



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 17 006

Examensarbete 30 hp
April 2017

Utveckling av beslutsstöd för hållbara val av dagvattenhantering

Julia Brisvåg

REFERAT

Utveckling av beslutsstöd för hållbara val av dagvattenhantering

Julia Brisvåg

Förtätning av stadsmiljöer bidrar till hårdläggning och borttagande av gröna ytor i naturliga och redan exploaterade områden. Detta minskar möjlighet till infiltration och evapotranspiration av vatten, vilket ökar ytavrinning av regn- och smältvatten. Regn- och smältvatten i urbana miljöer, även kallat dagvatten, har traditionellt hanterats genom snabb avledning till VA-verk eller närmaste recipient. Idag går utvecklingen mot att hantera dagvattnet lokalt och nära källan till vattnet genom att efterlikna den naturliga vattencykeln. Den största utmaningen i att hantera dagvatten lokalt anses bero på avsaknad av rätt teknik utan ett kommunikativt problem mellan berörda parter. För att främja en långsiktig och hållbar dagvattenhantering krävs en gemensam vision vid upphandlingen, vilket kräver nya forum att diskutera hur hanteringen bör gå till. En förvaltningsövergripande planering mot gemensamma mål kan minimera risken att valet av system vid upphandling främst styrs av ekonomi och tidigare erfarenheter. Istället kan fokus läggas på vilka lösningar som är mest hållbara i det specifika området. Att belysa detta tidigt i upphandlingsskedet skapar goda förutsättningar för genomförande.

Syftet med detta examensarbete var att ta fram ett beslutsstöd som dels underlättar den förvaltningsövergripande planeringen vid upphandling av dagvattensystem och dels främjar en hållbar hantering av dagvatten. Beslutsstödet möjliggör att hänsyn tas till det specifika områdets samhälleliga och naturgivna förutsättningar. Metoden bygger på multikriterieanalys och stödet har designats så att det enkelt går att ta fram grundförutsättningar för jämförelsen tidigt i planeringsskedet, vilket sedan analyseras och justeras tillsammans med de parter som berörs av dagvattenhanteringen för det specifika området. Till exempel kommunala förvaltningar inom stadsplanering, miljö och VA. Designen bygger på etablerade metoder gällande fördröjningskrav, föroreningsbelastning och dimensionering av system för dagvattenhantering. För att testa beslutsstödet relevans har en fallstudie av ett område under upphandling för exploatering i Uppsala kommun genomförts.

Det framtagna beslutsstödet utgörs av fyra delar; systemalternativ, multikriterieanalys, fördröjningskrav och föroreningsbelastning. Systemalternativ ger förslag till tekniker som kan utgöra system för dagvattenhantering. Multikriterieanalys innefattar en systemanalytisk jämförelse där system för dagvattenhantering utvärderas och viktas enligt 21 kriterium relaterade till hållbar dagvattenhantering. Fördröjningskrav och föroreningsbelastning beräknar mängd vatten som bör fördröjas efter exploatering respektive reningseffekt på förorenat dagvatten beroende på systemalternativ. I fallstudien jämförs fyra systemalternativ från välgrundade utvärderingar av varje kriterium, vilket ger en hög trovärdighet i studiens utfall. Utfallet från fallstudien visar att system som innefattar öppen hantering av dagvatten är lämpligt i det undersökta området. Utvärdering av beslutsstödet pekar på att stödet kan bidra till en förbättrad kommunikation mellan berörda parter inom en upphandling och att utvalda kriterierna har potential att bidra till en hållbar dagvattenhantering under planeringsprocessen.

Nyckelord: upphandling av dagvatten, multikriterieanalys, beslutsstöd, långsiktig hållbar dagvattenhantering,

Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet
Villavägen 16, SE 75236, Uppsala, Sverige.

