande, reglera temperaturen och rena luften från föroreningar (Mumcu och Yilmaz, 2016b).

Öppen dagvattenhantering pekas ut som en effektiv lösning att både få in grönskan i den byggda miljön och samtidigt ta till vara på fördelarna så som hantering av vattenmängder och ekosystemtjänster (Meenar m. fl., 2022).

2.5 Multifunktionella ytor

Ett sätt att få in sociala och ekologiska värden i dagvattenhanteringen är genom multifunktionella ytor. Enligt Boverket (2010) klassas en yta som mångfunktionell om den uppfyller några av följande kriterier: att ytan bidrar med dagvattenhantering och temperaturreglering, ger UV-skydd, fungerar som en social mötesplats samt ger ett rekreationellt värde och slutligen, att ytan fördelaktigt påverkar den biologiska mångfalden. En multifunktionell yta som gynnar dagvattenhantering kan exempelvis vara en park med vegetation och vattendrag eller en aktivitetsyta som vid skyfall kan vattenfyllas, samtidigt som ytan bidrar med ett rekreationellt värde.

2.6 Liknande projekt

Ett tidigare kandidatarbete som studerats är *"Världens bästa campus när det regnar"* med liknande syfte som detta projekt (Djerf m. fl., 2021). Kandidatarbetet studerades dels för att få inspiration till genomförandet av projektet men även för att identifiera eventuella fallgropar för att kunna undvika dessa. Det gjordes även för att kunna välja områden på campus att fokusera på som inte berörts av tidigare kandidatarbeten. I arbetet utformades dagvattenlösningar på Chalmers campus med fokus på vattenkvantitet och sociala mötesplatser. Djerf m. fl. (2021) nämner att fokus på dagvattenrening hade varit önskvärt, men att det inte studerades i projektet. Författarna identifierade även att det hade varit fördelaktigt att inkludera sakkunniga personer i ett tidigt skede, vilket är något som projektgruppen tagit till sig.

Ett annat projekt med liknande natur är en fallstudie på Gdansk Tekniska Universitets campus som syftar till att undersöka lösningar för att ta hand om dagvatten och samtidigt inkludera aspekter inom arkitektur och miljö samt sociala aspekter. Gdansk och Göteborg har liknande klimat då båda är kuststäder. Studien undersöker tre förslag för hållbar dagvattenhantering där olika nivåer av grön infrastruktur integreras på campus genom blågrå, blågrågröna och blågröna stråk, varav blågröna stråk innehåller störst andel grön infrastruktur (Wojciechowska m. fl., 2021). Verksamma på campus involveras med hjälp av en enkät inför utformandet av förslagen som sedan bedöms utifrån uppsatta kriterier, bland annat underhåll, vattenrening och estetik. Fallstudien betonar svårigheten med att hitta det bästa lösningsförslaget då flera av de uppsatta kriterierna hamnar i konflikt med varandra och studien rekommenderar multikriterieanalys för att jämföra och vidare rangordna lösningarna (Wojciechowska m. fl., 2021). Resultatet visade att integrerad blågrön infrastruktur reducerade vattenflödet mest och uppfyllde flest kriterier.

3 Metod

De metoder som användes för att svara på respektive delproblem samt motivering till metodval presenteras i tabell 4.

Tabell 4: Metod för respektive delmål samt motivering till metodval.

Delmål	Metod	Motivering
Områdesbeskrivning	Platsbesök och litteraturstudie.	En beskrivning av campus som redogör hur området ser ut. I detta inkluderades aktuella dagvattenlösningar och befintliga mötesplatser.
Förbättringsområden	SCALGO, platsbesök och enkät.	Identifiering av var det finns störst behov av dagvattenhantering och förbättring av sociala mötesplatser samt grönområden.
Lösningförslag	Enkät, SCALGO, intervju och litteraturstudie.	Med denna fråga utreddes vilka åtgärder som finns för att genomföra olika förbättringar och om det fanns möjlighet att skapa multifunktionella ytor.
Lämplighet	Multikriterieanalys	Frågan undersökte vilka lösningförslag som bäst lämpas för respektive förbättringsområde.
Utvärdering	Rationella metoden	Undersöker lösningförslagets kapacitet att hantera flödestoppar hos dagvattnet.
Chalmers campusmål	Litteraturstudie och intervju.	Här aktualiserades de visioner som finns för campus som kunde förverkligas med hjälp av projektet; <i>‘attraktiv livsmiljö som bidrar till människors välbefinnande’</i> samt <i>‘grönt campus som främjar ekologiska värden’</i> (Akademiska hus, 2019)
Visualisering	Autodesk Revit.	Visualisering av de lösningar vi fann mest lämpliga för respektive förbättringsområde med hjälp av programvara.

3.1 Platsbesök

Chalmersplatsen och Kopparbunken besöktes av projektgruppen med syfte att undersöka platsernas befintliga dagvattenhantering, markunderlag och tillgång till sittplatser. Utifrån platsinventeringen kunde befintlig yta utvärderas för att utforma enkätfrågor med hänsyn utvecklingspotentialen hos respektive plats. Vidare gav besöken även en uppfattning om platsernas topografi. Platserna fotograferades för att användas som underlag till rapporten.

3.2 Litteraturstudie

För att kunna göra välgrundade val angående ämnet dagvattenhantering har en litteraturstudie inom ämnet genomförts. Vetenskapliga rapporter söktes efter via sökmotorn Google Scholar och databasen Scopus. Material från SMHI, Göteborgs Stad, Svenskt Vatten, Naturvårdsverket samt andra organisationer verksamma inom dagvattenhantering användes för att hämta relevant information.

Som stöd till utformningen av dagvattenlösningar granskades planer och utredningar för området kring campus. Bland dessa ingick detaljplanen för Gibraltarvallen med tillhörande dagvattenutredningar, Chalmers campusplan, Göteborgs reningskrav för dagvatten, P110, P105 med flera. Detta för att kunna utforma dagvattenlösningar som skulle kunna implementeras eller vara till stöd för framtida planer för området.

3.3 Enkätundersökning

Syftet med enkäten var att undersöka vilka förbättringsområden som studenter och anställda som vistas på campus anses finnas och vilka lösningar som kan skapa värde eller vara tilltalande på grund av sin estetik eller funktion. Enkäten inleddes med frågor om sysselsättning och vilka områden respondenten vistas mest på. Vidare ställdes frågor om den generella upplevelsen av campus vid regn och om det upplevda utbudet av sociala mötesplatser utomhus. Även frågor om rörelsemönster vid regn och regnuppehåll ställdes för att få en uppfattning om hur vädret påverkar aktiviteten på campus. Respondenterna fick även välja mellan olika lösningsförslag som presenterats med bilder, där de förväntades bidra med åsikter om vad som bäst skulle passa på campus. Gällande frågor om lösningar var syftet att respondenter skulle ge en inblick i vad som är mest estetiskt och/eller funktionellt tilltalande, där den tekniska aspekten om lösningars lämplighet inte berördes. Enkäten valdes att publiceras på engelska och skapades i Google Forms med anledning att nå ut till både studenter och utbytesstudenter på campus. För ytterligare tillgänglighet inleddes även enkäten med en begreppslista. Den tillgängliggjordes via en QR-kod uppsatta i lokaler jämnt fördelade på campus samt via länk i grupper på Facebook som riktar sig till Chalmers studenter. Då inga personuppgifter insamlades i samband med enkätundersökningen behövdes inget särskilt godkännande enligt Integritetsskyddsmyndigheten (2021).

Respondenterna till enkäten har förblivit anonyma, där ålder, kön och etnicitet inte berörts. Detta beror dels på att gruppen inte ansett informationen relevant för ämnet, då varken ålder, kön eller etnicitet ansett påverka respondentens svar samt gruppmedlemmarnas tolkning av resultatet. Ett sådant upplägg ökar också anonymiteten och minimerar risken för att gruppmedlemmar deduktivt kan ta reda på respondentens identitet.

En enkät är ett verktyg för att bland annat mäta åsikter och beteende (Sue och Ritter, 2007). Den typ av enkätundersökning som genomfördes var en utforskande undersökning, som syftar till att utforma koncept och problem för en särskild del av en population (Sue och Ritter, 2011). Den population som skulle nås med enkäten var personer som dagligdags eller ofta rör sig på Campus Johanneberg och som på grund av sina erfarenheter av området kunde bidra till att beskriva förbättringsområden och eftersökta tillskott i campusmiljön. I utformandet av en digital enkätundersökning är ett första steg att definiera dess mål och tilltänkta respondenter (Sue och Ritter, 2011). I ett andra steg bör konsultation med sakkunniga samt en litteraturstudie genomföras för att få ett underlag till enkätfrågorna. I detta steg intervjuades personer med kunskap om dagvattenhanteringen på campus och områdesbeskrivningar i form av detaljplaner samt Chalmers Campusplan användes som underlag. I efterföljande steg utformades enkäten för att sedan publiceras och analyseras.

En digital enkät ansågs passande för rapportens syfte eftersom det ligger i linje med vad författarna menar är lämpligt för undersökningens syfte och omfattning (Sue och Ritter, 2007). Detta eftersom att så många svar som möjligt inom det demografiska området eftersträvades, att enkäten bara var tillgänglig under en kort period och att frågekonstruktörerna inte insamlat varken personlig eller känslig information hos respondenter. Dessutom bedömdes en absolut majoritet av respondenterna ha den nödvändiga tekniken för att svara på enkäten, vilket innebär tillgång till internet och möjlighet att scanna en QR-kod eller tillgång till Facebook där enkäten även publicerades. Enligt Sue och Ritter (2011) har digitala enkätundersökningar medfödd partiskhet på grund av dess otillgänglighet för en befolkning över 65 år och för personer som inte är vana med formatet. Ett visst bortfall kan ha skett på grund av att viss teknisk kunskap krävdes för att svara på enkäten, men bortfallet förväntades vara mycket litet.

Enligt Sue och Ritter (2007) är svarsfrekvensen för digitala enkäter runt 30 % och svarstiden varierar mellan ca 2-12 dagar. För att uppnå maximal svarstid gjordes enkäten därför tillgänglig under två veckor. Enligt Chalmers (2021) uppgår antal studenter på Campus Johanneberg till ungefär 8500.

Eftersom enkäten inte skickades ut till varje student på campus förväntades en avsevärt lägre svarsfrekvens än 30 %.

Fördelar med digitala enkäter är att de tillåter respondenten att svara när de vill, i sin egen takt och utan påverkan från frågekonstruktör (Sue och Ritter, 2007). Själva formatet gör att enkäterna är gratis, snabba och bra för öppna svar (Sue och Ritter, 2007). Två betydande nackdelar som författarna identifierar med digitala undersökningar berör bortfallsfel och urvalsfel. Bortfallsfel innebär att för få svarar så att urvalsgruppen inte blir representativ för undersökningen och urvalsfel uppstår då det inte finns någon möjlighet att kontrollera vem som har svarat på enkäten (Sue och Ritter, 2007). Dessa nackdelar försvårade hur enkäten gjordes tillgänglig, eftersom så många svar som möjligt önskades men endast från personer inom målgruppen. För att minimera risken för att människor som inte är verksamma på campus besvarade enkäten, gjordes denna tillgänglig i lokalerna på campus där endast verksamma antogs befinna sig. Enkäten publicerades även på Facebook i grupper där studenter från samtliga sektioner är aktiva. En åtgärd som vidtogs för att motverka bortfallsfel var att enkäten skrevs på engelska.

En annan nackdel berör respondenternas vilja att vara till lags gentemot frågekonstruktörerna och därför svarar på frågor som de egentligen inte har en åsikt om (Sue och Ritter, 2007). För att kringgå problemet gjordes endast tre frågor gällande sysselsättning, rörelsemönster, och generell åsikt om campus obligatoriska och svarsalternativet *“ingen åsikt”* tillämpades på vissa delar i enkäten. Enligt Sue och Ritter (2007) kan frågor med öppna svar med fördel användas i digitala enkäter då det är stor chans att de svaras på och att informationen som ges i den öppna frågan kan tillföra mångsidighet i svaren och tillhandahålla alternativ som missas vid slutna frågor. Alternativ om hur hur campus upplevs kompletterades därför med öppna svar. De frågor med öppna svar som fick irrelevanta eller oseriösa svar bortsågs ifrån.

3.4 Intervju

Intervjuer utfördes i ett tidigt skede med sakkunniga inom relevanta områden från Chalmers fastigheter, Akademiska Hus, Göteborgs Stad (Kretslopp och Vatten) och Rain Gothenburg. Syftet med intervjuerna var att få en bild av hur dagvatten hanteras i Göteborg och på campus samt få en bredare förståelse för de platser som pekats ut som förbättringsområden, vad som hittills har gjorts och vad som kan förbättras. Intervjuobjekten besitter en djupare kunskap inom sina respektive områden som bedömdes som nyttig att ta del av i det fortsatta arbete med platsernas dagvattenhantering. Intervjuerna förväntades ge tillgång till information och litteratur som annars inte hade erhållits samt att inspirera i det fortsatta arbetet.

En kvalitativ undersökning i form av en intervju syftar till att generera information om ett visst ämne (Roulston, 2010). De ämnen som berördes i intervjun var olika beroende på intervjuobjekt, men strukturen var densamma. Intervjuerna var av semistrukturerad natur med öppna frågor. Semistrukturerade intervjuer har en viss struktur gällande ämnet som ska beröras och får sin riktning med hjälp av följdfrågor (Roulston, 2010). Öppna frågor användes för att ge respondenten utrymme att utveckla sina svar och resonemang (Roulston, 2010). I projektets tidiga skede eftersöktes information om de aktuella platserna och dess dagvattenhantering, varför öppna frågor var passande för att få mer djupgående information.

De personer som valdes ut för intervju har alla kunskap inom olika områden på Campus Johanneberg eller dagvattenhantering i stort. Fastighetsägarna för områdena är Göteborgs Stad, Chalmersfastigheter samt Akademiska Hus som därför kontaktades för att få en bättre insyn i områdena, fastighetsfördelning och ansvar samt framtidsplaner för platserna.

Intervjun med Chalmersfastigheter syftade till att få en inblick i deras verksamhet, vilken roll campusplanen har och att få mer kunskap gällande framför allt Chalmersplatsen. Intervjun med Akademiska Hus hade ett liknande syfte. De är förvaltare av Kopparbunken och intervjufrågorna

berörde just det området, hur dagvattenhanteringen ser ut i dagsläget och hur den kommer att ändras i och med campusplanen. Frågor om Kopparbunken ställdes specifikt med avseende på föroreningar kopplade till byggnadens fasad. Intervjun med Göteborgs Stad (Kretslopp och Vatten) syftade till att vara mer djupgående inom de tekniska aspekterna kring dagvattenhantering. Den var även tänkt att klargöra vilka funktionskrav Göteborgs Stad har på dagvattenanläggningar och hur arbetet går till för att klara dessa krav. Intervjun med Rain Gothenburg fick en annan målbild eftersom de är en projektgrupp för arbete med dagvatten i Göteborg. Då berörde frågorna snarare olika lösningsförslag för dagvattenhantering och multifunktionalitet för en dagvattenanläggning. Intervjun syftade också till att ge inspiration kring själva utformningen och designen av dagvattenanläggningar, med fokus på multifunktionalitet.

3.5 SCALGO

SCALGO (2022) är ett simuleringsverktyg som kan användas för att kartlägga vattenvolymer och deras flöden under skyfallsförhållanden för stora områden. Detta kan användas för att ge underlag inte bara för översvämningsrisker, utan även föroreningars transportvägar. SCALGO simulerar skyfall genom att dela upp det analyserade området i ett antal celler. Dessa celler besitter alla höjddata vilket innebär att sänkor och andra topografiska skillnader kan beskrivas. Därefter placeras ett uniformt lager regn över området. Det här regnet fyller upp sänkor på en högre höjd innan kvarvarande vatten börjar uppfyllnad av närliggande sänkor på lägre höjd. Simulering som utförs i SCALGO är tidsberoende, vilket innebär att programmet inte tar hänsyn till tidsberoende parametrar så som flödes hastigheter, fördröjning eller varaktighet, utan istället bara utgår ifrån höjdskillnader och vattenvolym. Att inte ta hänsyn till tidsberoende parametrar medför flera komplikationer. Särskilt bristen på hänsyn till fördröjning innebär att kvantifiering av öppna dagvattenlösningars effektivitet blir svårt att ta vara på.

3.5.1 Applicering av SCALGO

För att genomföra analys med SCALGO behövdes en uppsättning olika parametrar. Verktöget som användes för skyfallssimulering behövde till att börja med en given nivå regn som applicerades över hela den analyserade terrängen. Detta innebar att en dimensionerande nivå behövde beräknas utifrån vad som kunde förväntas förekomma på platsen under ett skyfall, som tog hänsyn både till förväntad regnintensitet samt varaktighet. Den i projektet använda vattenbelastningen utgår ifrån Dahlströms metod (2010) med en 30-års återkomsttid, 1 timmes varaktighet samt en klimatfaktor på 1,25 vilket ger en belastning på 36,75 mm, se avsnitt 2.2.1 samt bilaga A.7 och A.8 för mer detaljer. Denna regnbelastning kan reduceras schablonmässigt för att ta hänsyn till förekommande dagvattenledningar samt initiell infiltration, men detta har inte gjorts inom projektet då tillgången till information om dagvattenledningar var otillräcklig.

Med hjälp av SCALGOs skyfallsverktyg har därigenom förväntade vattenvolymer, avrinningsområdets area samt avrinningsvolym bedömts för en given regnbelastning vid de undersökta platserna Kopparbunken och Chalmersplatsen. Utifrån redovisad mängd dagvatten i lågpunkter på platserna har dagvattenlösningar kunnat utplaceras.

3.6 Utveckling av lösningsförslag

En workshop utfördes av projektgruppen där 3 lösningsförslag togs fram för respektive plats. Underlag till denna workshop var enkätsvar, se avsnitt 4.1, litteraturstudie, intervjuer och SCALGO. Lösningsförslagen jämfördes därefter i multikriterieanalysen för att se vilken som enligt de framtagna kriterierna, var bäst lämpad för platsernas behov och förutsättningar. Lösningsförslagen är inte ett resultat utan en metod för att möjliggöra utförandet av multikriterieanalysen, för att i sin tur bidra med underlag till slutresultatet.

3.6.1 Chalmersplatsen

Samtliga lösningsförslag på Chalmersplatsen har utformats på så vis att en större anläggning har placerats vid lågpunkten enligt SCALGO. Utöver detta har fokus legat på hantering av dagvattenflöde uppströms samt på det sociala mervärdet. Enkäten påvisar en önskan om grillplatser, sittplatser och mer grönska. En aktuell begränsning här berör tillgänglighetskrav som inkluderar en begränsad sträcka mellan ingångar och parkering på högst 25 meter (BBR, 2011).

Förslag 1: En 1 m djup regnträdgård på ungefär 135 m² placerad vid lågpunkten. Extensivt grönt tak över halva gångstråket. Mer växtlighet i form av träd vid den befintliga grönytan där antal sittplatser utökats i kombination med möjlighet för grill. Regnskyddade sittplatser mellan entrén till kårhuset och Chalmersportalen, beklätt med extensiva tak. Se figur A.1 under avsnitt bilagor.

Förslag 2: Två 1 m djupa boulebanor i lågpunkten på 4·15 m² vardera med sittplatser runtom. Boulebanorna med ett makadamunderlag anses ha samma egenskaper som en permeabel yta. Grönytan blir större med fler sittplatser och träd samtidigt som grillmöjligheter finns. Hela gångstråket består av genomsläpplig beläggning där ytan mellan kårentrén och Chalmersportalen blir utrustad med extensiva tak samt sittplatser. Se figur A.2 under bilagor.

Förslag 3: I lågpunkten placeras en 1 m djup multisportbana med ett väl-dränerat sportunderlag av HDPE (High Density Poly Ethylene) (Bergo Flooring, u. å). Multisportbanan har en area på 10·20 m² med sittplatser runtom. Grönytan expanderar och utrustas med flertalet paviljonger på 3·3 m², samtliga med extensiva tak. Möjligheter till grill finns. Underlaget längs gångstråket består av genomsläpplig beläggning och vid ytan mellan kårhusets entré och Chalmersportalen placeras en 1 m djup regnträdgård på ungefär 48 m². Se figur A.3 under bilagor.

3.6.2 Kopparbunken

Runt Kopparbunken har fokus lagts på rening av dagvattnet, framför allt kopparrening, i kombination med ett ökat socialt mervärde. Förslagen baseras på plankartan i Detaljplanen (2020). En huvudsaklig anordning har placerats i lågpunkten enligt SCALGO. Marken runt Kopparbunken sluttar i viss omfattning nedåt åt öst.

Förslag 1: Ett 40 m långt svackdike med en ytbredd på 3 m och bottenbredd på 1,5 m slingrar sig längs den naturliga avrinningsvägen och mynnar ut i en dagvattendamm på 190 m² i lågpunkten. Sittplatser placeras runt dagvattendammen. Över svackdiket placeras en gångbro längs med grusvägen. En 0,5 m djup planterad rabatt sträcker sig runtom Kopparbunken och en 1 m djup regnträdgård på 130 m² placeras längs Kopparbunkens högra sida. Ytan norr om Kopparbunken utrustas med mer växtlighet, sittplatser och grillmöjligheter. Se figur A.4 under avsnittet bilagor.

Förslag 2: Tre 1 m djupa makadamfyllda boulebanor på sammanlagt 12·15 m² placeras vid lågpunkten där hänsyn tagits till sluttningen på så vis att den vänstra delen är nedsänkt till samma nivå som den högra. Boulebanorna anses ha samma egenskaper som en permeabel yta. Runtom boulebanorna finns bänkar för åskådare. Runt Kopparbunken placeras en omkringliggande rabatt med ett djup på 0,5 m samt ett 0,5 m djupt torvlager och ytan norr om byggnaden förses med sittplatser och fler träd samt en scen som kan användas vid större sammankomster. Scenens tak utrustas med ett extensivt sådant. Se figur A.5 under bilagor.