ABSTRACT

Decision support for sustainable stormwater management system

Julia Brisvåg

The ongoing urbanization contributes to decrease infiltration and evaporation of water, compared to natural environments. This affects the natural water cycle, leading to an increased surface runoff of rain and melt water, also known as stormwater. Stormwater has by tradition been managed by diverting it to wastewater treatment plants or to the closest receiving waters. Today, it is considered to be more sustainable and modern managing the stormwater locally, close to the source by imitating a natural water cycle. The problem of realizing this modern management is not caused by inadequate modern techniques, but a communicative problem between the concerned parties. To promote a long term and sustainable management, a common vision is required. This demands new forums for discussion. All concerned parties should pursue a common goal to minimize the risk of the system being chosen based on economy and previous experience. Focus should be pointed to solutions that are sustainable in the specific area. This should be elucidated in the procurement stage to create good conditions for implementation.

The objective with this thesis was to elaborate a decision support method, facilitating communication between the concerned parties at the procurement stage of stormwater management. The decision support will promote a long term and sustainable solution, and consider the specific area with regard to social conditions and nature. By using multiple-criteria decision analysis, systems of stormwater management will be compared based on problems and advantages of stormwater in an urban environment and an optimal solution can be identified. The decision support has been designed to easily retrieve basic conditions for the comparison early in the procurement stage, which then can be analyzed in view of opinions from the different concerned parties. The design is based on established methods concerning delay demands, pollution load and dimensioning of systems of stormwater management. To test the relevance of the decision support, a case study of an area currently under procurement for exploitation in Uppsala was performed.

The developed decision support consists of four sections; "Multiple-criteria decision analysis", "Alternatives of systems", "Delay demands" and "Pollution load". "Multiple-criteria decision analysis" includes analytical comparison where different systems of stormwater management are evaluated and weighted according to 21 criteria related to sustainable stormwater management. "Alternatives of systems", suggests stormwater techniques which can form a system of stormwater management. "Delay demands" calculates how much water that should be delayed after exploitation and "Pollution load" calculates the purification effect on polluted stormwater depending on choice of systems. The case study reveals that the support can contribute to better communication between concerned parties within procurement and that the best suited system of stormwater management for the case study area are systems that manage stormwater locally near the source of water.

Keywords: stormwater procurement, multi-criteria analysis, decision support, long-term sustainable stormwater management,

Department of Earth Sciences, Uppsala University
Villavägen 16, SE 75236, Uppsala, Sweden

FÖRORD

Nu har jag avslutat mitt examensarbete för civilingenjörsprogrammet i miljö och vattenteknik vid Uppsala Universitet. Ett arbete som jag gjort hos RISE Urban Water Management inom Vinnova projektet "Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor".

Jag vill här passa på att lyfta fram personer som har bidragit till arbetet. Först vill jag tacka min ämnesgranskare på Uppsala Universitet, Roger Herbert, som tagit sig tid att ge stöd och återkoppling på mitt arbete. Jag vill även tacka projektdeltagare i "Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor" (Erik Simonsen, Ann-Mari Fransson, Björn Schouenborg och Nadia Al-Ayish) för er experthjälp gällande dimensionering, skelettjordar, permeabel beläggning och utsläppsberäkningar. Sen vill jag tacka Jessica Berg, Teresia Erixson, Emilia Hammer, Camilla Olofsson, Kristina Ekholm, Marie Nilsson och Thomas Blomqvist på Uppsala Kommun. Utan er hade arbetets fallstudie inte varit genomförbar. Ni har även väglett mig genom det komplicerade kommunala arbetet med dagvatten och kommit med ovärderlig feedback på det beslutsstöd som jag tagit fram.

Och slutligen vill jag ägna ett stort tack till min handledare på RISE Helene Sörelius för stöd, pepp och vägledning under hela arbetets gång. Utan dig hade resultatet aldrig blivit lika bra eller tiden hos er på RISE lika rolig.

Julia Brisvåg

Uppsala, mars 2017

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Utveckling av beslutsstöd för hållbara val av dagvattenhantering

Julia Brisvåg

När städer breder ut sig eller byggs om anläggs ofta hårda ytor som tak eller asfalt på tidigare gröna ytor som gräsplaner eller parker. Om regn faller på en grön yta rinner det antingen ned i marken och sipprar ned till grundvatten eller rinner på markytan till närmaste vattendrag. De hårda ytorna har inte samma egenskaper och när dessa anläggs finns en risk att vatten ansamlas på marken när det regnar eller snö smälter. Detta vatten kallas dagvatten och är precis som det låter vatten som ansamlas i städer under en kort tid för att sedan försvinna. Dagvatten leds ofta ned i brunnar vilket sedan leder vatten vidare till närliggande vattendrag eller reningsverk. Att dagvatten leds till reningsverk beror på att föroreningar från till exempel trafik hamnar i vattnet när det regnar på vägar och att släppa ut detta direkt till sjöar eller andra vattendrag sprider föroreningarna vidare. Idag förespråkas andra tekniker än direkt avledning via ledningar för att ta hand om dagvatten. Dessa tekniker kan till exempel ta hand om dagvattnet på liknande sätt som en naturlig miljö där vattnet ofta behandlas nära källan istället för att direkt ledas bort. Tekniker som kan fördröja eller rena dagvatten lokalt kan innefatta växtlighet som träd eller växter på tak. De kan även innefatta markbeläggning, av till exempel gatsten med öppna fogar eller genomsläppliga material, som låter dagvattnet sippra ned från markytan.

För att bygga en hantering av dagvatten som är långsiktig och hållbar finns flera tekniker tillgängliga samt ambitioner hos inblandade parter att bygga dessa. Trots detta finns idag en problematik med att planera hur hanteringen av dagvatten ska skötas när områden i städer förtätas eller bebyggs, vilket i vissa fall leder till svårigheter att driva hållbarhetsarbetet framåt. Detta beror delvis på att hantering av dagvatten påverkar flera aktörer, både privata och kommunala, under såväl planering av ny hantering som efter att system av dagvattentekniker har byggts. Under planeringsskedet krävs därför en ökad kommunikation mellan inblandade parter, till exempel mellan olika förvaltningar på kommunen som jobbar med miljöfrågor eller stadsplanering samt de som kommer att ansvara för underhåll av systemen som ska byggas. En ökad kommunikation kan bidra till en gemensam vision för hanteringen som tar hänsyn till vad varje inblandad part anser viktigt. På grund av detta finns behov av verktyg som underlättar för kommunikationen, bland annat gällande vilka dagvattentekniker som passar bäst i det område där hanteringen planeras.

Syftet med detta examensarbete har varit att ta fram ett beslutsstöd som underlättar kommunikationen mellan inblandade parter i planeringsskedet av dagvattenhantering. Beslutsstödet ska jämföra vilka typer av dagvattentekniker som passar bäst i det område där ny hantering av dagvatten krävs. Detta genom att använda en analysmetod som jämför system av dagvattentekniker utifrån flera kriterier. Dessa kriterier ska ta bland annat hänsyn till problem med dagvatten som tillkommer när hårda ytor anläggs och fördelar med att välja dagvattentekniker som hanterar dagvatten likt naturliga miljöer. I analysmetoden ställs krav på att inblandade parter i planeringen gemensamt kommer fram till vilka aspekter som är viktiga att ta hänsyn till för det specifika området. Detta kan till exempel innebära vilka föroreningar som är viktiga att rena i förorenat dagvatten eller om det anses värdefullt att bygga dagvattentekniker som innefattar växtlighet. För att testa beslutsstödet ska en fallstudie utföras i Uppsala kommun. Där ska lämpliga dagvattentekniker jämföras för ett område som byggs om och därmed behöver ny hantering av dagvatten.

I det framtagna beslutsstödet finns hjälp till dels beräkningar av hur mycket vatten som dagvattenlösningarna ska klara av att hantera och dels hur mycket en i viss teknik kan rena förorenat dagvatten. Stödet innefattar även förslag på lämpliga tekniker att ha med i sin jämförelse. Kärnan i beslutsstödet är den analysmetod som jämför dagvattentekniker enligt 21 utvalda kriterier. Kriterierna tar bland annat hänsyn till ekonomiska, tekniska och miljömässiga aspekter relaterade till hantering av dagvatten. I beslutsstödet finns tydliga beskrivningar om hur det ska användas och tanken är att beslutsstödet ska användas tidigt i planeringskedet av dagvattenhantering.