Förslag 3: I lågpunkten placeras ett 0,5 m djupt utegym på 440 m² med träflis som underlag. En planterad rabatt samt torv (0,5 m djupa) sträcker sig längs Kopparbunkens alla sidor. En 1 m djup regnträgråd på 130 m² positioneras längs Kopparbunkens södra sida. Grillar och sittplatser placeras ut tillsammans med mer grönska och träd norr om Kopparbunken. Se figur A.6 under bilagor.

3.7 Multikriterieanalys (MKA)

Genom användandet av en multikriterieanalys har en lösning bedömts som bäst lämpad för att hantera och rena vattnet och samtidigt skapa sociala värden för studenter och personal. Lösningarna som presenteras kommer att ha en samverkan mellan ett flertal olika tekniska, ekologiska och sociala aspekter, vilket gör att en samlad bedömning snabbt blir komplex där intressekonflikter kan uppstå (Alves m. fl., 2018). I sådana fall är multikriterieanalys (MKA) en lämplig metod (Alves m. fl., 2018). Med hjälp av MKA rangordnas åtgärder genom att kvantifierbara kriterier vägs mot varandra enligt ett poängsystem med viktning (Hajkowicz och Collins, 2006). Utvärderingsmetoden möjliggör en omfattande analys av problemets alla delar och ger även transparens i beslutsfattandet (Hajkowicz och Collins, 2006).

Den typen av multikriterieanalys som använts är viktad summering, där samlade poäng som viktats summeras för ett slutresultat för vardera åtgärd (Alves m. fl., 2018). Poängsättningen fick sin grund i en litteraturstudie, medan viktningen tog avstamp i enkäten, intervjuer och även parvis jämförelse. Processen för multikriterieanalys är enligt Alves m. fl. (2018) följande:

1. Välj alternativ till åtgärder
2. Välj kriterier att utvärdera åtgärderna med
3. Definiera var kriteriers relativa betydelse (viktning)
4. Bedöm åtgärder separat utifrån viktade kriterier (poängsättning)
5. Summera och jämför poäng för vardera åtgärd (rangordning)
6. Beslut om åtgärd utifrån multikriterieanalys

MKA är inte menar att välja åtgärd men fungerar som ett omfattande underlag för att kunna ta ett välgrundat beslut med alla kriterier i åtanke (Hajkowicz och Collins, 2006). Vidare kan en känslighetsanalys och flera iterationer behöva göras om analysen verkar bristfällig. Kriterierna som användes i MKA delades in i kategorierna ekologiska, tekniska och sociala. De kategorierna användes eftersom de är relevanta för multifunktionella lösningar.

3.7.1 Val av kriterier

För att genomföra en multikriterieanalys behövs en uppsättning kvantifierbara kriterier bestämmas som beskriver alla de relevanta, icke-försumbara faktorer som spelar in i de olika kategorierna ekologiska, tekniska och sociala (Rosén m. fl.). Detta gjordes dels genom litteraturinventering med anpassning till kontext, men även genom en dialog med de lokala intressenterna samt sakkunniga, vilket i detta fall inkluderar enkätrespondenter och intervjupersoner.

För att få en inblick i vilka faktorer som spelar in i fallet med öppna dagvattenlösningar i campuskontext har liknande fall undersökts. Inom det snarlika arbetet utfört i Gdansk utav Wojciechowska m. fl. (2021) har en uppsättning olika system lagts fram och jämförts utifrån principer satta av Hoyer m. fl. (2011) i deras handbok för vattenkänslig urban design.

Hoyer m. fl. (2011) tar upp fyra avgörande principer för utformning av dagvattensystem, dessa är:

- Vattenkänslighet, att systemet ska föra vattenhantering närmare vattnets naturliga kretslopp.
- Estetik, systemet ska vara estetiskt tilltalande och vara välintegrerat i omkringliggande miljö.
- Funktionalitet, att systemet bör vara kontextuellt välanpassat, ta hänsyn till behov av underhåll och ta hänsyn till eventuellt föränderliga faktorer.

- Användbarhet, att systemet bör tillföra rekreationella och ekologiska värden till platsen så som ekosystemtjänster.

För att kunna anpassa dessa principer för användning inom MKA behöver de representeras av kvantifierbara parametrar (Rosén m. fl.). Detta medför att de kommer speglas av mer generella medel enligt utvalda kriterium i tabell 5 enligt följande motivering:

Två av funktionskraven ställda på nya dagvattensystem enligt Svenskt Vatten (2016) är att dagvattnet i största mån ska fördröjas för att minska toppflöden och föroreningar hos recipienter samt att vattnet ska renas beroende på hur känslig recipienten är för föroreningar. Detta innebär att avgörande förmågor för dagvattensystem är deras fördröjande förmåga vilket åsyftar deras fördröjningsvolym samt reningsgraden hos vattnet vilket åsyftar till vilken grad systemet kan avskilja föroreningar från vattnet. Därigenom har den första principen vattenkänslighet representerats av kriterien ”fördröjningsvolym” och ”renande förmåga”.

Principen som berör estetik blev svårare att representera på grund av sin omätbara natur. Med utgångspunkt i enkätundersökningen och intervjun med J. Thoms Ivarsson (intervju, 7 mars, 2022) har det dock konstaterats att tillgången till grönytor är avgörande för den allmänna upplevelsen av platsen. En rimlig kompromiss har därmed blivit att inkludera den estetiska värderingen i kriteriet ”grönyta” som uppmäts i antal kvadratmeters skillnad jämfört med dagens situation. En utökad grönyta får även en positiv inverkan på vattenkänslighet samt användbarhet då detta reducerar mängden förekommande hårdgjord yta och tillför växtlighet.

Inom funktionalitet blev specifikt underhåll en särskilt viktig faktor att ta hänsyn till. Att införa dagvattenlösningar innebär inte bara den initiella kostnaden för konstruktion, utan även kontinuerliga underhållskostnader för att bibehålla växtlighetens hälsa i fallet med grönbåa anläggningar samt renande förmåga (Viklander m. fl., 2019). Underhåll är något som enligt J. Thoms Ivarsson (intervju, 7 mars, 2022) gärna blir avgörande för ett dagvattenssystems genomförbarhet då den långsiktiga kostnadsfrågan väldigt ofta används som ett veto inom sammanhanget. För att ta hänsyn till denna faktor används kriteriet ”Behov av underhåll” vilket beror på dagvattenanläggningarnas area samt deras förväntade behov av underhåll. Föränderliga omständigheter innefattar i den här kontexten till exempel det allt mer frekventa regnet som uppstår till följd av klimatförändringar. Hänsyn till detta har dock redan tagits inom beräkningar av regnbelastning vilket är en av de ingående parametrarna för skyfallssimulering i SCALGO. Där har en klimatfaktor applicerats inom beräkningarna vilket resulterade i att dimensionerande regnvolymer för en given återkomsttid och varaktighet blev högre än vad som kan förväntas i dagsläget.

Vad gäller användbarhet så framgår det i enkäten, se avsnitt 4.1, att respondenter ville se fler sittplatser samt ökade möjligheter att vistas utomhus även vid regn. Detta dels för att kunna röra sig på campusområdet men även dels för att bekvämt kunna spendera tid utomhus. För att uppnå bekväm rörlighet på campusområdet blev ”klimatskydd” det främsta kriteriet; vilket kan innebära t.ex. olika typer av tak eller växtlighet som bidrar med regn-vind- och solskydd på gångstråk och mötesplatser. Väderskydd blev viktigt även för vistelse i allmänhet, men här blev ytterligare relevanta kriterier ”sittplatser” och ”social yta” vilket inkluderar all area som bidrar med sociala mervärden till en yta. För att ta hänsyn till ekologiska värden används kriteriet ”biologisk mångfald” som uppmäts i antal olika arter av växter som finns inom grönytorerna.

Följande tabell sammanställer de olika kriterier som framställts utifrån Hoyers 2011 principer och som multikriterieanalysen bygger på:

Tabell 5: Kriterier och dess enheter i MKA där Kopparbunken är förkortat till KB och Chalmersplatsen till CP.

	Kriterium	Enhet
Tekniska	Fördröjningsvolym	m ³
	Behov av underhåll	m ² underhållsbehov
Sociala	Sittplatser	st
	Klimatskydd	m ² skyddad yta
	Grönyta	m ²
	Social yta	m ² rekreationsyta
Ekologiska	Biologisk mångfald	st
	Renande förmåga	% renad Cu för KB & ”renad volym” för CP

3.7.2 Beräkning av kriterier

I detta avsnitt ges en mer detaljerad förklaring av hur samtliga kriterier i tabell 5 beräknades. För att se specifika värden och parametrar som användes under multikriterieanalysen, se bilaga A1 och A2 för Chalmersplatsen, respektive bilaga A3 och A4 för Kopparbunken, under A.2.

- **Fördröjningsvolym:** Fördröjningsvolymen utgick här ifrån summan av den potentiella magasinande förmågan hos alla dagvattenanläggningar i lösningsförslagen enligt EDGE handbok ”*Levande gaturum*” (2019). Fördröjningsvolymen för samtliga lösningsunika anläggningar har alltså summerats. Gröna väggar och tak har däremot inte tagits med i beräkning av fördröjningsvolymen. Detta på grund av att fördröjningsvolymen har antagits vara försumbar för extensiva tak.
- **Sittplatser:** Antal sittplatser togs fram på så vis att en bänk representerade 3 sittplatser, varje grill och paviljong fick hysa 5 platser och ett rektangulärt bord; 6 platser. De större åskådarbänkarna i lösningsförslag 2 för Kopparbunken representerade 15 sittplatser per bänk.
- **Klimatskydd:** Kriteriet om klimatskydd beräknades genom att summera den yta som bidrog till regnskydd, det vill säga antal kvadratmeter tak.
- **Grönyta:** Grönyta beräknades som summan av alla grönbåa system samt gräsytor inom lösningsförslagen i kvadratmeter.
- **Social yta:** Social yta beräknades som en kombination av sittplatser och kvadratmeter aktivitetsyta, där aktivitetsyta åsyftade yta för boulebana, sportbana, utegym samt scen. Vad gäller sittplatser så tillförs en kvadratmeter social yta per bänk med 3 sittplatser, i beräkningarna.
- **Biologisk mångfald:** Detsamma gällde även för kriteriet biologisk mångfald som utgick ifrån antalet olika typer av växtlighet som förväntas förekomma för de olika grönytorerna. I det här fallet har det utgått från 40 olika arter för gröna tak enligt fallstudien av Köhler och Ksiazek-Mikenas (2018), 6 olika arter för gröna väggar som i fallet med Stadsbyggnadskontoret i Göteborg enligt Boverket (2019a), 0,5 arter per kvadratmeter regnträdgård enligt rekommendationer från en rapport av Andruczyk m. fl. (2016), 1 art för svackdike då detta ofta innefattar enbart snabbväxande gräs enligt rapporten av Svenskt vatten (2019), 1 art för torr dagvattendamm då detta i projektet innefattar en nedsänkt gräsyta och 1 art för genomsläpplig beläggning då just gräsarmerad betong är den inom lösningsförslagen främst förekommande typen, vilket är en anläggning som innefattar en typ av gräs (Viklander m. fl., 2019).
- **Renande förmåga:** Den renande förmågan utgick ifrån en förenklad ”renad volym” som beräknades genom samtliga dagvattenanläggningarnas volym multiplicerat med deras renande förmåga för metaller. I volymen ingick regnträdgård, genomsläpplig beläggning och

volymen för grönyta. Regnträdgårdens faktor för renande förmåga var exempelvis 0,7 som baserades på det genomsnittliga värdet för rening av parametrarna enligt tabell 3. Faktorn för den genomsläppliga beläggningen och grönytan var båda 0,4, medan gröna väggar och tak antog en faktor på 0. Renande förmåga för Kopparbunken beräknades endast utifrån reningen av just koppar i [%].

- Behov av underhåll: För att ta hänsyn till underhållet har vardera dagvattenlösningens yta-rea multiplicerats med en faktor som representerar underhållsbehovet för respektive lösning. Denna faktor har framtagits genom att studera den bedömning som Svenskt Vatten (2019) har gjort för olika dagvattenanläggningars underhållsbehov. Faktorn för underhållsbehov går från 1 till 3, där 1 representerar lågt underhållsbehov och 3 representerar högt. För de flesta dagvattenlösningar har faktorn översatts från listan Svenskt Vatten har framtagit, där underhållsbehovet är lågt (L), medel (M), eller högt (H). För gröna tak och gröna väggar har ingen bedömning gjorts av Svenskt Vatten och för dessa lösningar har en egen bedömning om underhållsbehovets gjorts, baserat på litteratur och antaganden baserade på redan givna värden. Underhållsbehovet för gröna tak och gröna väggar antogs vara 1,5 respektive 3. För gröna tak har detta baserats på underhållet som beskrivs i Grönatakhandboken (2021). För gröna väggar baserades värdet på underhållet som beskrivs i av Boverket (2019b) samt det faktum att gröna väggar är placerade på en vertikal yta i stället för på en relativt horisontell yta som gäller för gröna väggar. Underhållsbehovet för gräsmatta anses vara lågt vilket baseras på jämförelser med givna underhållsbehov enligt Svenskt Vatten (2019). För multisportbanan baserades underhållsbehovet på underlaget *Bergo Multisport™*, av Bergo flooring (u. å). Underhållsbehovet för utegym baseras på underhåll som beskrivs i *Inspektion och underhåll, En guide för underhåll av Fitnessutrustning* (2018). För torv har underhållsbehovet antagits vara 1 då det har en hög adsorberande kapacitet och bör därmed sällan behövas bytas ut Kalmykova m. fl., 2009. Slutligen har underhållsbehovet för boulebana antagits vara lågt då makadamunderlaget kan krattas med jämna mellanrum av folk som nyttjar banan. Faktorer som har använts för ”Behov av underhåll” i multikriterieanalysen presenteras i tabell 6.

Tabell 6: Faktorer för beräkning av underhållsbehov.

Lösning	Faktor
Gröna tak	1,5
Gröna väggar	3
Regnträdgård	3
Svackdike	1
Genomsläpplig beläggning	3
Torr dagvattendamm	1
Boulebana	1
Multisportbana	1
Gräsmatta	1
Torv	1

Det totala underhållsbehovet för lösningsförslag 1 på Chalmersplatsen har därmed exempelvis beräknats på följande sätt:

$$1,5 \cdot [(3 \cdot 10) + (6,5 \cdot 46)] + (3 \cdot 135) + (3 \cdot 754) + (1 \cdot 789) = 3950$$

Den första termen innefattar grönt tak, andra termen; regnträdgård, tredje termen; genomsläpplig beläggning och sista termen; gräs.

Enligt multikriterieanalysen användes en mall där lösningar poängsattes på ett intervall mellan 1-10. Ett alternativ som hade högst prestanda poängsattes till 10 där resterande alternativen poängsattes

med hjälp av en linjär relation från det bästa alternativet. Viktningen använder sig av SWING, där en gemensam poängsättning har utförts. Gruppledmedlemmarna utsåg det viktigaste kriteriet varefter parvis jämförelse genomfördes med resterande kriterium. Det viktigaste kriteriet gavs en vikt på 1 och de resterande en procentsats som utgick ifrån deras uppfattade relativa nytta i kontexten för de två olika platserna. Detta understött av litteratur, enkätmaterial samt intervjumaterial. Viktningen för Chalmersplatsen och Kopparbunken presenteras i tabell 7:

Tabell 7: Viktningen för Chalmersplatsen respektive Kopparbunken

Kriterium	Viktning Chalmerplatsen	Viktning Kopparbunken
Fördröjningsvolym [m ³]	1	0,9
Behov av underhåll [-]	0,8	0,8
Sittplatser [st]	0,7	0,3
Klimatskydd [m ²]	0,6	0,1
Grönyta [m ²]	1	0,9
Social yta [m ²]	0,9	0,7
Biologisk mångfald [st]	0,5	0,5
Renande förmåga [%]	0,2	1

3.8 Rationella metoden

För att undersöka lösningsförslagets kapacitet att reglera dagvattenflöden har rationella metoden använts. Det är ett verktyg för att dimensionera avledning av dagvatten på mindre bebyggda områden (Svenskt Vatten, 2011). Med metoden beräknades maximal dagvattenavrinning för ett område med ett visst regn och en viss återkomsttid (Svenskt Vatten, 2011). Hur stor del av avrinningsområdet som bidrar till avrinningen beskrivs med avrinningskoefficienter som varierar mellan 0-0,9 för olika typer av ytor (Svenskt Vatten, 2011). Chalmersplatsen och Kopparbunken delades in i delområden utifrån olika typer av ytor för att kunna jämföra maximala dagvattenflöden på ytorna innan och efter applicerad dagvattenlösning. Uppströms avrinningsområde för respektive plats togs inte hänsyn till i beräkningarna, detta eftersom att markanvändningen inte ändras där utan endast på Chalmersplatsen och Kopparbunken.

Beräkningsmetoden, ekvationer och parametrar är samtliga tagna ifrån boken *"Hydraulik för samhällsbyggnad"* av Bondelind och Häggström (2018). Det maximala regnflödet beräknades enligt ekvation 1:

$$Q_{max} = i\phi A \quad (1)$$

- i är regnintensiteten [l/s· ha]
- ϕ är avrinningskoefficienten [-]
- A är markarean [m²]

Regnintensiteten beräknades enligt ekvation 2:

$$i(t_r) = 190 \cdot \sqrt[3]{T} \cdot \frac{\ln(t_r)}{t_r^{0,98}} + 2 \quad (2)$$

- t_r är regnets varaktighet [min]
- T är återkomsttid [mån]

Återkomsttiden, regnets varaktighet och avrinningskoefficienten bestäms med hjälp av standarder och dimensionerande värden ur boken *"Avledning av dag-, drän- och spillvatten"* av Svenskt

Vatten (2016). Vid beräkning av maximalt regnflöde innan och efter applicerad lösning är det den reducerade arean som ändras. Detta på grund av att ändring i typ av yta leder till ändrad avrinningskoefficient. De aktuella avrinningskoefficienterna redovisas i tabell 8.

Tabell 8: Avrinningskoefficienter för olika typer av ytor.

Typ av yta	Avrinningskoefficient (ϕ)
Asfalterad yta	0,8
Grusplan	0,2
Gräsyta	0-0,1
Rabatt	0-0,1
Genomsläpplig beläggning	0,6-0,7
Gröna tak	0,25-0,5
Tak	0,9

Gröna tak och genomsläpplig beläggning saknas som scablonvärden men baserades på värden ur P105. Enligt Svenskt Vatten (2011) kan tunna gröna tak minska årsavrinningen med 50 % och djupa gröna tak med 75 %. Angående genomsläpplig beläggning bedöms 30-40 % av den annars avrunna mängd dagvatten tas omhand tills ytan är mättad på vatten, då all nederbörd avrinner (Svenskt Vatten, 2011). Det faktum att avrinningskoefficienten enligt Svenskt Vatten (2011) vid kraftiga eller långvariga regn ökar då genomsläppliga ytor blir vattenmättad tas inte hänsyn till. Detta för att förenkla beräkningarna. För att vidare underlätta beräkningarna och ta hänsyn till ett mindre fördelaktigt scenario användes avrinningskoefficienten med det högsta värdet i de fall det är inom ett intervall. I de fall två ytor överlappar, till exempel genom gröna tak över genomsläpplig beläggning användes koefficienten för den yta regnet först antas träffa. För de mindre branta ytor med berg vid Kopparbunken användes samma värde som för asfalterad yta (Svenskt Vatten, 2011). Detta eftersom ytan är i stark lutning och med måttlig vegetation. Vid beräkningar antogs torv ha samma avrinningskoefficient som grusplan.

3.9 Visualisering i Autodesk Revit

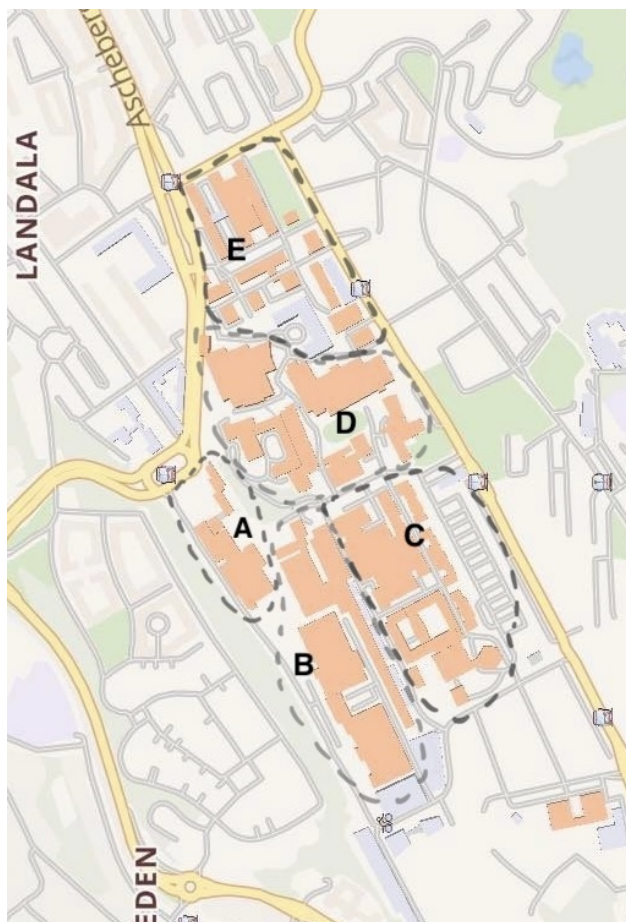
De slutgiltiga lösningsförslagen för respektive område har visualiserats i modelleringsprogrammet Autodesk Revit. Modelleringen inleddes med att ta fram en representativ terräng för vardera område, som områdenas miljö sedan kunde skapas på. Ett annat modelleringsprogram vid namn SketchUp användes för att skapa en terrängfil för området. Funktionen *Geolocation* i SketchUp användes för att först hämta terrängdata för områdena och sedan skapa en tredimensionell terrängmodell. Denna modell exporterades sedan till en modellfil som är kompatibel med Autodesk Revit, där terrängen sedan kunde skapas. Därefter modellerades den närliggande omgivningen för varje område. När omgivande bebyggelse var färdigställd modellerades lösningsförslaget för respektive område. Objekt som boulebana, parkbänkar, picknickbord, väderskydd, grill, träningsutrustning och cykelställ hämtades från hemsidan RevitCity.com. Slutligen skapades förfinade bilder av modellerna med hjälp av funktionen *Render* i Revit, som sedan redovisas i denna rapport.

4 Resultat

I detta avsnitt presenteras först delresultaten från enkäten och SCALGO som tillsammans med litteraturstudien legat till grund för framtagandet av lösningsförslagen för Chalmersplatsen och Kopparbunken. Vidare presenteras resultaten från multikriterieanalysen där vardera lösningsförslag har behandlats. Visualiseringen i Autodesk Revit av de lösningsförslag som fick högst poäng i multikriterieanalysen presenteras och undersöks med avseende på dess flödesreducerande förmåga med hjälp av rationella metoden.

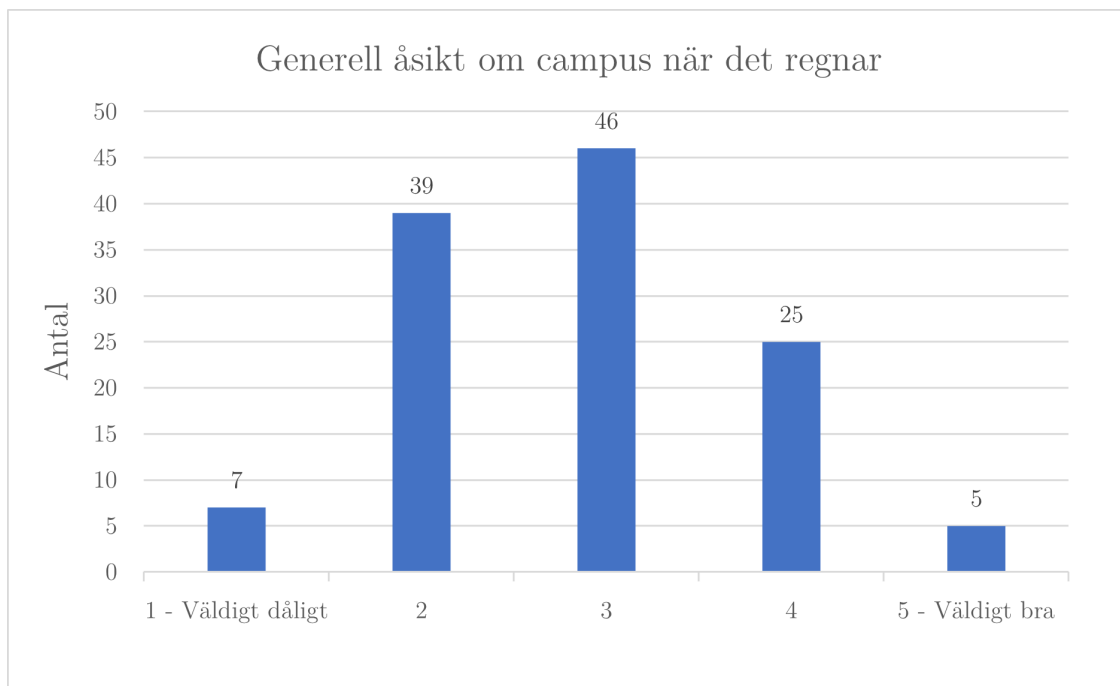
4.1 Enkät

Enkäten fick 122 svar. 98,4 % av de som deltog i enkätundersökningen var studenter, medan resterande var anställda. 58,2 % av respondenterna spenderar mest tid inom område B, se figur 16. 23,8 % av respondenterna spenderar mest tid inom område C. Resten av respondenternas svar var jämt fördelade mellan de tre återstående områdena med 13,1 % vardera. Frågan var utformad som en flervalfråga så att respondenterna kunde välja fler än ett område. Svaren visar att de flesta som svarade på enkäten spenderar mest tid i området runt Samhällsbyggnadshuset.



Figur 16: Indelning av Campus Johanneberg i fem delområden i enkäten, modifierad av Emma Jakobsson.

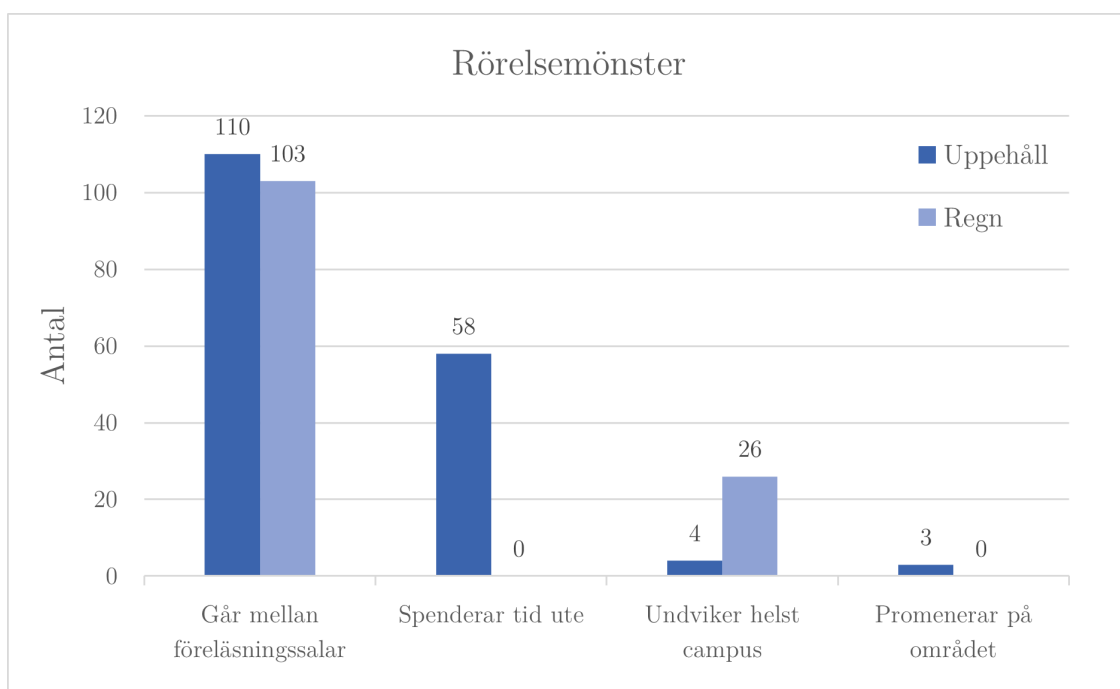
Den generella uppfattningen om campus när det regnar presenteras i figur 17. 37,7 % av respondenterna har en neutral uppfattning, som representeras av svar 3 i figuren. En tendens till en mer negativ inställning kan avläsas då medelvärdet beräknas till 2,85. Frågan var ställd på så vis att respondenterna var fria att själva tolka frågan, där just den generaliteten var i fokus.



Figur 17: Diagram över respondenters bedömning av campus när det regnar i antal svar.

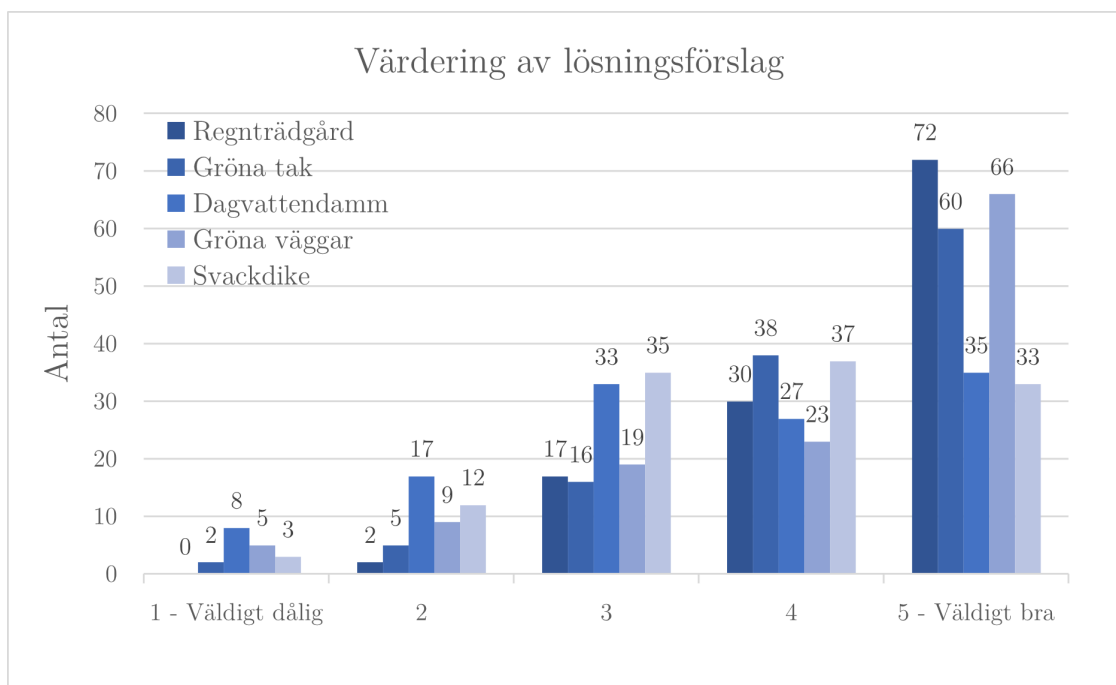
Efterföljande fråga inkluderade fritextsvar där respondenter kunde motivera sin åsikt om campus. I svaren kan det bland annat utläsas att ett tjugotal respondenter upplever att campus har mycket vattenpölar som är svåra att undvika. Några respondenter menar även att det saknas platser att ta skydd mot regnet och att marken kan bli hal.

I figur 18 presenteras svaren gällande respondenternas rörelsemönster på campus när det regnar samt vid uppehållsväder. Resultatet visar att den vanligaste aktiviteten på campus är att gå mellan föreläsningssalar oavsett väder. I övrigt skiljer sig rörelsemönsterna åt beroende på väderförhållanden. När det inte regnar spenderar mer än hälften av respondenterna tid utomhus för att bland annat äta, sitta ned eller ta en kort promenad. När det regnar vill däremot ingen sitta ute och äta. Antalet som undviker campus flerdubblas vid regn jämfört med när det är uppehållsväder.



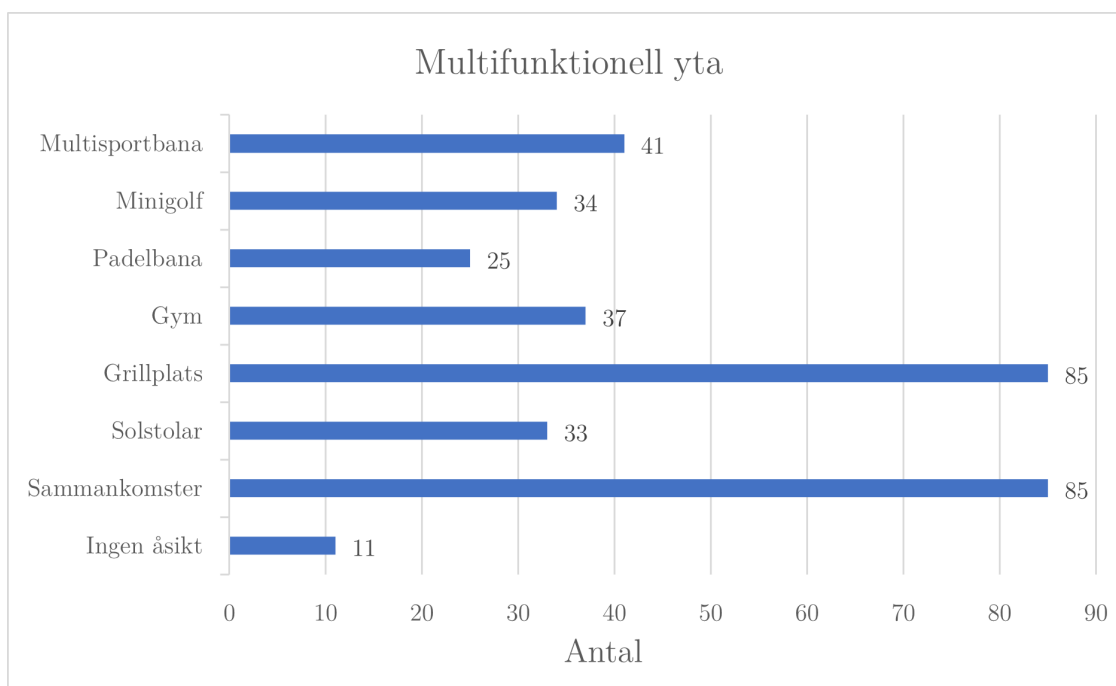
Figur 18: Diagram över respondenters rörelsemönster på campus vid regn respektive uppehållsväder.

De lösningsförslag som presenteras i enkäten är regnträdgård, gröna tak och väggar, dagvattendamm och svackdike. Resultatet visar att en regnträdgård värderas högst, följt av gröna väggar och tak, se figur 19. Det lösningsförslag som värderades lägst är dagvattendammen.



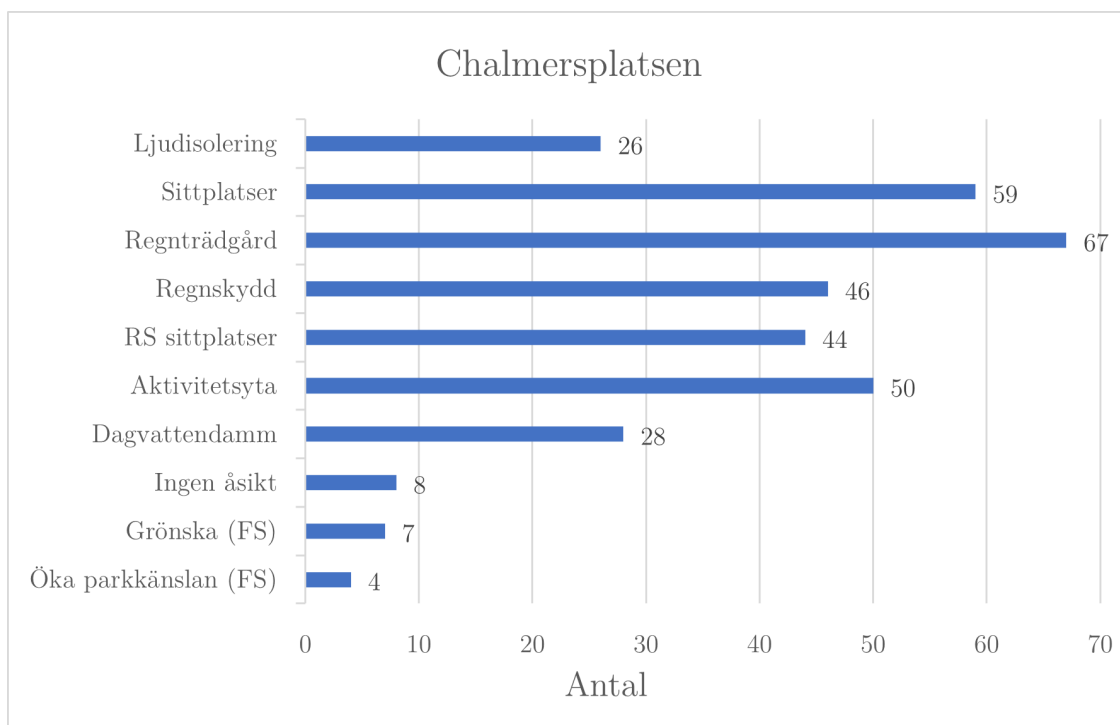
Figur 19: Diagram över respondenters bedömning av lösningsförslagen i antal svar.

Förslag på olika multifunktionella ytor tillsammans med respondenternas åsikt om dessa ytor visas i figur 20. Resultatet visar att ytor för grillning respektive sammankomster är mest önskvärda hos respondenterna. En multisportbana intar andra plats med 41 röster, som i sin tur efterföljs av ett utegym. På denna fråga hade respondenterna möjlighet att välja fler alternativ eller skriva ett eget förslag.



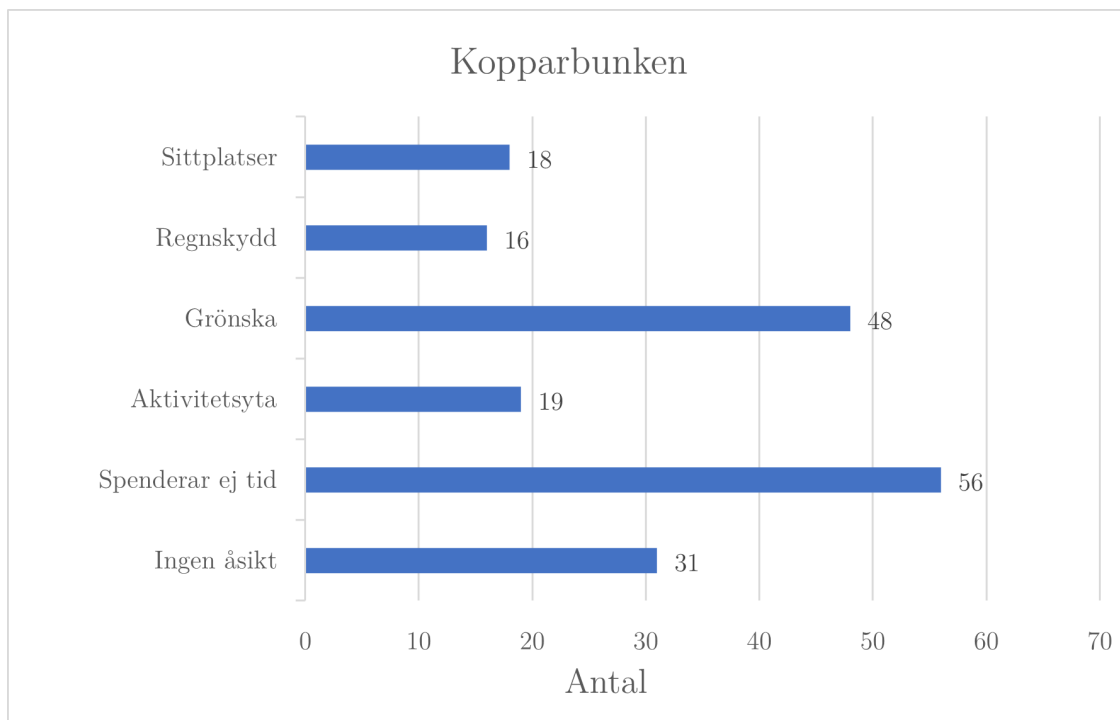
Figur 20: Diagram som visar bedömning av multifunktionell yta i antal svar.

I figur 21 syns respondenternas åsikter till förbättringsåtgärder på Chalmersplatsen. Många vill ha fler sittplatser och se mer grönska. En aktivitetsyta i form av en multifunktionell yta är också eftertraktat. 59 personer (48,4 %) vill se mer sittplatser medan 44 respondenter (36,1 %) anser att just regnskyddade sittplatser behövs. Åtgärder så som en dagvattendamm samt åtgärder för att ljudisolera området var inte särskilt efterfrågat, då 23,0 % respektive 21,3 % önskade se detta. Även på denna fråga hade respondenterna möjlighet att välja flera av alternativen samt att svara i fritext och efterföljs då med (FS) enligt figuren. Resterande frisvar har tolkats och översatts till de redan givna alternativen.



Figur 21: Diagram som visar förbättringsförslag vid Chalmersplatsen, där RS står för regnskydd och FS står för frisvar.

I figur 22 presenteras svaren gällande förbättringsåtgärder vid Kopparbunken. Majoriteten svarade att de antingen inte spenderar någon tid i området eller att de inte har någon åsikt (71,3 %). Runt Kopparbunken visar det sig att mer grönska är attraktivt (39,3 %) medan sittplatser (14,8 %), regnskydd (13,1 %) samt aktivitetsyta (15,6 %) är mindre eftertraktat. Frågan var utformad likt den om Chalmersplatsen, där respondenterna kunde välja flera alternativ samt skriva ett eget. Frisvaren har tolkats och översatts till de redan givna alternativen.



Figur 22: Diagram över resultat gällande förbättringsförslag vid Kopparbunken.

Respondenterna fick besvara tre påståenden i enkäten gällande eventuell problematik kring dagvatten på campus samt hur pass besvärligt detta uppfattas. Svartalternativen var upplagda på så vis att en 1:a innebär att respondanden inte alls höll med i påståendet medan en 5:a syftar till det motsatta. Medelvärde för resultatet gällande påståendet om att marken snabbt torkar efter ett kraftigt regn är 2,76. Påståendet om att det vanligtvis bildas vattenpölar på gångstråken resulterade i ett

medelvärde på 3,77. Det sista påståendet angående hur pass lätt det är att finna regnskydd inom området medförde ett medelvärde på 2,87.