Under fallstudien i Uppsala kommun har fyra system av dagvattentekniker jämförts. Systemen innefattar bland annat tekniker med växtlighet på tak och på gröna ytor på marken, markbeläggning med öppna fogar på parkeringsplatser samt underjordiskt magasin. Varje system har utvärderats enligt de 21 kriterier som valts ut och den utvärdering som gjorts anses trovärdig enligt flera experter inom dagvatten. Under en workshop med Uppsala kommun fick representanter från Uppsala Vatten och Avfall AB, Miljöförvaltningen och Stadsbyggnadsförvaltningen gemensamt poängsätta alla kriterium efter hur viktiga de ansågs vara i valet av dagvattenhantering för fallstudieområdet. Utifrån denna viktning och den utvärdering som gjorts för alla fyra system kunde varje system betygsättas. Denna betygsättning visar på att tekniker som hanterar dagvatten lokalt, det vill säga nära källan till vattnet, är bäst lämpad i fallstudieområdet. Under workshopen med Uppsala kommun ombads mötesdeltagarna att utvärdera det framtagna beslutsstödet och utifrån deras kommentarer kan beslutsstödet antas ha god potential att förbättra kommunikationen vid planering av dagvattenhantering. Speciellt pekades de utvalda kriterierna ut som relevanta för översiktlig planering av dagvattenhantering på kommunen.

Innehåll

1 Inledning	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Syfte	10
1.3 Avgränsning	11
2 Teori	12
2.1 Dagvatten	12
2.1.1 Dagvatten i den urbana miljön	12
2.1.2 Hållbar dagvattenhantering	14
2.1.3 Upphandling och ansvarsfördelning	16
2.1.4 Dagvattenlösningar	17
2.2 Multikriterieanalys	22
2.2.1 MKA för dagvatten	22
3 Metod	25
3.1 Litteraturstudie	25
3.2 Beslutsstöd	26
3.2.1 Definition av hållbar dagvattenhantering	27
3.2.2 Områdets förutsättningar	27
3.2.3 Multikriterieanalys	28
3.3 Fallstudie	28
3.3.1 Inventering av fallstudieområdet	29
3.3.2 Design av systemalternativ	29
3.3.3 Implementering av beslutsstöd	30
3.4 Validering av beslutsstöd	30
4 Resultat	31
4.1 Beslutsstöd vid val av hållbara system för dagvattenhantering	31
4.1.1 Multikriterieanalys	31
4.1.2 Fördröjningskrav	39
4.1.3 Föroreningsbelastning	40

4.2	Fallstudie “Förtätning av Studentvägen”	41
4.2.1	Områdets förutsättningar	41
4.2.2	Val av systemalternativ	48
4.2.3	Implementering av beslutsstöd	54
5	Diskussion	73
5.1	Utformning av beslutsstödet	73
5.2	Resultat från fallstudie	76
6	Slutsats	80
6.1	Rekommendationer för vidare studier	80
7	Referensförteckning	81
8	Bilagor	81

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Urbaniseringstakten i världen ökar och i Sverige bor 85 % av befolkningen i städer (Statistiska centralbyrån, 2016). Urbaniseringen sker genom ny exploatering och genom förtätning av befintliga stadsmiljöer, vilket innebär mindre vegetation och en större andel hårdgjorda ytor jämfört med naturliga miljöer. Vid hårdläggning av markytor minskar möjligheter för vatten att infiltrera ned i marken, vilket skapar avrinning av regn och smält snö på ytan (Svenskt Vatten AB, 2011; Woods-Ballard et al., 2015). Dagvatten definieras som avrinning från direkt nederbördspåverkan i den urbana miljön (Svenskt Vatten AB, 2016; Woods-Ballard et al., 2015) och för att stora vattenmängder inte ska ansamlas i lågpunkter ställs krav på att kommuner planerar och anlägger system för hantering av dagvatten vid exploatering och förtätning (Svenskt Vatten AB, 2016; Woods-Ballard et al., 2015).