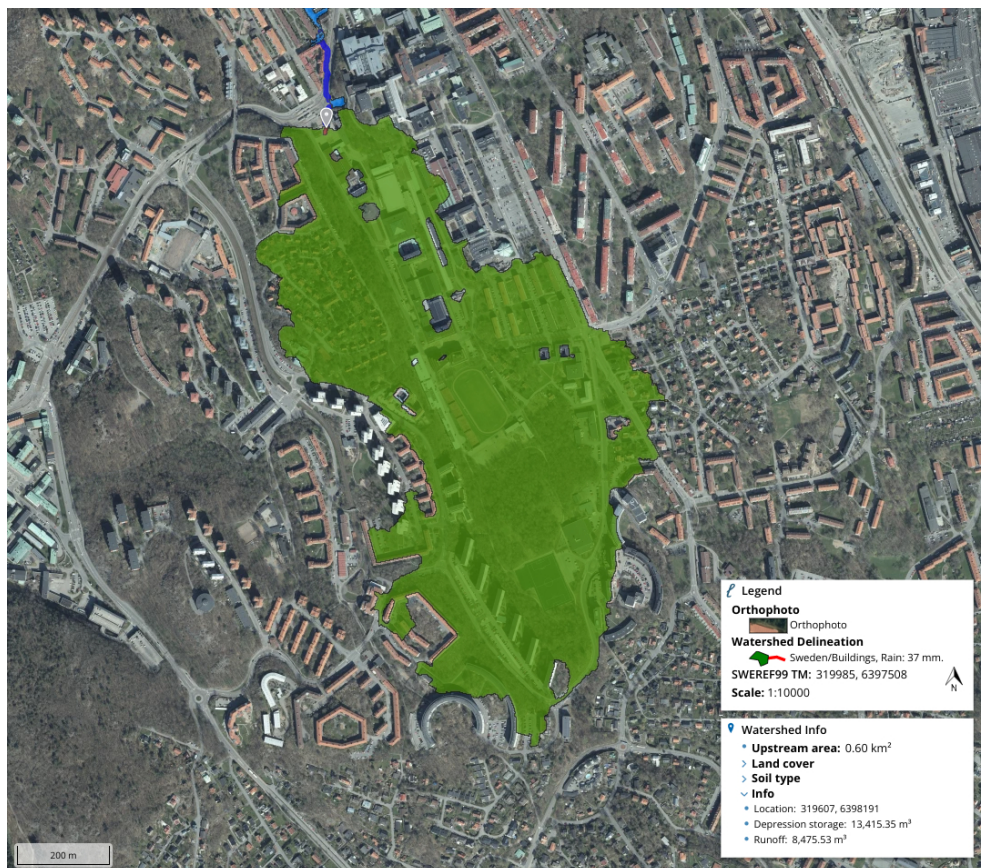
På frågan vad som kan förbättra upplevelsen av campus vid regn svarade 70,8 % mer grönska, växter och träd. 60 % ville ha regnskyddade gångvägar och 42,5 % regnskyddade sittplatser. Möjligheten att låna paraplyer var det minst populära förslaget som 15 % svarade.

Alla frågor som publicerades i enkäten finns att se i bilaga A.5.

4.2 SCALGO

Med användning av SCALGO visas översvämningsskartering i en lågpunkt med hjälp av höjdskillnader och vattenvolymer. Indata är en regnintensitet på 37 mm som var ett resultat av ett dimensionerande regn om 30 år och med en varaktighet på en timme. Resultatet visar avrinningsområdets area, avrinningsvolym och vattenvolym i lågpunkten. Grönmarkerat område representerar avrinningsområdet och rödmarkerat område representerar lågpunkten. Den blåa linjen visar vattnets flödesväg vid avrinning nedströms.

I figur 23 och 24 presenteras lågpunkten på Chalmersplatsen. Resultatet visar en avrinningsvolym på ca 8500 m³ och vattenlagringsvolym på ca 13400 m³.

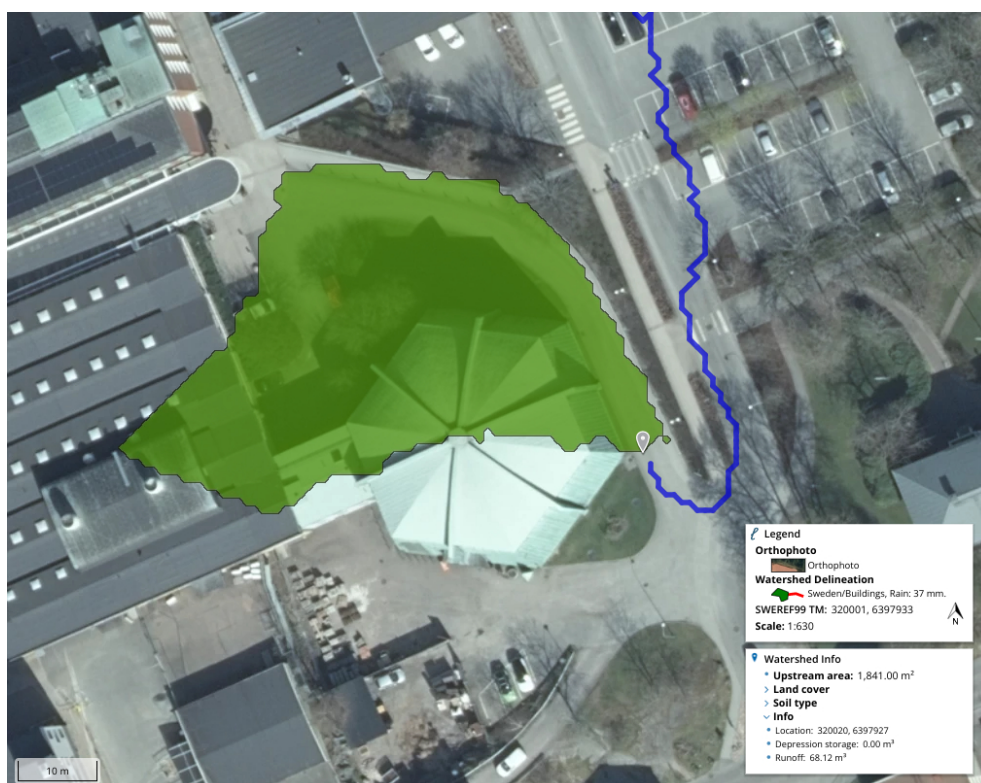


Figur 23: Översiktlig vy över Chalmersplatsen vid en regnbelastning om 37 mm via SCALGO. Det gröna området representerar avrinningsområdet, den blå linjen representerar flödesvägar.



Figur 24: Inzoomad vy över Chalmersplatsen vid regnbelastning om 37 mm via SCALGO. Det röda området representerar lågpunkten, flödesvägen syns i och med den blå linjen.

I figur 25 presenteras lågpunkten vid Kopparbunken. Resultatet visar en avrinningsvolym på ca 68 m³ och vattenlagringsvolym på 0 m³



Figur 25: Vy över Kopparbunken vid regnbelastning om 37 mm via SCALGO där det gröna området är avrinningsområdet, de blå linjen respresenterar flödesvägen.

4.3 Multikriterieanalys

Utifrån viktning, poängsättning och rangordning blev resultatet för Chalmersplatsen enligt tabell 9. Resultatet av multikriterieanalysen visar att lösningsförslag 2 med boulevanan och blomrabatten får högst poäng. Förslaget får högst av de tre förslagen när det kommer till kriterierna renanade förmåga och sittplatser.

Tabell 9: Resultatet av MKA för Chalmersplatsens tre lösningsförslag.

Kriterium	Lösningsförslag 1	Lösningsförslag 2	Lösningsförslag 3
Fördröjningsvolym [m ³]	2,2	7,9	10
Behov av underhåll [-]	-5,3	-8,0	-6,4
Sittplatser [st]	4,6	7,0	6,2
Klimatskydd [m ²]	6,0	2,3	0,4
Grönyta [m ²]	10,0	7,1	3,8
Social yta [m ²]	0,6	5,8	9,0
Biologisk mångfald [st]	5,0	3,4	0,3
Renande förmåga [%]	0,8	2,0	1,7
Summa	24,0	27,6	24,9

Utifrån viktning, poängsättning och rangordning blev resultatet för Kopparbunken enligt tabell 10. Lösningsförslag 3 med utegymmet och regnträdgården får högst poäng i multikriterieanalysen. Förslaget får högst poäng av de tre gällande renande förmåga, fördröjningsvolym och social yta.

Tabell 10: Resultatet av MKA för Kopparbunken tre lösningsförslag.

Kriterium	Lösningsförslag 1	Lösningsförslag 2	Lösningsförslag 3
Fördröjningsvolym [m ³]	8,3	5,1	9,0
Behov av underhåll [-]	-7,7	-7,4	-8,0
Sittplatser [st]	1,4	3,0	1,5
Klimatskydd [m ²]	0,0	1,0	0,0
Grönyta [m ²]	9,0	0,0	5,3
Social yta [m ²]	0,2	6,2	7,0
Biologisk mångfald [st]	5,0	0,1	4,9
Renande förmåga [%]	6,7	9,3	10,0
Summa	22,9	17,3	29,7

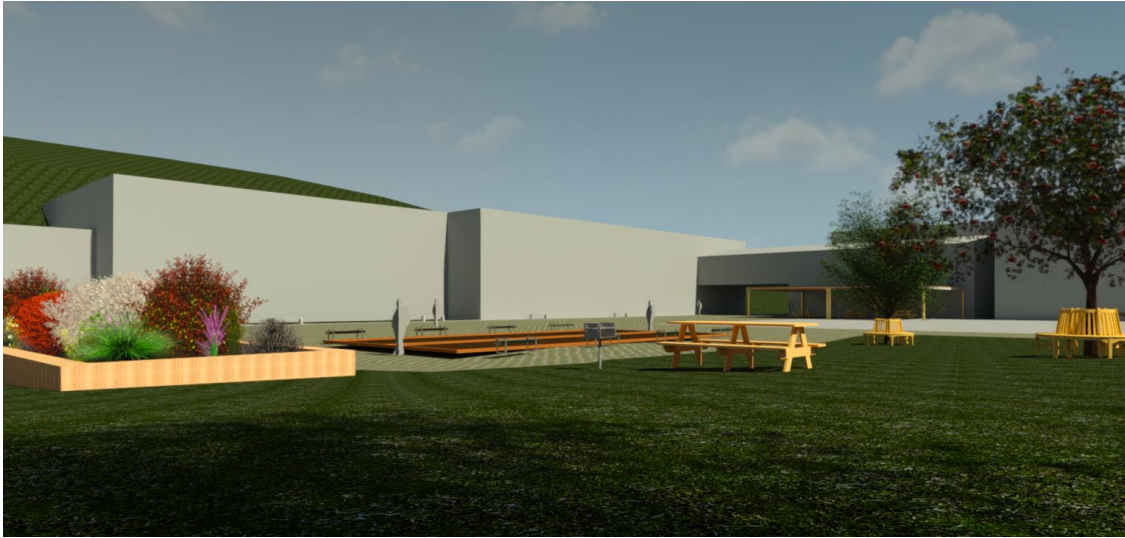
4.4 Visualisering av slutgiltiga lösningsförslaget

I detta avsnitt visualiseras de två slutgiltiga lösningsförslagen enligt multikriterieanalysen. Visualiseringen är gjord i Autodesk Revit. Syftet med visualisering är att förmedla en känsla av hur lösningsförslagen faktiskt skulle kunna se ut. De är inte tänkta att vara underlag för exempelvis ritningar, då skala och mått ej är helt korrekt enligt bilaga A.2 och A.6.

4.4.1 Chalmersplatsen



Figur 26: Översiktsbild av Chalmersplatsen.

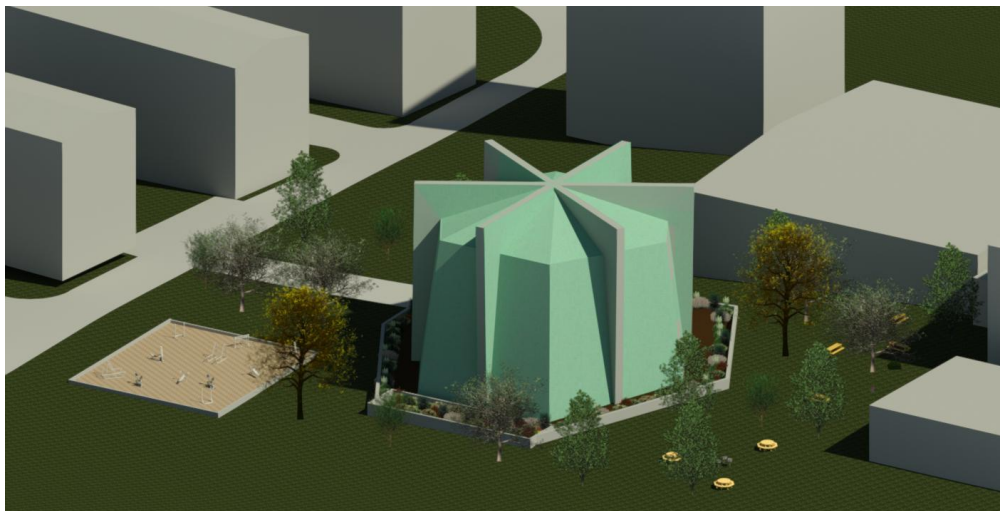


Figur 27: Vy från gräsplätt.

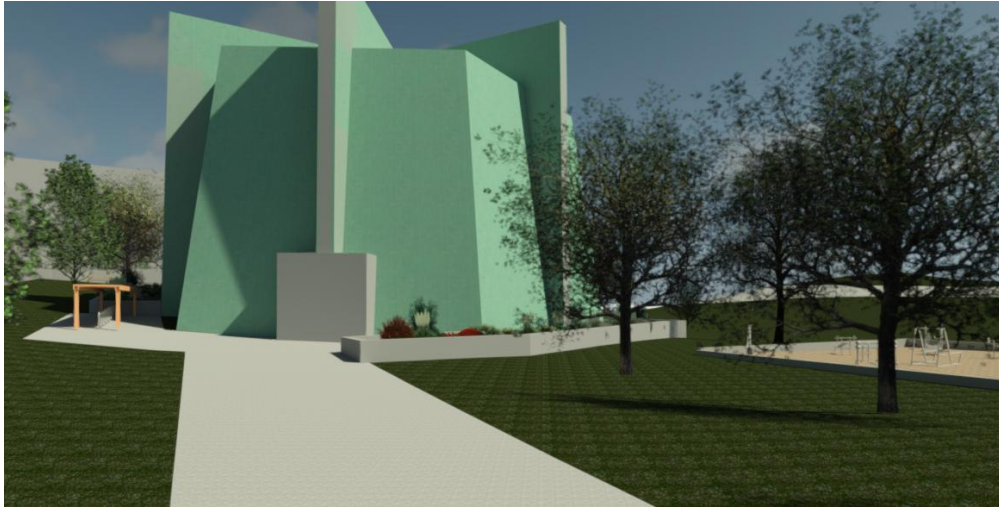


Figur 28: Vy från gångstråk.

4.4.2 Kopparbunken



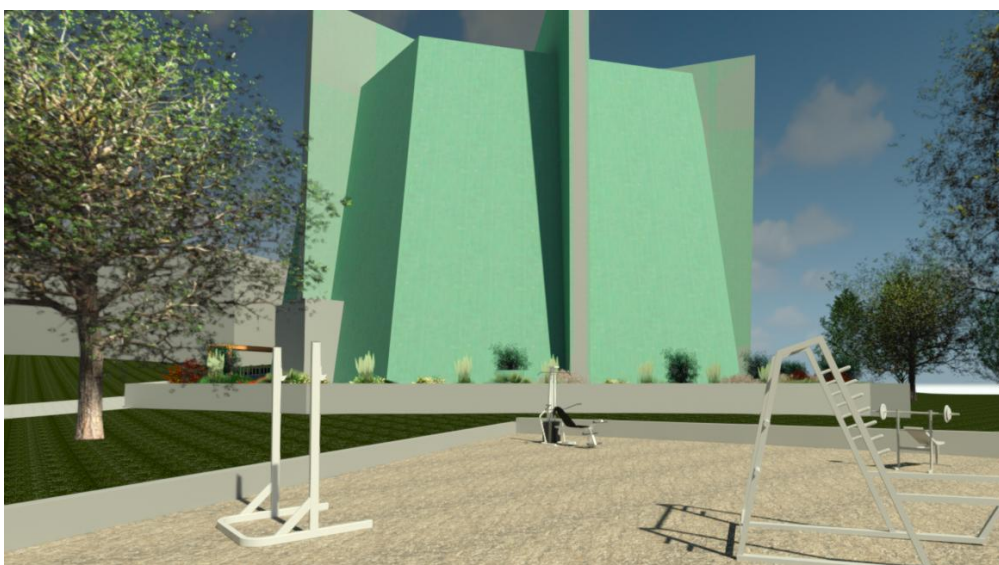
Figur 29: Översiktsbild över Kopparbunken.



Figur 30: Vy av Kopparbunken vid grusväg



Figur 31: Vy vid grill och parkbänkar.



Figur 32: Vy vid utegym.

4.5 Rationella metoden

För att undersöka hur förändring i markanvändningen i och med applicerat lösningsförslag påverkar maximala vattenflödet på Chalmersplatsen och Kopparbunken användes rationella metoden. Kraven för nya dagvattenanläggningar var enligt Svenskt Vatten (2016) en återkomsttid om 30 år och varaktigheten för snabb dagvattenavledning varierar mellan tio minuter till två timmar. Varaktigheten sattes till en timme vilket medförde att klimatfaktorn blev 1,25 (Svenskt Vatten, 2016).

Regnintensiteten beräknades enligt ekvation 1 och 2 under avsnitt 3.8 Rationella metoden.

- $t_r = 60$ min
- $T = 360$ mån

Dessa värden insatta i ekvation 2 ger en regnintensitet i l/s·ha enligt ekvation 3.

$$i(60) = 190 \cdot \sqrt[3]{360} \cdot \frac{\ln(60)}{60^{0,98}} + 2 = 111,7 \quad (3)$$

Med användning av klimatfaktorn och regnintensiteten beräknades det maximala flödet enligt ekvation 1. Areor, avrinningskoefficienter och det maximala flödet innan och efter applicerad dagvattenlösning på Chalmersplatsen visas i tabell 11 respektive tabell 12. Resultatet visar att med ändrad markanvändning i och med lösningsförslag för dagvattenhantering minskar det maximala flödet med 81 l/s: från 331 l/s till 250 l/s.

Tabell 11: Maximalt vattenflöde innan ändrad markanvändning på Chalmersplatsen.

Chalmersplatsen	Area [m ²]	ϕ [-]	Q [l/s]
Genomsläpplig beläggning	73,6	0,7	7,2
Gräsyta	455,6	0,1	6,4
Gröna tak	0	0,5	0
Rabatt	34	0,1	0,5
Hårdgjord yta	2836,2	0,8	316,8
Grus/sand	0	0,2	0
Maximalt flöde			331

Tabell 12: Maximalt vattenflöde efter ändrad markanvändning på Chalmersplatsen.

Chalmersplatsen	Area [m ²]	ϕ [-]	Q [l/s]
Genomsläpplig beläggning	1425	0,7	139,2
Gräsyta	845,6	0,1	11,8
Gröna tak	265	0,5	18,5
Rabatt	65,5	0,1	0,9
Hårdgjord yta	678,9	0,8	75,8
Grus/sand (boulebana)	120	0,2	3,4
Maximalt flöde			250

Areor, avrinningskoefficienter och det maximala flödet innan och efter presenterad dagvattenlösning vid Kopparbunken syns i tabell 13 respektive tabell 14. Resultatet visar att det maximala flödet minskar med 354 l/s efter det applicerade lösningsförslaget för Kopparbunken.

Tabell 13: Maximalt vattenflöde innan ändrad markanvändning vid Kopparbunken.

Kopparbunken	Area [m ²]	ϕ [-]	Q [l/s]
Gräsyta	468	0,1	6,5
Tak	980	0,9	123,1
Gröna tak	0	0,5	0
Rabatt	165	0,1	2,3
Hårdgjord yta	3687	0,8	411,8
Grus/sand (boulebana)	0	0,2	0
Maximalt flöde			544

Tabell 14: Maximalt vattenflöde efter ändrad markanvändning vid Kopparbunken.

Kopparbunken	Area [m ²]	ϕ [-]	Q [l/s]
Gräsyta	3665,5	0,1	49,7
Tak	980	0,9	123,1
Gröna tak	14	0,5	1,0
Rabatt	329,5	0,1	4,6
Hårdgjord yta	0	0,8	0
Grus/sand (boulebana)	420	0,2	11,7
Maximalt flöde			190

5 Diskussion

h Implementering av lösningsförslagen bidrar till områdets dagvattenhantering och till campusmiljön i stort med avseende på sociala och ekologiska aspekter. I detta avsnitt diskuteras för- och nackdelar med lösningsförslagen, deras funktion i förhållande till definitionen hållbar dagvattenhantering och dess lämplighet för en campusmiljö. Slutligen diskuteras svagheter med studien och förslag på fortsatt arbete.

5.1 Multifunktionell dagvattenhantering vid Chalmersplatsen och Kopparbunken

De slutgiltiga lösningsförslagen för Chalmersplatsen och Kopparbunken syftar till att förbättra områdenas dagvattensituation vid en regnbelastning om 37 mm samtidigt som ytan ska bidra med ökat socialt och ekologiskt värde på campus. Gemensamt för båda resultaten är att det tillkommit en multifunktionell yta som bjuder in till aktivitet i form av en boulebana respektive ett utegym som kan fördröja dagvattnet vid behov. Dessutom ger båda resultaten nu möjlighet för sociala sammankomster runt de tillförda grillplatserna och med ökat antal sittplatser. För att hantera problemet med förorenat dagvatten har reningsåtgärder integrerats i lösningsförslagen i form av en rabatt och en regnträdgård på Chalmersplatsen samt en rabatt och en torvrabatt intill Kopparbunken. Rabatten och regnträdgården bidrar också till ökad biologisk mångfald vilket är centralt för den ekologiska hållbarheten.

Resultatet från multikriterieanalysen visade att förslagen för Chalmersplatsen låg nära varandra i poängsättningen där förslaget med högst poäng valdes som slutgiltig lösning. En fördel med det slutliga förslaget för Chalmersplatsen är antal sittplatser. Lösningen kommer därmed att bli ett tillskott i campusmiljön då det finns fler sittplatser att mötas på och vila. Av de tre förslagen hade det även högst renande förmåga, vilket är positivt utöver på föroreningarna från kringliggande trafik som förekommer runt platsen. En nackdel berör brist på klimatskydd, vilket var något som önskades av enkätrespondenterna, 72 % ville ha regnskyddade gångvägar och 42,5 % regnskyddade sittplatser på campus. Förslaget med grönt tak över gångbanan hade högre klimatskydd, men risken med taket är dock att platsen känns avskärmad och mister känslan av att vara en entré till campus. Klimatskydd integreras istället med hjälp av grönska och träd som ger möjlighet till skydd från främst sol och vind, men även regn. Utöver det har de även en bullerrecuerande förmåga som minskar störande ljud från intilliggande väg vilket gör platsen mer attraktiv att vistas på. En annan nackdel med det slutgiltiga lösningsförslaget är att det visade sig ha högst behov av underhåll, vilket är en betydande aspekt då det som tidigare nämnt kan komma att fungera som ett veto gällande genomförandet av dagvattenlösningar. Vidare har resultatet för Chalmersplatsen en stor yta genomsläpplig beläggning på gångbanan som kan vara ojämn till ytan. Detta kan bli ett problem då det kan påverka mobiliteten för bland annat rullstolsburna, cyklister och rörelsehindrade personer.

Multikriterieanalysens resultat för Kopparbunken visade att det tredje lösningsförslaget hade högst poäng med större marginal. Lösningsförslaget för Kopparbunken har högst poäng av de tre gällande renande förmåga, något som bedömdes som avgörande för att rena dagvattnet från koppar på platsen och förbättra situationen nedströms mot recipienten. Förslaget hade även störst fördröjningsvolym och social yta, där särskilt social yta bedömdes som viktig för att göra Kopparbunken till en plats att vistas på. Det går även förslaget om en framtida park som kringsluter Kopparbunken tillmötes. Samtliga förslag hade dock låga poäng för klimatskydd. Detta kan bero på att det prioriterades lägre för platsen, vilket kan grundas i att människor inte tenderar att vistas där i nuläget då byggnaden avgränsas av en väg och saknar sittplatser. På samma sätt som för Chalmersplatsen hade förslaget för Kopparbunken högst behov av underhåll.

5.2 Lösningförslagets påverkan på hållbar dagvattenhantering

Naturvårdsverket (2019) definierar dagvattenhantering som hållbar då hanteringen bidrar till minskad risk för översvämningar och minskad föroreningsbelastning hos recipienten. Med lösningförslagen ökar det lokala omhändertagandet av dagvattnet genom gröna väggar och tak, genomsläpplig beläggning och regnträdgård samt fördröjning nära källan i form av genomsläpplig beläggning och multifunktionella ytor.

Beräkning av det maximala dagvattenflödet i avsnitt 4.5 resulterade i att flödet från Chalmersplatsen minskar med det nya lösningförslaget med 81 l/s. Chalmersplatsen är inte ett riskområde vid skyfall enligt Kretslopp och vatten (2018) men det reducerade flödet från Chalmersplatsen innebär en avlastning för den täta stenstaden nedströms. Andelen ökad grönyta, tillsammans med regnträdgården ger ökad vattenrening vilket är fördelaktigt då Chalmerplatsen gränsar till trafikerade vägar. Dagvatten som avleds från trafik är en av de största källorna till föroreningar i dagvatten. Det råder dock osäkerhet gällande hur stor andel av vattnet som passerar och därmed renas på Chalmersplatsen innan det avrinner nedströms.

Vidare minskar flödestopparna i dagvattnet från Kopparbunkens avrinningsområde med mer än hälften med det nya lösningförslaget, då det jämförs med hur området ser ut idag. Denna beräkning tar inte hänsyn till hur stort flödet hade varit för förslaget med en park runt Kopparbunken utan andra åtgärder för dagvattenhantering. Den stora utmaningen vid Kopparbunken är dock inte att ta hand om stora dagvattenflöden utan att rena dagvattnet från koppar.

I intervjuerna med S. Karlsson (intervju, 18 februari, 2022) och L. Blom & H. Galfi (intervju, 9 mars, 2022), framgick det att filterbrunnarnas verkningsgrad gällande vattenrening vid Kopparbunken inte kunde säkerställas. Då en rännstensbrunn är placerad intill byggnadens lägsta punkt genomgår dagvattnet i dagsläget ingen rening. Valet av att placera en omkringliggande regnträdgård med genomsnittlig reningskapacitet av koppar på 65 % samt en rabatt med torv runt Kopparbunken kan medföra en förbättrad rening av takavrinningen från Kopparbunken med minimalt underhåll. Den höga punktlasten av metallföroreningar från Kopparbunken innebär dock ett skadligt klimat för växter (Kumar m. fl.). Därmed kan regnträdgården trots sin renande förmåga vara en mindre passande lösning för att rena koppar.

Kumar m. fl. (2021) har genomfört omfattande studier berörande koppartolerans hos växter, men även de mest toleranta plantorna som av projektgruppen anses passa för bruk i regnträdgårdar testades som högst i jord med kopparhalter på runt 400 mg/kg jordmaterial. Detta skulle innebära att en jordvolym på cirka 2,8 m³ krävs för att bibehålla 400 mg/kg under den förekommande kopparbelastning som finns vid Kopparbunken för en antagen jorrdensitet på 1200 kg/m³, vilket kan ses i beräkningarna i bilaga A.3. Detta utgår dock ifrån en jämn fördelning av förorenat vatten i jorden, vilket kan bli svårt att uppnå vid utformning. Problematiken med ackumuleringen, av för plantor toxiska nivåer koppar blir därmed ytterligare ett argument för att införa den typen av seriellt system som finns i det slutgiltiga lösningförslaget för platsen.

Kombinationen av både ett torvfilter och en regnträdgård bör hantera samtliga föroreningar som förekommer i avrunnet vatten från taket i en hög utsträckning. Då inga tester har utförts på det avrunna vattnet går det inte att konstatera om det förekommer höga halter av natriumklorid som skulle kunna försämra adsorptionen av koppar i torvfiltret, men då systemet kompletteras med en regnträdgård bör detta i teorin skapa en tillräcklig rening för att uppnå de satta riktvärdena. Ett seriellt system har även fördelen att den ena åtgärden kan komplettera den andras brister. Regnträdgården kan exempelvis ta hand om fosfor vilket torvfiltret inte kan, medan det senare klarar att isolera för platsen relevanta metaller som koppar och zink i betydligt större utsträckning.

5.3 Utformningarnas lämplighet för en campusmiljö

Både Chalmersplatsen och Kopparbunken utgör fastighetsgränser för Campus Johanneberg. S. Karlsson (intervju, 18 februari, 2022), nämner utmaningen i att utforma fastighetsgränsen så att den skapar tillhörighet inom campus samtidigt som området bättre integreras i staden. För att bibehålla Chalmersplatsens tydliga entré men samtidigt inte uppfattas som stängd mot staden vill projektgruppen hålla ytan öppen och implementera mer grönska samt ytor som bjuder in till social aktivitet. Även om flödestopparna hade kunnat minskas ytterligare med fler grönytor än i lösningsförslaget bedöms det vara viktigare att det finns hårdgjorda ytor för gångtrafikanter och angörande bussar samt möjligheten till tillgänglighetsanpassad parkering. Boulebanans låga höjdsättning bidrar med öppenhet. Att placera boulebanan i lågpunkten innebär förutom effektiv dagvattenhantering även ett estetiskt samspel med platsens topografi och därmed bibehålls den öppna ytan framför Chalmers entré. Detta anammar även campusplanens vision om ett campus som är bättre integrerat i staden där ett attraktivt offentligt rum etableras.

I dagsläget är utrymmet för social aktivitet och förekomsten av grönska runt Kopparbunken begränsad. Vidare visade resultatet från enkäten att studenters intresse var vagt för denna del av campus. Vid genomförandet av Kopparparken förändras utgångsläget för den omkringliggande ytans användning. Ytan kan jämföras med Geniknölen, som är en gräsbeklädd kulle på Campus Johanneberg och en populär mötesplats för studenter. Däremot kan inte rörelsemönstret mellan Kopparbunken och Geniknölen jämföras enligt enkäten. Förekomsten av grill- och sittplatser i området ökar sannolikheten att platsen blir en attraktiv plats för sociala sammankomster bland studenter. Akademiska Hus (S. Karlsson, intervju, 18 februari, 2022) nämnde även en önskan om att skapa ytor som främjar idrott och hälsa på campus, vilket ett utegym kan bidra med. Enligt litteraturstudien framgår det att den fysiska miljön på campus bör utformas så att möte mellan studenter på neutral mark och under mer avslappnade förhållande möjliggörs. Vidare kan den fysiska miljön bidra med sociala värden om den görs tillgänglig för alla. Ytterligare fördelar är att denna stödjer olika typer av aktiviteter samt att den är estetiskt attraktiv, vilket integrerad grönska bidrar till. Sittplatser, grönska och yta tillägnad aktivitet var även eftertraktat enligt enkätrespondenterna.

5.4 Svagheter i studien

I genomförandet av rapporten har avvägningar som kan ha påverkat resultatet eller verkat negativt för resultatets validitet gjorts. De svagheter och brister som identifierats med metoderna och deras genomförande diskuteras i detta avsnitt.

5.4.1 Enkät

Vid utformning av ytor på campus har åsikter från verksamma på campus varit av stort intresse. För detta ändamål har enkät varit en lämplig metod för att nå urvalsgruppen, men då relativt få personer har svarat förekommer bortfallsfel vilket innebär att urvalsgruppen inte blir representativ.

De flesta som svarade på enkäten var studenter vid Samhällsbyggnadssektionen. Detta kan bero på att det finns mer kunskap om och ett större intresse för dagvattenhantering inom sektionen. Det kan även bero på att enkäten delats i Facebook-grupper som riktar sig till chalmersstudenter där projektgruppens medlemmar kan ha blivit igenkända av vänner och bekanta. Till följd av detta kan vissa medlemmar ha blivit mer benägna att svara på enkäten. Vidare kan de bilder som visualiserade dagvattenlösningar i enkäten ha påverkat hur attraktiva förslagen uppfattas. Bilder som visar sämre väder eller visar mindre variation av växter kan ha fått lägre betyg på grund av bildens omgivning snarare än vad den ska representera.

Förslagen på aktivitetsytor är godtyckligt valda av projektgruppen där hänsyn har tagits vad som kan passa i en campusmiljö. Förslag på aktivitetsytor går därmed delvis utifrån projektgruppens åsikter. Ett sätt att gå runt detta hade varit att ställa frågan med frisvar som svarsalternativ och

på så sätt kan endast enkätrespondenterna bidra med förslag på aktivitetsytor, vilket troligtvis hade gett större mångfald i förslagen. Ett problem med det tillvägagångssättet är att svaren blir svårare att kvantifiera och vidare att använda i multikriterieanalysen.

5.4.2 Multikriterieanalys (MKA)

Litteraturstudien visar en stor variation för några av dagvattenlösningarnas dimensionerande parametrar som används i multikriterieanalysen. De parametrar som varit särskilt svåra att kvantifiera är behov av underhåll, biologisk mångfald och reningskapacitet då utformningen av dagvattenlösningarna har stor påverkan på parametrarna. För boulebanan, utegymmet och multisportsbanan har det dessutom varit svårt att kvantifiera underhåll och reningskapacitet med vetenskaplig grund då dessa är multifunktionella ytor anpassade för området snarare än konventionella dagvattenlösningar. Parametrarna social yta och sittplatser har varit mer anpassningsbara vilket medför att ökning och minskning av dessa hade kunnat utföras för att optimera de olika förslagen.

Enligt J. Thoms Ivarsson (intervju, 7 mars, 2022) blir det ofta ekonomiska angelägenheter som resulterar i att projekt inom öppen dagvattenhantering inte genomförs. I detta kandidatarbete har de ekonomiska aspekterna tagits hänsyn till under multikriterieanalysen i och med kriteriet ”underhåll” vilket kvantifierats med hjälp av storlekar på ytor samt en underhållsintensitet för respektive yta. Den här typen av kvantifiering blir en grov förenkling då intensiteten vägs på en skala 1-3 istället för en faktisk kostnad. Detta innebär att det blir svårt att motivera analysens validitet om lösningsförslagets realiserbarhet huvudsakligen är en kostnadsfråga. Ett möjligt alternativ till multikriterieanalys vore i den här kontexten att använda ett valueringsverktyg som B_Lst eller TEEB enligt Hamann m. fl. (2020), vilket kan användas för att uppskatta den ekonomiska nytta som lösningarna bidrar med. Att på så vis reflektera nyttor i monetära termer gör att det blir betydligt lättare att bemöta eventuella kostnadsargument än vad som går att göra med hjälp av den mindre flexibla multikriterieanalysen. Detta gäller särskilt frågan om underhåll som kan vägas upp av andra långsiktiga nyttor så som mänsklig hälsa och fastighetsvärden.

Multikriterieanalysens viktning skulle behöva ytterligare underlag för att bli mer representativ för verksamma i områdets åsikter kring de olika ytorna. Vidare möten med de intervjuade parterna skulle kunna genomföras där gruppens resonemang kring de befintliga kriterierna och deras viktning presenteras för att få en bättre inblick i hur hänsyn kan tas till aktörernas intresse inom områdena. Det finns risk att underlaget till viktningen, det vill säga delar av litteraturstudien, enkäten och intervjuerna misstolkats. Vidare finns risk för subjektiv bedömning då egna åsikter och önskemål omedvetet kan ha vägts in i viktningen, vilket i slutändan påverkar resultatet.

5.4.3 SCALGO

SCALGO har använts för att lokalisera områdenas lågpunkter på ett visuellt sätt och anses vara en lämplig metod för ett arbete i denna omfattning. En svaghet som identifierades med programmet är att avrinningsområdets area, avrinningsvolym och vattenvolym i lågpunkter skiljer sig mycket mellan olika punkter i områdena. Resultatet blir därmed beroende av vilken punkt som väljs, vilket gjordes godtyckligt av projektgruppen. En svaghet som har identifierats i efterhand gällande användandet av SCALGO är att ingen hänsyn togs till infiltration i mark och ledningsnät. Om detta hade beaktats hade regnbelastningen om 37 mm kunnat minskas ytterligare för att få ett resultat som stämmer bättre överens med det verkliga fallet.

5.5 Fortsatt arbete

För att uppnå syftet att Chalmers Campus Johanneberg ska bli ”*Världens bästa campus när det regnar*” finns behov av fortsatt arbete.

Inledningsvis hade det varit fördelaktigt att göra en egen undersökning av föroreningstransport

för respektive område. För denna avsikt hade programvaran Stormtac kunnat användas för att se områdenas föroreningstransport före och efter utformningen av de resulterande lösningsförslagen. Ännu bättre hade varit att utföra mätningar av dagvattenkvaliteten vid respektive område för att ta reda på den verkliga förekomsten av föroreningar, förslagsvis under vintern då det är högst föroreningsrisk från vägavrinningen. Vidare är det av stor vikt att uppföljning sker efter att de nya reningsåtgärderna har implementerats för att säkerställa att de har önskad verkningsgrad för att underskrida riktvärdena.

Gällande vattenkvantitet finns det i SCALGO möjlighet att simulera dagvattenlösningarnas uppskattade översvämningrisk och påverkan på avrinningen nedströms. Den uppskattade påverkan på flödestopparna beräknades med hjälp av rationella metoden, men SCALGOs simuleringsverktyg hade kunnat användas för att på ett bättre sätt lokalisera eventuella nya flödesvägar och lågpunkter. Arbetet hade även kunnat breddas genom att studera flera olika regnscenarion då detta arbete endast tar hänsyn till ett 30-årsregn som varar i en timme.

Hållbar dagvattenhantering inkluderar enligt Naturvårdsverkets definition (2019) även att utnyttja dagvattnet som resurs, vilket är ett område som inte tas hänsyn till i detta projekt. Till följd av klimatförändringarna förväntas mer torka, vilket gör att regnåtervinning blir ett alltmer aktuellt ämne. Regnåtervinning är ett sätt att använda regnvatten som en resurs i perioder av vattenbrist. Vidare kan fortsatt arbete studera möjligheten att utvinna de föroreningar som finns i dagvatten. I synnerhet hade utvinning av koppar varit intressant att studera inom kontexten för projektet på grund av dess höga mängd i dagvattnet vid Kopparbunken.

Ytterligare ett område som kräver mer efterforskning är användningen av behandlat torv som filtermaterial för från kopparkopparpartak avrunnet dagvatten. Då torv uppvisar hög förmåga att adsorbera och ackumulera metallföroreningar bör det finnas möjlighet att utnyttja de höga koncentrationer som uppnås och återanvända dem, detta via exempelvis kemisk extraktion från flygaska eller direkt genom tillsats i trädgårdsjord då de mest prevalenta metallföroreningarna koppar och zink är mikronäringsämnen. Ett uppföljande arbete inom området skulle vara av intresse för att utvärdera om det finns möjlighet att återanvända dessa metaller, då detta inte enbart innebär återvinning utan även en reducering av farligt avfall som uppstår under annan filtrering av tungmetaller.

Avslutningsvis bör både utformningen av Chalmersplatsen och Kopparbunken samt varje enskild dagvattenlösning utformas mer detaljerat med avseende på bland annat materialval, storlek och placering. Detta i kombination med kontinuerlig dialog med fastighetsägarna kring deras intresse och arbete kring utvecklingen av platserna hade ökat chansen att förslagen hade genomförts på riktigt.

6 Slutsats

Dagens städer och såväl Johannebergs campusmiljö utgörs till stor del av hårdgjorda ytor, vilket medför hög ytavrinning. I dagsläget regnar det i snitt var tredje dag i Göteborg och nederbörden förväntas öka i både frekvens och intensitet till följd av klimatförändringarna. Hållbar dagvattenhantering behöver implementeras i större utsträckning för att minska risken med ytavrinning, såsom överbelastade ledningsnät, översvämningar och bräddning samt för att minska föroreningstransport till recipienter. Genom multifunktionella lösningar kan en hållbar dagvattenhantering skapas, som samtidigt bidrar till ett socialt och ekologiskt mervärde.

Lösningförslagen visar att dagvatten kan omhändertas och renas samtidigt som sociala och ekologiska värden kan främjas. Detta bidrar till campusmiljön då studenter och personal gynnas av att ha tillgång till mötesplatser på neutral mark. För att bättre hantera problemet med förorenat dagvatten kan reningsåtgärder integreras i serie för att komplettera varandra. Till vilken grad dagvatten kan omhändertas och renas behöver dock utredas vidare i form av modellering och mätningar. Vidare utredning bör kunna möjliggöras genom att låta campus vara ett område där olika tekniska lösningar får testas i form av forsknings- eller pedagogiskt arbete. Förhoppningen med detta kandidatarbete är att öka kompetensen och intresset för dagvattenhantering samt uppmuntra till fortsatt arbete med utformningen av Chalmersplatsen, Kopparbunken och Campus Johanneberg i sin helhet, för att nå dess fulla potential och bli *”Världens bästa campus när det regnar”*.

Referenser

- Akademiska hus. (2019). *Campusplan* (tekn. rapport). <https://www.akademiskahus.se/globalassets/dokument/syd/campusplaner/campusplan-chalmers-2019-2050.pdf>
- Alves, A., Gersonius, B., Sanchez, A., Vojinovic, Z. & Kapelan, Z. (2018). Multi-criteria Approach for Selection of Green and Grey Infrastructure to Reduce Flood Risk and Increase CO-benefits. *Water Resources Management*, 32(7), 2505–2522. <https://doi.org/10.1007/S11269-018-1943-3/TABLES/4>
- American Peat Tech. (2022). American Peat Technology. <https://americanpeattech.com/sorption-media/>
- Andruczyk, M., Swanson, L., Fox, L., French, S. & Gillad, T. (2016). Urban Water-Quality Management Rain Garden Plants. *Virginia Cooperative Extension*. www.ext.vt.edu
- Athanasiadis, K., Helmreich, B. & Horn, H. (2007). On-site infiltration of a copper roof runoff: Role of clinoptilolite as an artificial barrier material. *Water Research*, 41(15), 3251–3258. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2007.05.019>
- BBR. (2011). Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd - avsnitt 3:122.
- Bergo Flooring. (u. å). Where activities come to life.
- Besir, A. B. & Cuce, E. (2018). Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 915–939. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.09.106>
- Blecken, G. (2016). *Kunskapsammanställning - Dagvattenrening* (tekn. rapport). www.svensktvatten.se
- Blecken, G., Al-Rubaei, A., Viklander, M. & Marsalek, J. (2017). *Svenskt Vatten Utveckling 25 kommunala dagvattendammar i Sverige-hur fungerar de?* (Tekn. rapport). www.svensktvatten.se
- Bondelind, M. & Häggström, S. (2018). *Hydraulik för samhällsbyggnad* (2. utg.). Liber AB.
- Boverket. (2010). *Mångfunktionella ytor Klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö i städer och tätorter genom gröstruktur Miljömålsprojekt* (tekn. rapport). Boverket. www.boverket.se
- Boverket. (2019a). Exempel på gröna väggar. https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/praktiken/grona/vaggar/ex_vaggar/#h2
- Boverket. (2019b). Gröna väggar. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/praktiken/grona/vaggar/>
- Boverket. (2019c). Öka den ekologiskt aktiva gröna ytan - Gröna tak och väggar.
- Bredelius, J. (2018). Skyfall som orsak till extrem jorderosion.
- Britannica. (u. å). Evaporation. <https://www.britannica.com/science/evaporation>
- Bustami, R. A., Belusko, M., Ward, J. & Beecham, S. (2018). Vertical greenery systems: A systematic review of research trends. *Building and Environment*, 146, 226–237. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2018.09.045>
- Bäckström, M., Viklander, M. & Malmqvist, P. A. (2006). Transport of stormwater pollutants through a roadside grassed swale. *Urban Water Journal*, 3(2), 55–67. <https://doi.org/10.1080/15730620600855985>
- Center for Watershed Collection. (2003). *National Pollutant Removal Performance Database-Version 3* (tekn. rapport). https://owl.cwp.org/mdocs-posts/fraley-mcneall-national-pollutant-removal-perf_v3/
- Chalmers. (2021). Chalmers campus — Chalmers. <https://www.chalmers.se/sv/om-chalmers/campus-och-lokaler/Chalmers-campus/Sidor/default.aspx>

- Dahlström, B. (2010). *Regnintesitet- en molnfysikalisk betraktelse* (tekn. rapport). Svenskt Vatten. http://vav.griffel.net/filer/Rapport_2010-05.pdf
- Didiunsw. (2015). Planted brick swale, Balfour street pocket park. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Planted_brick_swale,_balfour_street_pocket_park.JPG
- Dietz, M. E. & Clausen, J. C. (2005). A Field Evaluation of Rain Garden Flow and Pollutant Treatment. *Water, Air, and Soil Pollution* 2005 167:1, 167(1), 123–138. <https://doi.org/10.1007/S11270-005-8266-8>
- Djerf, K., Eliasson, M., Möller, E., Pettersson, E., Wassén, V. & Zagerholm, S. (2021). Världens bästa campus när det regnar Dagvattenhantering med ett socialt mervärde på Chalmers tekniska högskola Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik. www.chalmers.se
- Drake, J., Bradford, A. & Van Seters, T. (2014). Stormwater quality of spring-summer-fall effluent from three partial-infiltration permeable pavement systems and conventional asphalt pavement. *Journal of Environmental Management*, 139, 69–79. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2013.11.056>
- Elizabeth City Unified Development Ordinance. (2001). *STORM WATER MANAGEMENT ORDINANCE CITY OF ELIZABETH CITY, NORTH CAROLINA* (tekn. rapport). Elizabeth.
- Fach, S. & Dierkes, C. (2011). On-site infiltration of road runoff using pervious pavements with subjacent infiltration trenches as source control strategy. *Water Science and Technology*, 64(7), 1388–1397. <https://doi.org/10.2166/WST.2011.227>
- Flemming, C. A. & Trevors, J. T. (1989). Copper toxicity and chemistry in the environment: a review. *Water, Air, and Soil Pollution* 1989 44:1, 44(1), 143–158. <https://doi.org/10.1007/BF00228784>
- Fridell, K., Thynell, A., Bruhn, F., Fors, J., Sixtensson, S. & Vysoký, M. (2019). *Levande gaturum - en handbok i Blågröngrå system* (2. utg.). edge.
- Göteborgs Stad. (2017a). Gibraltarvallen Dagvattenrening för Kopparbunken.
- Göteborgs Stad. (2017b). *Göteborg när det regnar*. <https://www.samhallsbyggarna.org/media/635983/go-teborg-na-r-det-regnar-en-exempel-och-inspirationsbok-fo-r-god-dagvattenhantering-2018-04.pdf>
- Göteborgs Stad. (2020). *Detaljplan för Gibraltarvallen inom stadsdelarna Johanneberg och Krokslätt i Göteborg Normalt planförfarande Granskningshandling februari 2020* (tekn. rapport). www.goteborg.se/planochbyggprojekt
- Göteborgs stad. (2020). *KVALITETSPROGRAM FÖR GIBRALTARVALLEN/DETALJPLAN* (tekn. rapport).
- Göteborgs stad. (2021). *GÖTEBORG NÄR DET REGNAR*. Göteborgs stad, Ramböll.
- Göteborgs stad Stadsbyggnadskontoret. (1998). *Detaljplan för Chalmers Tekniska Högskola (Kårhus m.m)* (tekn. rapport).
- Hags. (2018). Inspektion och underhåll, en guide för underhåll av Fitnessutrustning.
- Hajkowicz, S. & Collins, K. (2006). A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management. *Water Resources Management* 2006 21:9, 21(9), 1553–1566. <https://doi.org/10.1007/S11269-006-9112-5>
- Hamann, F., Blecken, G.-T., Ashley, R. M. & Viklander, M. (2020). Valuing the Multiple Benefits of Blue-Green Infrastructure for a Swedish Case Study: Contrasting the Economic Assessment Tools B£ST and TEEB. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, 6(4), 05020003. <https://doi.org/10.1061/JSWBAY.0000919>

- Hanan, H. (2013). Open Space as Meaningful Place for Students in ITB Campus. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 85, 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.361>
- Helsingborgs stad. (2020). Vertikala trädgårdar. <https://helsingborg.se/trafik-och-stadsplanering/planering-och-utveckling/natur-och-kultur/vertikala-tradgardar/>
- Hoyer, J., Dickhaut, W., Kronawitter, L., Weber, B. & Sensitive, W. (2011). *Water Sensitive Urban Design Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the Future*. Jovis Verlag.
- Hsieh, C.-H. & Davis, A. P. (2005). *Evaluation and Optimization of Bioretention Media for Treatment of Urban Storm Water Runoff* (tekn. rapport). <https://doi.org/10.1061/ASCE0733-93722005131:111521>
- Integritetsskyddsmyndigheten. (2021). Introduktion till dataskyddsförordningen —IMY. <https://www.imy.se/privatperson/dataskydd/introduktion-till-gdpr/>
- Kalmykova, Y., Strömvall, A. M., Rauch, S. & Morrison, G. (2009). Peat filter performance under changing environmental conditions. *Journal of Hazardous Materials*, 166(1), 389–393. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2008.11.062>
- Klimatanpassning. (2019). Dagvatten och spillvatten. <https://www.klimatanpassning.se/hur-samhallet-paverkas/vatten-och-avlopp/dagvatten-och-spillvatten-1.107468>
- Kretslopp och vatten. (2018). *Skyfallsutredning Gibraltarvallen* (tekn. rapport). Göteborgs Stad. Göteborg.
- Kretsloppskontoret. (2010). *Dagvatten, så här gör vi! Handbok för kommunal planering och förvaltning*. Göteborgs stad. <https://goteborg.se/wps/wcm/connect/d52c992f-e263-4e67-9097-0ae1b2069e6e/Dagvattenhandbok%2B2010.pdf?MOD=AJPERES>
- Kumar, V., Pandita, S., Singh Sidhu, G. P., Sharma, A., Khanna, K., Kaur, P., Bali, A. S. & Setia, R. (2021). Copper bioavailability, uptake, toxicity and tolerance in plants: A comprehensive review. *Chemosphere*, 262, 127810. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.127810>
- Köhler, M. & Ksiazek-Mikenas, K. (2018). Green Roofs as Habitats for Biodiversity. *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability*, 239–249. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00022-7>
- Landström, K., Lindgren, L., Mossdal, J., Persson, M. & Edlund, G. (2020). *Riktlinjer och riktvärden för utsläpp av förorenat vatten till dagvattennät och recipient R2020:13* (tekn. rapport). Göteborgs Stad. Göteborg. <https://goteborg.se/mfrapporter>
- Larm, T. & Blecken, G. (2019). *Utformning och dimensionering av anläggningar för rening och flödesutjämning av dagvatten* (tekn. rapport). www.svensktvatten.se
- Lindfors, L.-G. & Director, S. (2006). The climate impact of energy peat utilisation – comparison and sensitivity analysis of Finnish and Swedish results. www.ivl.se,
- Malmqvist, P.-A. (1983). *Urban Stormwater Pollutant Sources* (tekn. rapport).
- Meenar, M., Heckert, M. & Adlakha, D. (2022). “Green Enough Ain’t Good Enough:” Public Perceptions and Emotions Related to Green Infrastructure in Environmental Justice Communities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3). <https://doi.org/10.3390/IJERPH19031448>
- Mehta, V. (2014). Evaluating Public Space. *Journal of Urban Design*, 19(1), 53–88. <https://doi.org/10.1080/13574809.2013.854698>
- Mikkelsen, P. S., Häfliger, M., Ochs, M., Jacobsen, P., Tjell, J. C. & Boller, M. (1997). Pollution of soil and groundwater from infiltration of highly contaminated stormwater – A case study. *Water Science and Technology*, 36(8-9), 325–330. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00578-7](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00578-7)

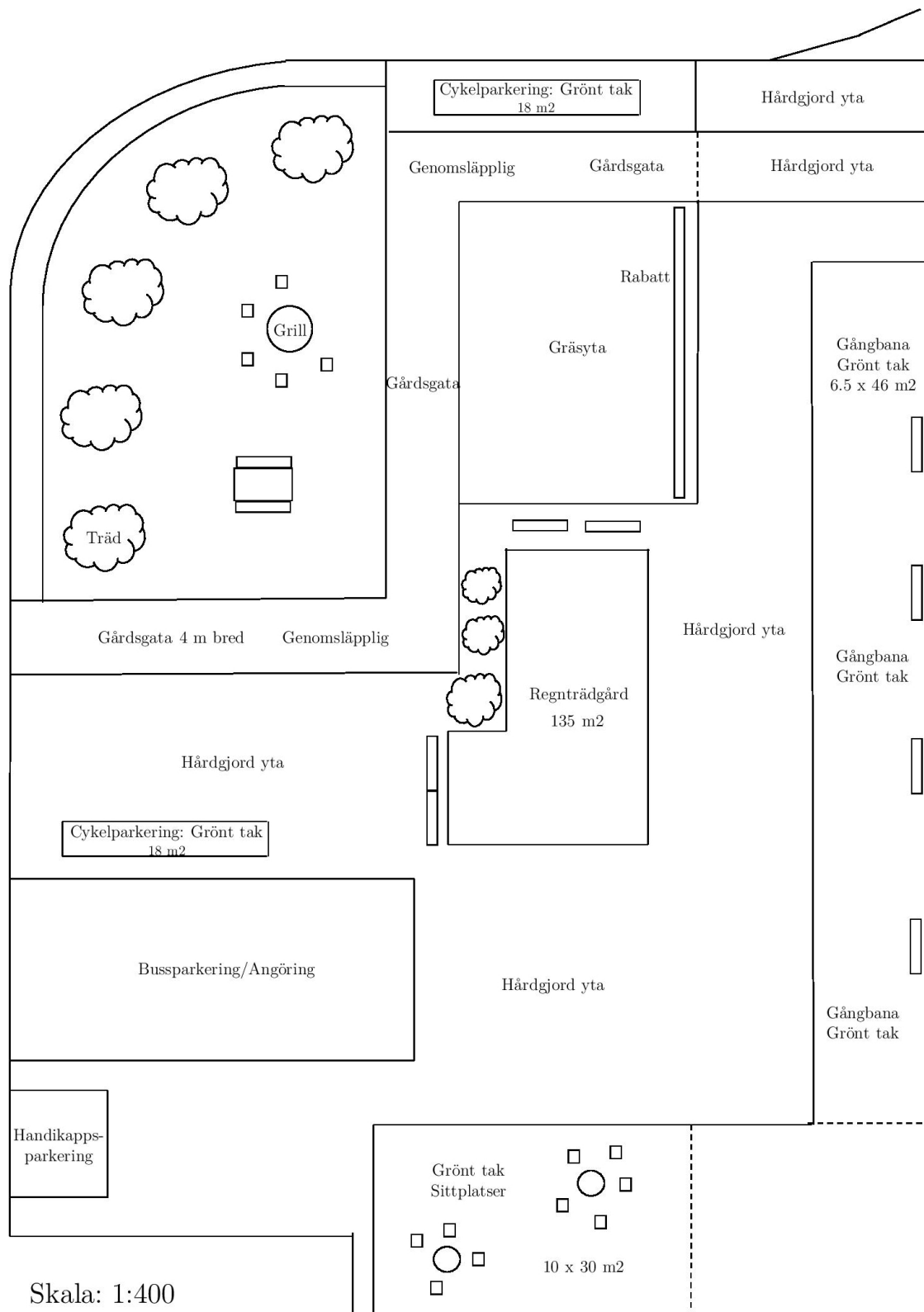
- Milovanović, I., Hedström, A., Herrmann, I. & Viklander, M. (2022). Performance of a zeolite filter treating copper roof runoff. *Urban Water Journal*. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2022.2031230>
- Morash, J., Wright, A., LeBleu, C., Meder, A., Kessler, R., Brantley, E. & Howe, J. (2019). Increasing Sustainability of Residential Areas Using Rain Gardens to Improve Pollutant Capture, Biodiversity and Ecosystem Resilience. *Sustainability 2019, Vol. 11, Article number 3269, 11*(12). <https://doi.org/10.3390/SU11123269>
- Mumcu, S. & Yilmaz, S. (2016a). Seating Furniture in Open Spaces and Their Contribution to the Social Life kap 10.
- Mumcu, S. & Yilmaz, S. (2016b). Urban Green Areas and Design Principles kap 6. I Recep Efe İsa Cürebal Abdalla Gad Brigitta Tóth (Red.).
- Naturvårdsverket. (u. å-a). Effekter i Sverige. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatfakta/klimatet-i-framtiden/effekter-i-sverige/>
- Naturvårdsverket. (u. å-b). Grön infrastruktur. <https://www.naturvardsverket.se/gron-infrastruktur>
- Naturvårdsverket. (2019). *Regeringsuppdrag att föreslå etappmål om dagvatten* (tekn. rapport).
- Naturvårdsverket. (2022). Dagvattenhantering i befintlig bebyggelse - Sveriges miljömål. <https://www.sverigemiljomal.se/etappmalen/dagvattenhantering-i-befintlig-bebyggelse/>
- Niemelä, J., Saarela, S.-R., Söderman, T., Kopperoinen, L., Yli-Pelkonen, V., Väre, S., Kotze, Á. D. J., Niemelä, J., Yli-Pelkonen, V., Kotze, Á. D. J., Saarela, S.-R., Söderman, Á. T., Kopperoinen, Á. L. & Väre, S. (2010). Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study. *Biodiversity and Conservation, 19*, 3225–3243. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9888-8>
- NSVA. (u. å). Bräddning och nödutsläpp. <https://www.nsva.se/vatten-och-avlopp/spillvatten/braddning-och-nodutslapp/>
- Palla, A., Sansalone, J. J., Gnecco, I. & Lanza, L. G. (2011). Storm water infiltration in a monitored green roof for hydrologic restoration. *Water Science and Technology, 64*(3), 766–773. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.171>
- Persson, J. (1999). *Bestämmande faktorer vid dammutformning* (tekn. rapport). Göteborg. https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/179690/local_179690.pdf
- Persson, J. & Pettersson, T. (2006). *Dagvattendammar - Om provtagning, avskiljning och dammhydraulik* (tekn. rapport).
- Petruzzello, M. (u. å). Transpiration. <https://www.britannica.com/science/transpiration>
- Pettersson, T. J. R., Pettersson, T. J. R., German, J. & Svensson, G. (1999). Pollutant removal efficiency in two stormwater ponds in Sweden. <https://www.researchgate.net/publication/279597910>
- Pettersson Skog, A., Malmberg, J., Emilsson, T., Jägerhök, T. & Capener, C.-M. (2021). *Grönatakhandboken* (tekn. rapport). <https://www.gronatakhandboken.se/pdf/>
- Physics LibreTexts. (2022). 12.1: Flow Rate and Its Relation to Velocity. [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/College_Physics/Book%3A_College_Physics_\(OpenStax\)/12%3A_Fluid_Dynamics_and_Its_Biological_and_Medical_Applications/12.01%3A_Flow_Rate_and_Its_Relation_to_Velocity](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/College_Physics/Book%3A_College_Physics_(OpenStax)/12%3A_Fluid_Dynamics_and_Its_Biological_and_Medical_Applications/12.01%3A_Flow_Rate_and_Its_Relation_to_Velocity)
- Robertson, D. M., Perlman, H. A. & Narisimhan, T. (2021). *Hydrological Cycle and Water Budgets* (tekn. rapport). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819166-8.00008-6>

- Rosén, L., Back, P.-E., Söderqvist, T., Soutukorva, Å. & Brodd och Lars Grahn, P. (2009). *Multikriterieanalys (MKA) för hållbar efterbehandling av förorenade områden* ISBN 978-91-620-5891-3 (tekn. rapport). Naturvårdsverket. www.naturvardsverket.se
- Roulston, K. (2010). *Reflective Interviewing: A Guide to Theory and Practice*. SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.4135/9781446288009>
- SCALGO Live Documentation. (2022).
- SGU. (2020). Anläggning av brunn. <https://www.sgu.se/grundvatten/brunnar-och-dricksvatten/anlaggning-av-brunn/>
- Shaw Yu, B. L., Kuo, J.-T., Fassman, E. A. & Pan, H. (2001). Field Test of Grassed-Swale Performance in Removing Runoff Pollution. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 168–171.
- Skogen. (u. å). Ytavrinning. <https://www.skogen.se/glossary/ytavrinning>
- SMHI. (2017). Klimatberäkningar visar på mer extremt väder. <https://www.smhi.se/forskning/forskningsnyheter/nya-klimatberakningar-visar-pa-mer-extremt-vader-1.12922>
- SMHI. (2021a). Avrinningsområde. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/avrinningsomraden/avrinningsomrade-1.6704>
- SMHI. (2021b). Sveriges klimat har blivit varmare och blötare — SMHI. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/sveriges-klimat-har-blivit-varmare-och-blotare-1.21614>
- SMHI. (2021c). Vattnets kretslopp - förenar hydrologi, meteorologi och oceanografi — SMHI. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/vattnets-kretslopp/vattnets-kretslopp-forenar-hydrologi-meteorologi-och-oceanografi-1.20615>
- SMHI. (2021d). Återkomsttider. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/extremer/aterkomsttider-1.89085>
- Speight, J. G. (2017). *Chapter 6 - Introduction Into the Environment* (tekn. rapport). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804492-6.00006-X>
- Stagge, J. H., Davis, A. P., Jamil, E. & Kim, H. (2012). Performance of grass swales for improving water quality from highway runoff. *Water Research*, 46, 6731–6742. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.02.037>
- Stahre, P. (2008). *Blue-green fingerprints in the city of Malmö, Sweden: Malmö's way towards a sustainable urban drainage*. Va syd.
- Statens vegvesen. (2017). Adsorbents for infiltration based highway stormwater treatment in Norway.
- Sue, V. M. & Ritter, L. A. (2007). Conducting online surveys, 194.
- Sue, V. M. & Ritter, L. A. (2011). *Conducting Online Surveys* - Valerie M. Sue, Lois A. Ritter - Google Böcker. https://books.google.se/books?id=4.3aX2A2S98C&printsec=frontcover&dq=digital+survey+response+rate&hl=sv&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Svenskt Vatten. (2011). *Hållbar dag- och dränvattenhantering - råd vid planering och utförande*. TMG Tabergs AB.
- Svenskt Vatten. (2016). Avledning av dag-, drän-och spillvatten.
- Svenskt Vatten. (2019). Råd vid mottagande av avloppsvatten från industri och annan verksamhet.
- Svenstrup, A. (2012). *Dagvattenhantering med Rain Garden* (Tekn. rapport). SLU. Malmö.

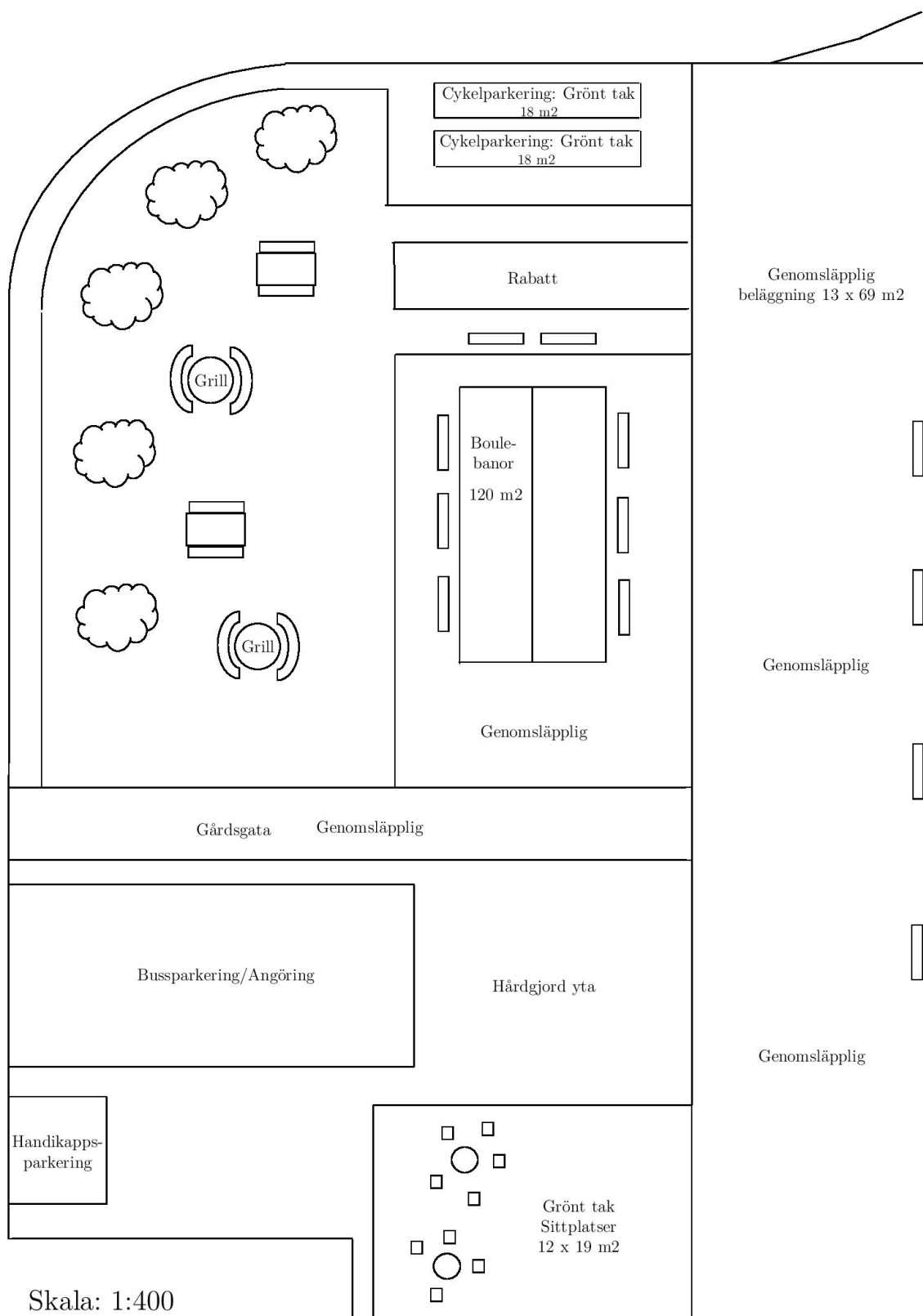
- Søberg, L. C., Viklander, M. & Blecken, G. T. (2014). *The influence of temperature and salt on metal and sediment removal in stormwater biofilters* (tekn. rapport Nr 11). IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/WST.2014.161>
- Söreljus, H. (2020). ”Vi måste se dagvatten som en resurs”. <https://www.ri.se/sv/berattelser/vi-maste-se-dagvatten-som-en-resurs>
- Sörme, L. & Lagerkvist, R. (2002). Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm. *Science of the Total Environment*, 298(1-3), 131–145. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00197-3](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00197-3)
- Trafikverket. (2019). Raingardens for stormwater management-potential of raingardens in a Nordic climate.
- Uponor. (u. å). Dagvattenmagasin lagrar och fördröjer dagvattnet. <https://www.uponor.com/sv-se/infra/produkter/dagvattensystem/magasinerings>
- VA-guiden. (u. å). Översilningsytor. <https://vaguiden.se/dagvatten/anlaggningswiki/oversilningsyta/>
- VA-guiden. (2013). Ordlista med dagvattenrelaterade uttryck. <https://vaguiden.se/2013/01/ordlista-med-dagvattenrelaterade-uttryck/>
- Vattenmyndigheterna. (u. å). Ordlista — R. <https://www.vattenmyndigheterna.se/om-vattenmyndigheterna/ordlista/r.html#h-Recipient%20https://sydvatten.se/vattenfakta/ordlista/>
- Welser, K. (2011). *Gröna tak - en glömd resurs* (doktorsavhandling). Blekinge Tekniska Högskola. Karlskrona.
- Wenke, C. (u. å). *4.2 Multifunktionella ytor i Frihamnen* (tekn. rapport). Ramböll. <http://klimatsakradstad.se/media/2017/12/4.2-Multifunktionella-ytor-i-Frihamnen.pdf>
- Werthmann, C. (2007). *Green Roof - A Case Study* (S. Hart & J. Thompson, Red.; First). Princeton Architectural Press.
- Westerlund, C. (2007). *Road Runoff Quality in Cold Climates* (doktorsavhandling). Luleå University of Technology. Luleå.
- Whyte, H. W. 1. (1980). The social life of the small urban space, 16–50.
- Viklander, M., Österlund, H., Müller, A., Marsalek, J. & Borris, M. (2019). *Kunskapsmanställning Dagvattenkvalitet* (tekn. rapport). Svenskt Vatten. www.svensktvatten.se
- Winston, R. J., Asce, A. M., Hunt, W. F., Asce, M., Kennedy, S. G., Wright, J. D. & Lauffer, M. S. (2012). Field Evaluation of Storm-Water Control Measures for Highway Runoff Treatment. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000454](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000454)
- Virginia DCR. (2013). *Bioretention 2.0* (tekn. rapport). https://swbmpvwrrc.wp.prod.es.cloud.vt.edu/wp-content/uploads/2018/07/BMP_Spec_No_9_BIORETENTION.pdf
- Wojciechowska, E., Gajewska, M., Nawrot, N., Kilanowska, M. & Obarska-Pempkowiak, H. (2021). Combination Of Architectural, Environmental And Social Aspects In Urban Stormwater Management. A Case Study Of The University Campus. *International Journal of Conservation Science*, 12(SpecialIssue 1), 681–700.
- Yau Seng Mah, D., Author, C., Lau, J. T. & S Mah, D. Y. (2018). Green wall for retention of stormwater Flood Risk Management View project Flood Mitigation View project SCIENCE & TECHNOLOGY Green Wall for Retention of Stormwater. *Article in Pertanika Journal of Science and Technology*, 26(1), 283–298. <http://www.pertanika.upm.edu.my/>

A Bilagor

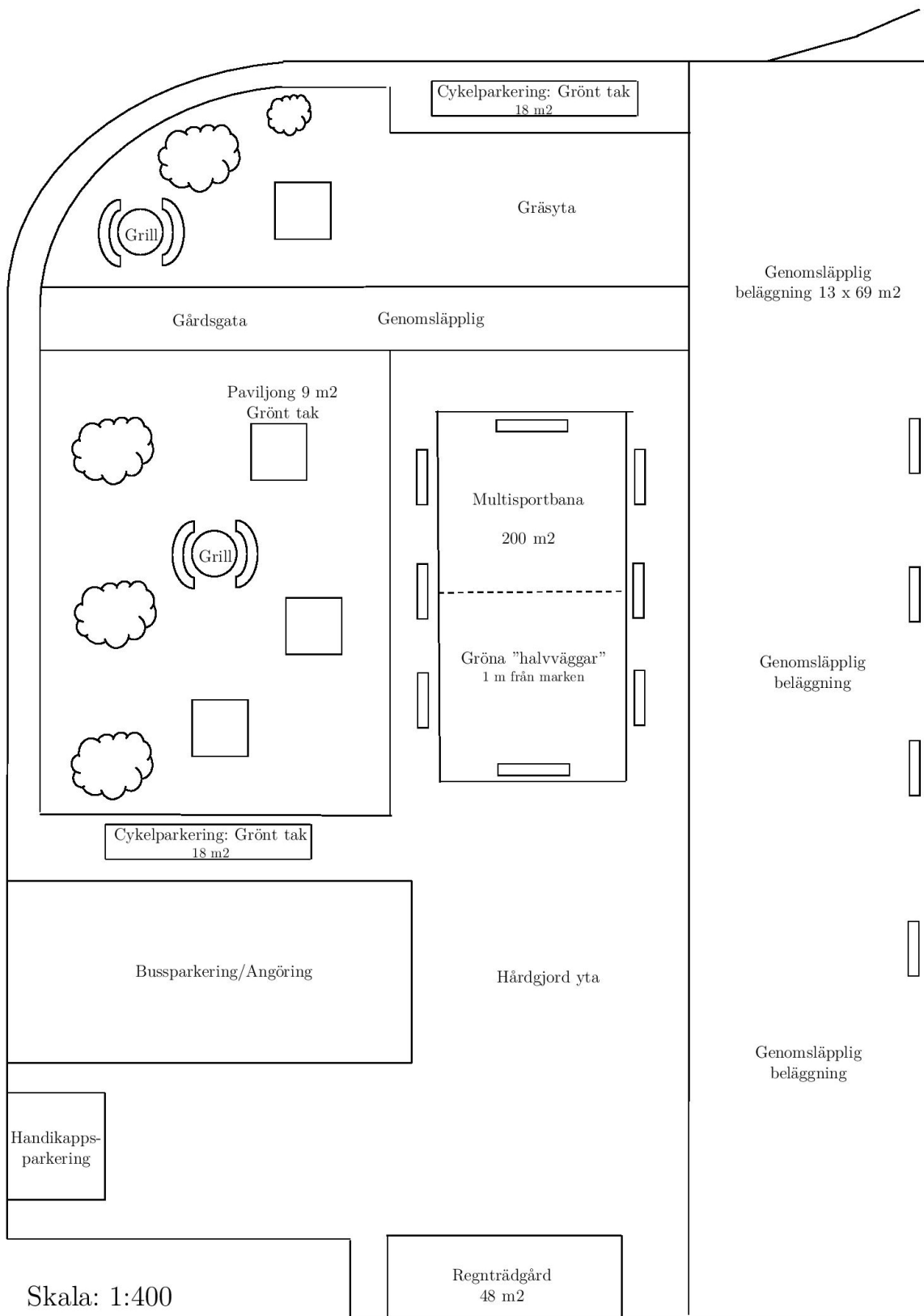
A.1 Lösningförslag



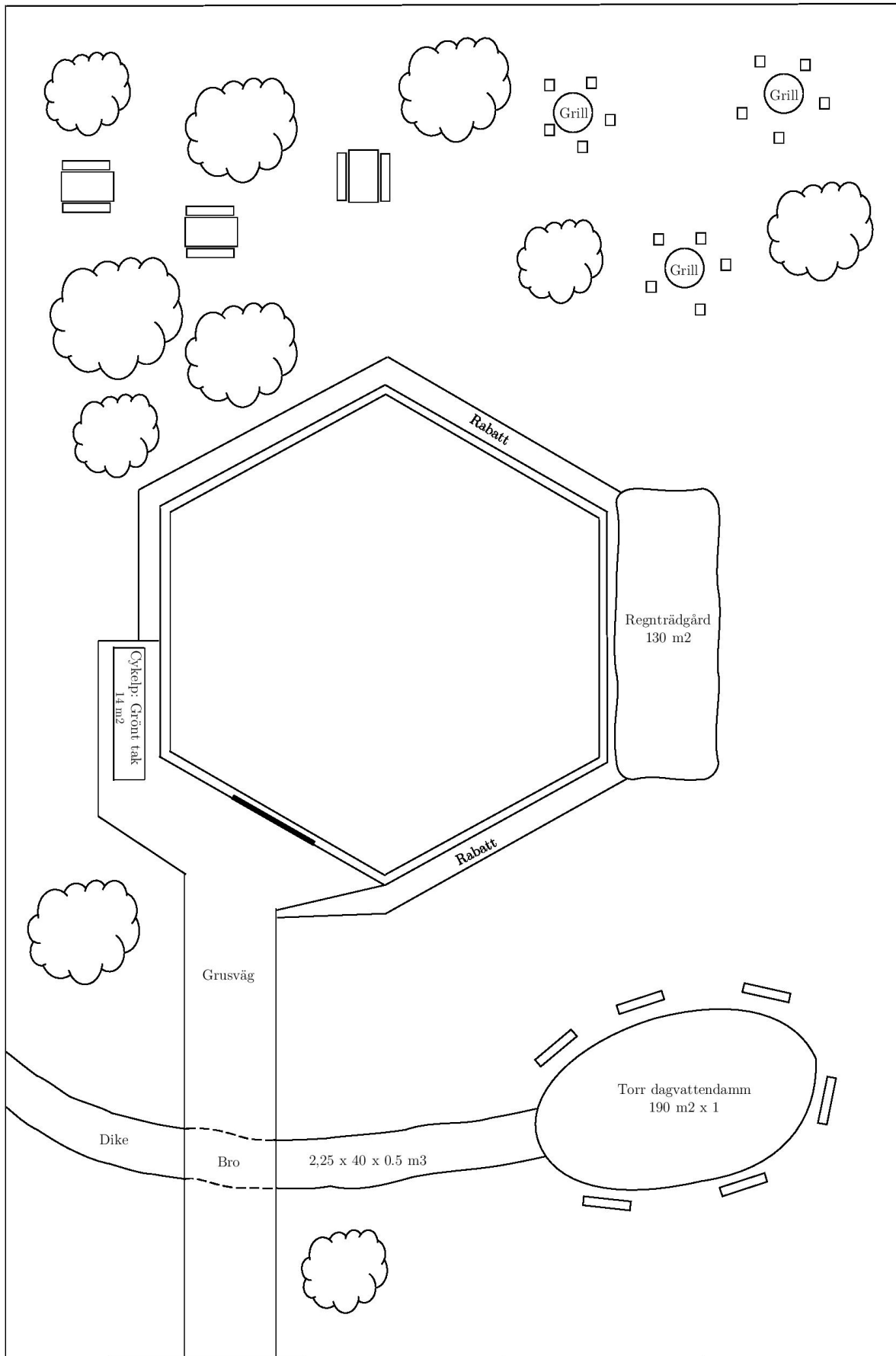
Figur A.1: Lösningförslag 1 för Chalmersplatsen.



Figur A.2: Lösningförslag 2 för Chalmersplatsen.

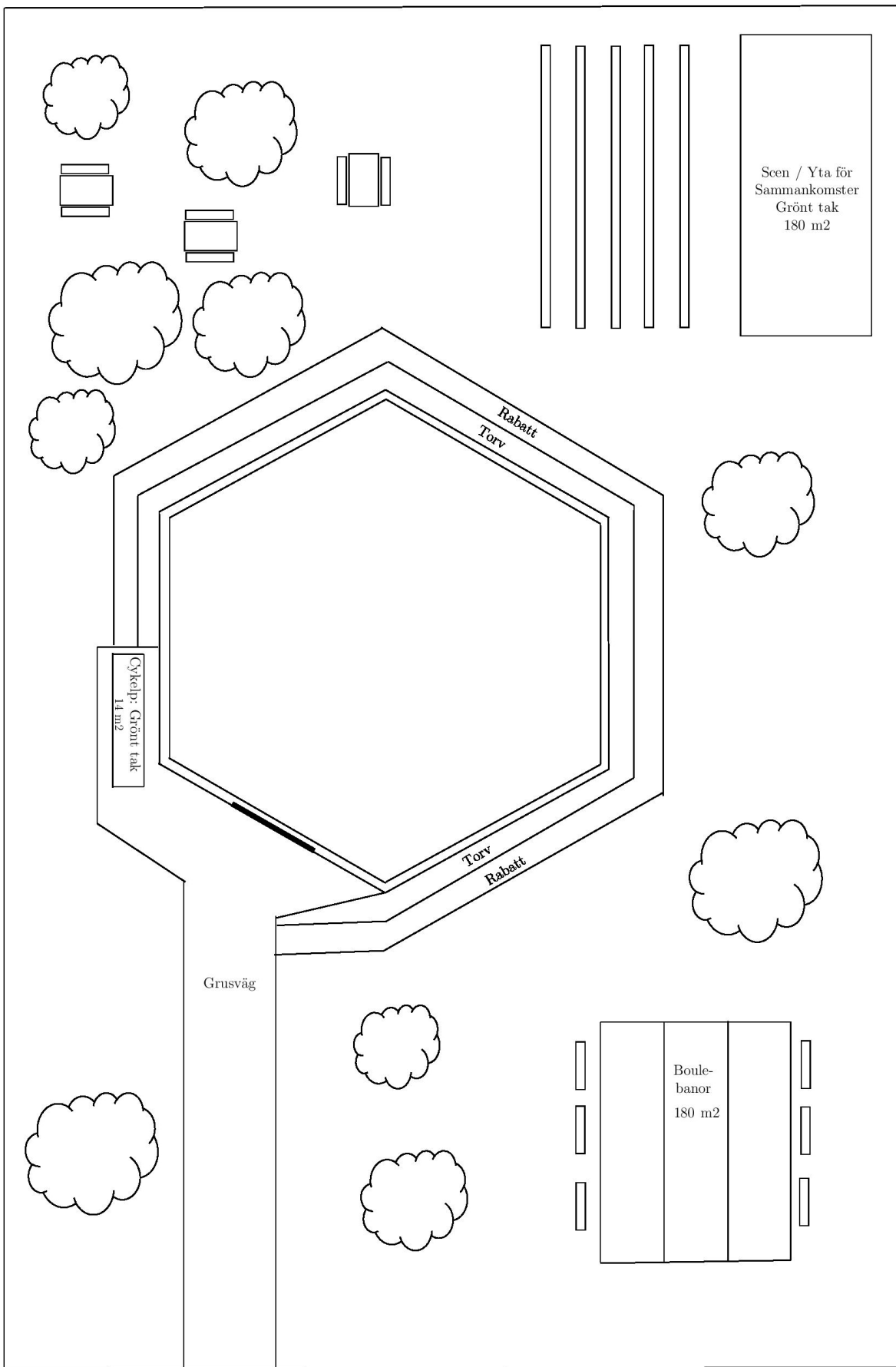


Figur A.3: Lösningförslag 3 för Chalmersplatsen.



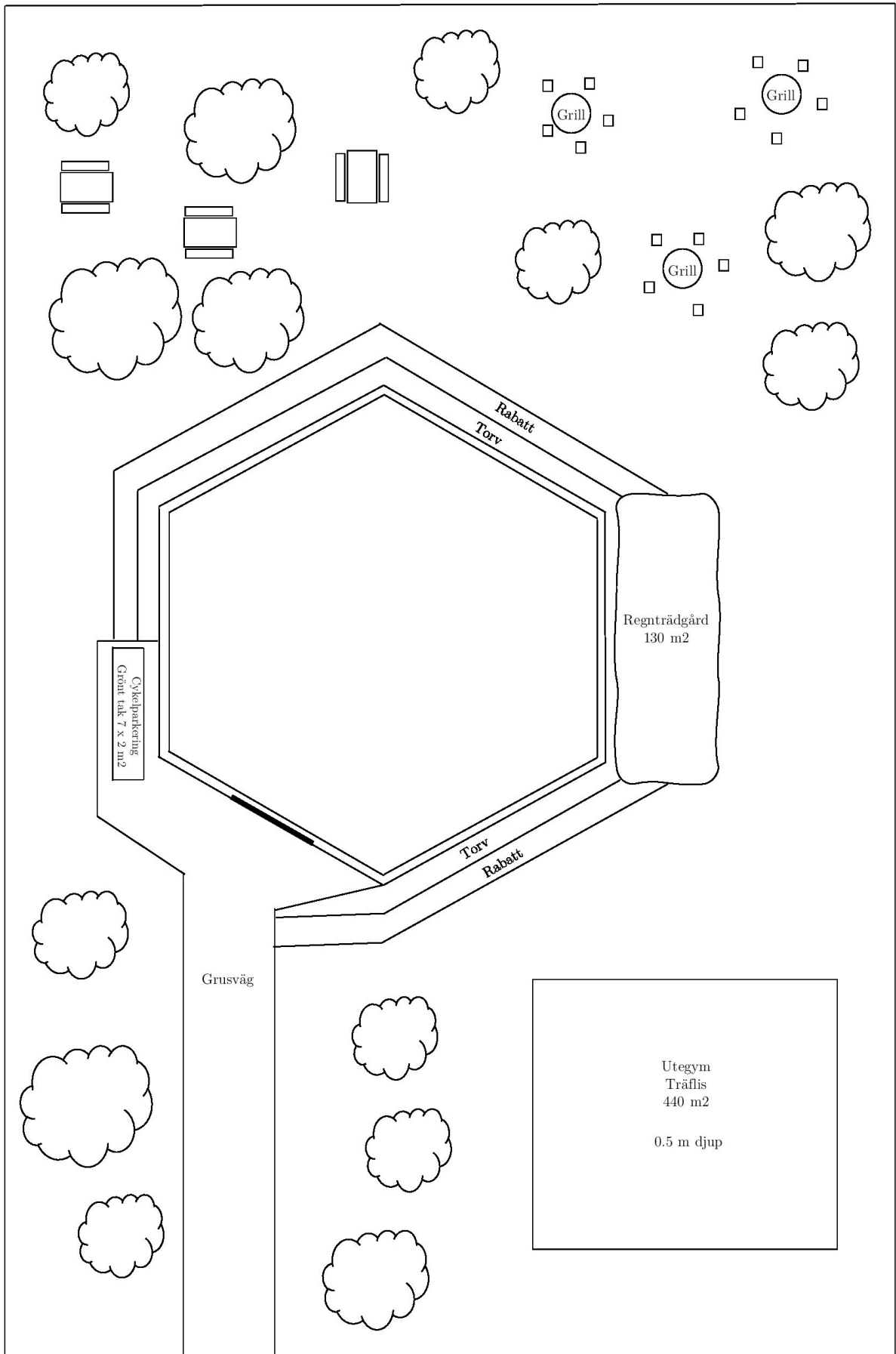
Skala: 1:400

Figur A.4: Lösningförslag 1 för Kopparbunken.



Skala: 1:400

Figur A.5: Lösningförslag 2 för Kopparbunken.



Skala: 1:400

Figur A.6: Lösningförslag 3 för Kopparbunken.

A.2 Beräkning av multikriterieanalys

Tabell A1: Uträkning från MKA på Chalmersplatsen med förkortade kriterier. Se tabell 5 för kriterier och dess enheter. Samtliga värden finns redovisade i avsnitt 3.6, 3.7.2, i bild i bilaga A.1, A.2 och A.3. Parametrar kan avläsas i bilaga A2.

Krit.	Lösning 1	Lösning 2	Lösning 3
FV [m ³]	135	$(8 \cdot 15) + (13 \cdot 69 \cdot 0,4)$	$(10 \cdot 20) + (13 \cdot 69 \cdot 0,4) + 48$
UH [-]	3950	5939	4788
S [st]	45	68	60
K [m ²]	599	12·19	4·9
G [m ²]	135+599	$(12 \cdot 19) + (8 \cdot 15) + (22 \cdot 8)$	40+48+(19·10)
SY [m ²]	45/3	$(8 \cdot 15) + (68/3)$	$(10 \cdot 20) + (60/3)$
BM [st]	$(135 \cdot 0,5) + 40$	$(4 \cdot 15 \cdot 0,5) + 1 + 40$	1+6
RF [m ³]	$(135 \cdot 0,7) + (789 \cdot 0,4)$	$(1580 \cdot 0,4) + (846 \cdot 0,4)$	$(48 \cdot 0,7) + (1117 \cdot 0,4) + (919 \cdot 0,4)$

Tabell A2: Parametrar av värden i bilaga A1 på Chalmersplatsen, där RG står för regnträdgård, BB för boulebana, GB för genomsläpplig beläggning, MSB för multisportbana, GT för gröna tak, P för paviljong, G för gräsmatta, GV för gröna väggar, SP för sittplats, R för rabatt, F för faktor.

Krit.	Lösning 1	Lösning 2	Lösning 3
FV [m ³]	V_{RG}	$V_{BB} + V_{GB}$	$V_{MSB} + V_{GB} + V_{RG}$
UH [-]	3950	5939	4788
S [st]	45	68	60
K [m ²]	A_{GT}	A_{GT}	A_P
G [m ²]	$A_{RG} + A_{GT}$	$A_{GT} + A_{BB} + A_G$	$A_{GV} + A_{RG} + A_G$
SY [m ²]	A_{SP}	$A_{BB} + A_{SP}$	$A_{MSB} + A_{SP}$
BM [st]	$\#_{RG} + \#_{GT}$	$\#_R + \#_{GB} + \#_{GT}$	$\#_{GB} + \#_{GV}$
RF [m ³]	$(A_{RG} \cdot F_{RG}) + (A_G \cdot F_G)$	$(A_{GB} \cdot F_{GB}) + (A_G \cdot F_G)$	$(A_{RG} \cdot F_{RG}) + (A_{GB} \cdot F_{GB}) + (A_G \cdot F_G)$

Tabell A3: Uträkning för MKA vid Kopparbunken med förkortade kriterier. Se tabell 5 för kriterier och dess enheter. Samtliga värden finns redovisade i avsnitt 3.6, 3.7.2 och bilaga A.4, A.5 och A.6.

Krit.	Lösning 1	Lösning 2	Lösning 3
FV [m ³]	$190 + 130 + (0,5 \cdot 40 \cdot 2,25)$	$(12 \cdot 15) + (94/2)$	$(22 \cdot 20 \cdot 0,5) + 130 + (94/2)$
UH [-]	5403	5233	5623
S [st]	51	111	33
K [m ²]	0	180	0
G [m ²]	440	0	260
SY [m ²]	51/3	$180 + 180 + (111/3)$	$440 + (33/3)$
BM [st]	$(0,5 \cdot 130) + 1 + 1$	40	$(0,5 \cdot 130)$
RF [%]	65	90	96,5

Tabell A4: Parametrar av värden i tabell A3 för Kopparbunken, där index DD står för dagvattendamm, RG står för regnträdgård, SD står för svackdike, BB för boulebana, T för torv, UG står för utegym, G för gräsmatta, SP för sittplats, S för scen, RF för renande förmåga.

Krit.	Lösning 1	Lösning 2	Lösning 3
FV [m ³]	$V_{DD}+V_{RG}+V_{SD}$	$V_{BB}+V_T$	$V_{UG}+V_{RG}+V_T$
UH [-]	5403	5233	5623
S [st]	51	111	33
K [m ²]	A_{GT}	A_{GT}	A_{GT}
G [m ²]	A_G	A_G	A_G
SY [m ²]	A_{SP}	$A_{BB}+A_S+A_{SP}$	$A_{UG}+A_{SP}$
BM [st]	$\#_{RG}+\#_{DD}+\#_{SD}$	$\#_{GT}$	$\#_{RG}$
RF [%]	RF_{RG}	RF_T	$(1 \cdot RF_T)+[(1-(1 \cdot RF_T)) \cdot RF_{RG}]$

A.3 Beräkning av koppar i jord

$$m_{Cu} = \text{vikt avrunnet koppar per år} = 1340000 \text{ [mg]}$$

$$\rho_{jord} = \text{antagen densitet för jord} = 1200 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$M_{CuCrit} = \text{Antaget gränsvärde för toxiska nivåer koppar i jord} = 400 \text{ [mgCu/kg}_{jord}\text{]}$$

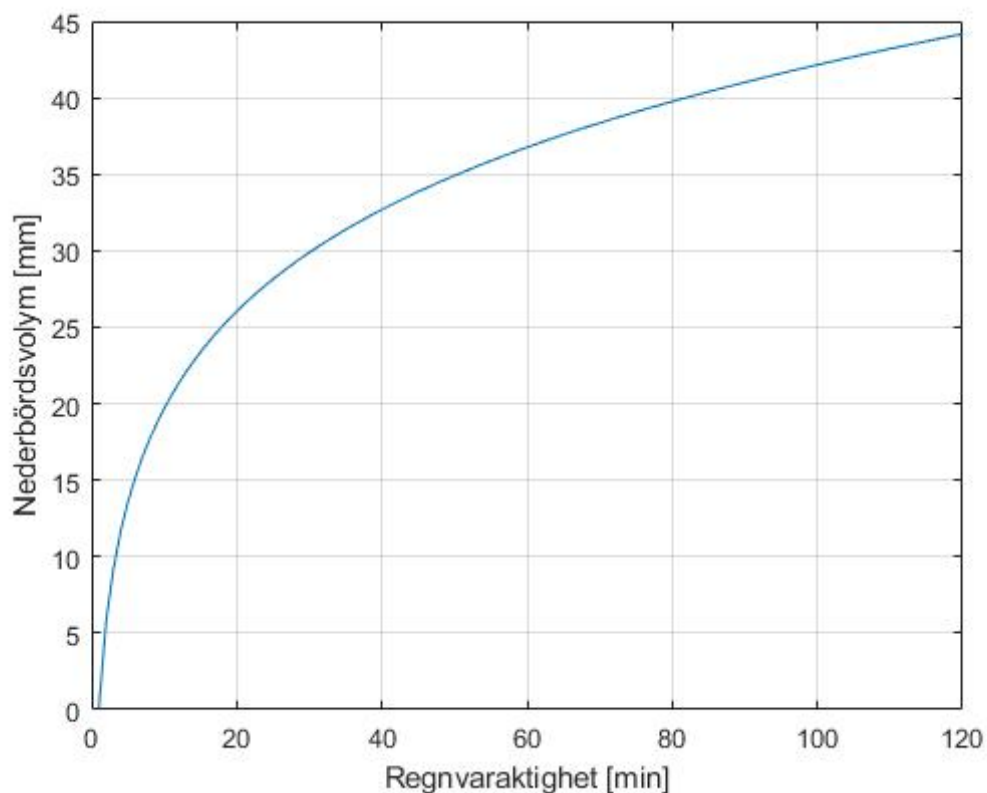
$$m_{jordDim} = \text{Dimensionerande vikt jord för att klara gränsvärdet} \text{ [kg]}$$

$$V_{jordDim} = \text{Dimensionerande volym jord för att klara gränsvärdet} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$m_{jordDim} = m_{Cu}/M_{CuCrit} = 3350 = 1340000/400$$

$$V_{jordDim} = m_{jordDim}/\rho_{jord} = 2.8 = 3350/1200$$

A.4 Beräkning av nederbördsvolym



Figur A.7: Nederbördsvolym vid varierande varaktighet för nederbörd med en återkomsttid på 30 år.

```

T=30*12; %Återkomsttid 30 år i månader
tr=linspace(0,120,120); %Varaktighet
i=190*(T^(1/3)).*((log(tr))./(tr.^(0.98)))+2; %Ekvation 4.5 P110 (Svenskt Vatten, 2016) [l/s/ha]

%Omvandling till mm:
mm=i.*(10^-4).*tr.*60;

%Plot
plot(tr,mm);
xlabel('Regnvaraktighet [min]');
ylabel('Nederbördsvolym [mm]');
grid on

```

Figur A.8: Matlabkod tillhörande figur A.7. Ekvation 4.5 från Svenskt Vatten, 2016

A.5 Enkät

Enkäten bestod av följande 20 frågor. Flervalsoalternativet ”other” innebar fritextsvar. Fråga 11-15 hade bilder på respektive dagvattenlösning.

1. What is your occupation at campus?

- Student
- Employed
- Other

2. At which area do you spend the most time?

- A
- B
- C
- D
- E
- Other

3. Which alternative best fit your movement pattern on campus when it does not rain?

- I walk between lecture halls/premises
- I spend time outside while eating and socializing
- I study outside
- I rather avoid campus all together
- None of the above
- Other

4. Which alternative best fit your movement pattern on campus when it rains?

- I walk between lecture halls/premises
- I spend time outside while eating and socializing
- I study outside
- I rather avoid campus all together
- None of the above

Other

5. What is your overall experience of campus when it rains?

Very poor	1	2	3	4	5	Very good
-----------	---	---	---	---	---	-----------

6. What is your experience of campus when it rains? Motivate your previous answer (not required, but appreciated).

7. To which extent do you agree with: "It is easy and convenient to find shelter when it rains".

I do not agree	1	2	3	4	5	I agree
----------------	---	---	---	---	---	---------

8. To which extent do you agree with: "I need to focus on avoiding pools of water at campus".

I do not agree	1	2	3	4	5	I agree
----------------	---	---	---	---	---	---------

9. To which extent do you agree with: "After heavy rain, the ground quickly dries".

I do not agree	1	2	3	4	5	I agree
----------------	---	---	---	---	---	---------

10. What can improve your experience of campus when it rains?

- Art and decor influenced by weather
- More green areas, plants and trees
- Rental of umbrellas
- Seating with protection from the rain
- Shelter from the rain over walkways
- Other

11. How do you rate the suggested solution to stormwater management: Rain garden (Regnträdgård)

Very poor	1	2	3	4	5	Very good
-----------	---	---	---	---	---	-----------

12. How do you rate the suggested solution to stormwater management: Green roofs (Gröna tak)

Very poor	1	2	3	4	5	Very good
-----------	---	---	---	---	---	-----------

13. How do you rate the suggested solution to stormwater management: Stormwater pond (Dagvattendamm)

Very poor	1	2	3	4	5	Very good
-----------	---	---	---	---	---	-----------

14. How do you rate the suggested solution to stormwater management: Green walls (Gröna väggar)

Very poor	1	2	3	4	5	Very good
-----------	---	---	---	---	---	-----------

15. How do you rate the suggested solution to stormwater management: Slope ditch (Svackdike)

Very poor	1	2	3	4	5	Very good
-----------	---	---	---	---	---	-----------

16. How do you rate the suggested solution to stormwater management: Seating with shelter from the rain

Very poor	1	2	3	4	5	Very good
-----------	---	---	---	---	---	-----------

17. Which type of activities would you like to see in a multifunctional space?

- Multisport court
- Minigolf
- Outdoor padel court
- Outdoor gym
- Public grilling area
- Tanning beds
- Space for larger public gatherings such as student activities
- No opinion
- Other

18. Which suggestions do you think could improve the social experience at Chalmersplatsen?

- Measures for noise pollution
- More seating
- Raingarden
- Shelter from the rain
- Seating with shelter from the rain
- Some sort of activity space (see question above)
- Space for larger public gatherings such as student activities
- Stormwater pond
- No opinion
- Other

19. Which suggestions do you think could improve the social experience at Kopparbunken?

- More seating
- Shelter from the rain
- More green areas, plants or trees
- Some sort of activity space (see question above)
- I do not spend much time in this area
- No opinion
- Other

20. Do you have any suggestions on how to improve the outdoor space at campus? Please have all weather conditions in mind.

A.6 Intervjuer

Följande är intervjuer som har genomförts inom projektet:

A.6.1 Chalmersfastigheter, 15 februari, 2022

Chalmersfastigheter är ett fastighetsbolag som är en av flera fastighetsägare på Chalmers Campus på Johanneberg. Ägandet av Chalmersplatsen består till största del av Chalmersfastigheter. Intervjun med Chalmersfastigheter hölls tillsammans med Anna Zahlbruckner och Niklas Angestedt, i en lokal på deras kontor. Anna är Campus- och lokalutvecklare och jobbar med den långsiktiga utvecklingen av Campus Johanneberg och Lindholmen. Niklas är fastighetsansvarig och jobbar med planering och genomförande av underhållsarbete i deras fastigheter. Intervjun var semi-strukturerad och kretsade framför allt kring Chalmersplatsen och Campusplanen. Frågor som är av relevans för arbetet med tillhörande svar redovisas nedan:

Hur ser ni på dagvattenhanteringen på campus idag?

Lite komplex och problematisk, många VA-huvudmän. Det är kretslopp och vatten, akademiska hus och vi på Chalmersfastigheter har en liten del av det. Det är flera olika fastighetsägare sen så är kommunen inblandat i mångt och mycket med.

I campusplanen ser det ut som att en större byggnad ska uppföras på chalmersplatsen, hur ser det egentligen ut med det?

Absolut men nu är det en detaljplan som säger att det inte får bli en byggnad där. Campusplanen är ett visionsdokument på hur man tänker sig att campus skulle kunna se ut 2035 och 2050. Man har lokaliserat ytor där det finns en framtida möjlighet för byggnation. Men detaljplanen säger i dagsläget att denna yta ska vara ett torg.

Hur realistiskt är denna vision, framför allt gällande byggnaden på chalmersplatsen?

Jättesvårt att säga, ska det vara klart 2050 så är det väl 15 år tills att man börjar driva det lite. Man kan räkna med 7–10 år för en detaljplan som tillåter det. Vi har ett bygge nu på andra sidan hållplatsen inom kort, så jag antar att man väntar sig lite hur känslan blir när det kommer på plats och hur man integrerar det i helheten. Men allt handlar väl om gestaltningen och utformning. Vi har ett jättefint kårhus idag som har sitt uttryck med den glasade entrén utåt platsen så det är ju inte bara att smälla upp någonting.

Vi tänker att bland annat en regnträdgård hade passat där för att bemöta staden och vara ett ansikte utåt för Chalmers.

Ett intressant läge då hade vart att göra något som kan vara värt att ha där under tiden oavsett om det ska byggas på chalmersplatsen eller inte. Vi tittar på den ytan som något vi vill göra något med inom en lite mer överskådlig framtid eftersom vi tycker att Chalmersplatsen är väldigt ”understimulerad”. Men då gäller det att hitta balansen där om vad man kan göra som gör det till en bättre plats 20 år framöver, oavsett om vi ska bygga där eller inte.

Vilka faktorer tycker ni är viktiga i utformningen av en multifunktionell dagvattenlösning?

Diskussioner med kommunen är viktigt. Denna yta ska vara öppen för allmänheten så man behöver veta vad dom tycker ”stänger till” för det. Jag hade börjat med att kontakta någon på stadsbyggnadskontoret som sitter med detaljplanen för Holtermanska. Den detaljplanen ska stärka entrén för Chalmers.

Något att tänka på är att det ska vara access till alla byggnader vad gäller tillgänglighet. Jag har för mig att det finns en utrymningsväg/samlingsplats på platsen.

Finns det något speciellt som ni hade velat se i en lösning som vi skulle utforma?

Ingen specifik funktion riktigt utan snarare en känsla för platsen. Platsen är en transportsträcka mellan hållplatsen och campus, och det är ingen som vill stanna där. Det är ett fint öppet läge med sol men det är inget ställe man vill sitta på. Man hade kunnat göra den lika attraktiv som andra uteplatser i området och inkludera den i campus mer.

A.6.2 Akademiska Hus, 18 februari, 2022

Akademiska hus är ett statligt fastighetsbolag som äger fastigheter runt om i hela Sverige, vars statliga uppdrag är att stärka Sverige som kunskapsnation samt förvaltning av campus. Intervjun ägde rum den 18 februari 2022 med Sara Karlsson som jobbar med markförvaltning för Akademiska Hus. Intervjun berörde främst deras aktuella campusplan och vilka utmaningar som finns gällande dagvattenhantering i allmänhet och på Chalmers Campus Johanneberg i synnerhet. Ekologisk hållbarhet var ett återkommande samtalsämne genom hela intervjun.

En av Akademiska Hus uppgifter är att ta fram campusplaner tillsammans med universiteten för att skapa en visionär bild för framtidens campus. Campusplanen för Chalmers togs fram 2019 men all planering tar tid. Den stora problematiken med dagvattenhantering på campus är att få in många funktioner på en liten yta.

Vid Kopparbunken behövs någon rening av den koppars som avrinner Kopparbunkens tak och väggar. Det finns planer på att bygga en park runt och eventuellt frilägga Kopparbunken och denna park ska främja infiltrationen av dagvattnet i området. I nuläget finns filterbrunnar utplacerade intill Kopparbunken, men råder osäkerhet om hur bra de fungerar. En utmaning som nämns för just Campus Johanneberg är att det byggts storskaligt med "stora klossar" och inte i den mänskliga skalan och att portalen kan uppfattas som stängd mot resten av staden. Både Kopparbunken och Chalmersplatsen står inför utmaningen att utgöra gränser så att tillhörighet inom campus skapas men samtidigt en öppenhet för staden.

Vidare vill Akademiska Hus uppmuntra mer till idrott och hälsa genom sin utformning av campus samt låta campusområdet vara en plats för studenter att utföra praktiska moment och testbygga som en del av lärandet. Studenters åsikter är viktiga och givande då de inte är lika påverkade av olika regler.

Intervjun landar i att det alltid landar i det ekonomiska, och att det därför är viktig att visa på de långsiktiga fördelarna och inte bara på kostnaden just nu. Kostnaden i planeringsfas är relativt liten i förhållande till kostnaden efter en översvämning. Avslutningsvis vill Akademiska Hus gynna en ökad biologisk mångfald på campus och därigenom främja olika ekosystemtjänster och det naturnära som har en positiv inverkan på hantering av vatten.

A.6.3 Göteborgs Stad (Kretslopp och Vatten), 9 mars, 2022

Göteborgs Stad (Kretslopp och Vatten) är lokala myndigheter och har ansvar för förvaltningen av dricksvatten, dagvatten, avledning av avloppsvatten till reningsverket och inhämtande av hushållsavfall.

Intervjun tillsammans med Lena Blom och Helén Galfi utfördes på Göteborgs Stad (Kretslopp och Vatten) kontor där vi fysiskt fick besöka deras "rain garden" som de anlagt utanför byggnaden. Lena är en adjungerad professor i hållbara vatten- och avloppssystem vid avdelningen för vatten miljö teknik, forskningstema Dricksvatten i samhället – riskhantering för råvattentäkter och behandlings-

metoder på Chalmers samt en strategisk samordnare tillsammans med Helén på Göteborgs Stad (Kretslopp och Vatten).

Intervjun utfördes semi-strukturellt där samtalsämnen så som *dagvattenkvalitet*, *dagvattenrening* och *Kopparbunken* var fokusområden. Frågor av relevans samt svar redovisas nedan:

Angående utredning för dagvattenrening för Kopparbunken har Akademiska Hus installerat filterbrunnar. Är det ni som utför uppföljning på detta?

Den informationen har inte Göteborgs Stad då ansvaret nu ligger hos Akademiska hus men det måste finnas information i utredningsrapporten. Akademiska Hus står för beställningen av en utredning och uppföljningen som sker därefter. Göteborgs Stad ansvarar för att komma med råd och tips. Akademiska hus kan ha handlat upp någon som sköter mätningar och uppföljning men dom har ansvaret över att uppnå vissa kvalitetskrav. Akademiska hus kan ha förhandlat detta hos Miljöförvaltningen och de är dom som sätter ramar och regler kring dagvattenkvalité.

Hur sker en sådan uppföljning?

Med en provtagare och flödesmätare mäter man inkommande vatten (innan det når filtret). Sen tar man mätningar hos recipienten, det utgående vattnet efter filter. Filterbrunnar används mest av trafikkontoret som kopplas samman med ledningar som leder till Kretslopp och Vattens ledningsnät. Man mäter under regniga dagar, jämför mätningarna med ett riktvärde och sedan rapporterar till miljöförvaltningen. Det är viktigt att göra en mätning innan reningen för att kunna göra jämförelser då filtret ger sämre rening över tid. Vanligtvis byter man ett brunnsfilter 1-3 gånger per år.

Varför valde ni filterbrunnar som lösning till Kopparbunken? Finns det någon annan lämpligare lösning för kopparbunken och generellt för vattenrening?

Filterbrunnar valdes för Kopparbunken då det fungerar bra när hanteringen av dagvattenrening från en byggnad behövs. Filtrationsbrunnar fungerar till 50-60% men måste kombineras med andra åtgärder för att nå upp till riktvärden. Om man vill uppnå samma resultat för ett större område rekommenderas en annan dagvattenlösning då filterbrunnar inte blir tillräcklig.

Hur hanterar ni andra platser som bidrar med hög koncentration av koppar(och andra metaller) till dagvattnet? Har ni några utredningar där arbetet är mer utförligt/har uppnått resultat?

Vi har ett pågående projekt som handlar om dagvattnet som rinner längs med Vitsippsbäcken vid Sahlgrenska sjukhus. Bäckens rinner från Sahlgrenska, genom Botaniska trädgården ned till Linnéstaden. Utspädningen av föroreningar beror på vattenmängden i ett vattendrag. Problemet med Vitsippsbäcken är att det är ett litet vattendrag med mycket koppar från koppartaken från Sahlgrenska sjukhus samt trafiken. Vid stora mängder nederbörd transporteras föroreningarna väldigt fort och därför handlar projektet om att bygga en anläggning som kan fånga upp föroreningarna där.

Vad stoppar fastighetsägare från att bygga mer dagvattenlösningar? Vilka hinder finns?

Nybyggnation försöker alltid implementera det om budgeten tillåter. Det är svårare att genomföra det på befintliga bebyggda marker.

A.6.4 Rain Gothenburg, 7 mars, 2022

Rain Gothenburg är en av Göteborgs stora jubileumssatsningar i samband med Göteborgs 400-årsdag. Satsningen har som mål ta vara på regnet som resurs för kreativitet, konst och upplevelser, och har som vision att göra Göteborg till världens bästa stad när det regnar. Intervjun hölls med Jens Thoms Ivarsson, som är Creative Director för projektet Rain Gothenburg.

Den semi-strukturerade intervjun behandlade inledningsvis Rain Gothenburgs arbete, men kom senare till stor del att handla om hur man går till väga när man designar intressanta och multifunk-

tionella dagvattenlösningar. Tillvägagångssättet som framgick i intervjun, för att designa just detta kan grovt sammanfattas till att man först identifierar en eller flera funktioner. Exempel på detta kan vara att fördröja vatten eller rena vatten, men kan även i sammanhanget vara att upplevelsen och intryck av platsen. När man identifierat sina funktioner man söker, försöker man tänka fram hur dessa funktioner kan erbjudas, på så många olika sätt som går att komma på.

Citat från Jens under intervjun som är av relevans för denna rapport redovisas nedan.

Man har gjort intervjuer på stan med medborgare och det finns hur mycket material som helst, hur mycket data som helst liksom. Vad vill medborgarna ha? Och då kan man säga så här, alla önskar en sak, . . . det som kommer på absolut högsta plats nästan varenda undersökning är: Vi vill ha mer grönt. Jag var med i Massthuggskajenprojektet i en referensgrupp, där hade dom sammanfattat massa så här medborgardialogundersökningar där det i stort sett på översta platsen står "Ge oss en jävla djungel för fan". Vi är så trötta på att liksom låta trafiken ta över så mycket. Så att vi vet att folk uppskattar grönt.

Och också en fråga som ni har med projekt i stan och som är en vanlig anledning till att saker skjuts i sank det är orden, drift och underhåll. Som också för mig då, det får mitt blod att koka många gånger därför att det är som ett veto kort som vissa drar. Så säger de bara: "Ja, men det ska driftas underhållas." Det är klart det ska. På hur många olika sätt kan man drifta och underhålla? Det här med ordval är intressant med. Vad får man upp för bild i huvudet om jag säger ordet drift och underhåll? Det låter ju inte jätteroligt, men om man säger: Är det intressant att det sköts och hålls vackert? Det är samma sak vi gör, det är bara det helt olika ord. Det ena beskriver en kostnad, det andra beskriver värdet. Värdet av att någonting sköts och är vackert är högt. Men bara drift och underhåll. Det är liksom bara att det inte ska gå sönder. Man får ju upp en helt annan bild i huvudet.



CHALMERS