Klimatförändringar och krav på minskad föroreningsbelastning kräver nya förhållningssätt för framtidens hantering av dagvatten. De traditionella slutna systemen som har designats för att snabbt avleda vatten har en begränsad förmåga att hantera de regnolymer som ett varmare klimat tros tillföra (IPCC, 2014), vilket ökar risken för översvämningar (Svenskt Vatten AB, 2011). Klimat och sårbarhetsutredningen som Myndigheten för samhällsskydd och beredskap publicerade 2007 visar på städernas sårbarhet för extrema väderhändelser och belyser vikten av mer översvämningståliga samhällen (Regeringskansliet, 2007). Dagvattnets förmåga att fånga upp och transportera föroreningar kräver också att avledning till känsliga recipienter begränsas. Att förorenat dagvatten påverkar svenska vattenförekomster negativt strider mot ramdirektivet för vatten (Havs- och vattenmyndigheten, 2016) som kräver att svenskt yt- och grundvatten uppfyller en god status i en närliggande framtid (Alm et al., 2010). En långsiktig hållbar dagvattenhantering bör därför efterlikna en naturlig vattencykel där infiltration och evapotranspiration minskar avrinning som genereras på hårdgjorda ytor i urbana miljöer (Stahre, 2004). Öppna eller delvis öppna system av dagvattenlösningar kan skapa dessa förutsättningar och har dessutom positiva effekter på grundvattennivå, luftfuktighet och temperatur i miljöer där de implementeras (Woods-Ballard et al., 2015). Öppen dagvattenteknik kan integrera både rening och fördröjning samtidigt som den skapar ett sociokulturellt värde i form av gröna miljöer med inslag av vatten i samhällsbilden.

Planering av dagvattenhantering sker ofta mellan flera aktörer, både privata och mellan flera kommunala förvaltningar. Idag finns ingen nationell strategi för hur planeringen ska ske utan varje kommun ansvarar

för att ta fram dagvattenplaner som uppfyller nationella och internationella regelverk (Boverket, 2015a; Alm & Åström, 2014). Under detaljplanering av exploatering ska kommuner redovisa hur hanteringen ska skötas och länsstyrelse har ansvaret för att kontroll av miljö och allmänhetens hälsa prioriteras (Boverket, 2015a). Trots att en långsiktig hållbar dagvattenhantering förespråkas (Svenskt Vatten AB, 2011; Svenskt Vatten AB, 2016; Woods-Ballard et al., 2015; Regeringskansliet, 2003) har de moderna lösningarna fått ett begränsat genomslag. En anledning till detta tros vara att dagvattenfrågan ofta kommer in för sent i planprocessen (Stahre, 2004; Alm & Åström, 2014), vilket försvårar för en hållbar dagvattenhantering. Problemet med att få en långsiktig hållbar hantering kan därför anses vara ett kommunikativt problem och inte ett tekniskt, då både den nya tekniken och viljan att använda den finns. Därför finns behov av verktyg som belyser fördelar med modern dagvattenhantering tidigt i processen och möjliggör för inblandade parter att skapa en gemensam vision för hur hanteringen ska lösas.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet var att ta fram ett beslutsstöd som dels underlättar den förvaltningsövergripande planeringen vid upphandling av dagvattensystem och dels främjar en hållbar hantering av dagvatten. Beslutsstödet ska möjliggöra att bäst lämpat system av dagvattenhantering kan väljas utifrån områdets samhällliga och naturgivna förutsättningar.

För att uppnå syftet med examensarbetet har följande mål och frågeställningar formulerats.

Mål:

- Analysera problem inom dagvattenhantering.
- Analysera dagvatten som resurs för samhället.
- Inventera och sammanställa dagvattentekniker för urbana miljöer.
- Identifiera kriterium som möjliggör för planering av hållbar dagvattenhantering.
- Testa beslutsstödet med en fallstudie i Uppsala kommun.
- Dimensionera alternativ av systemlösningar för dagvatten i fallstudieområdet.

Frågeställningar:

- Vilket system av dagvattenlösningar är bäst lämpad i fallstudieområdet?
- I vilket skede av upphandlingen finns behov av beslutsstödet?
- Vilka betingelser i aktuellt område kräver beslutsstödet?
- Hur relevant är beslutsstödet vid upphandling av dagvattensystem?

1.3 Avgränsning

Då beslutstödet som ska designas ämnas för kommuner och andra verksamhetsutövare används främst förhållningssätt och metoder framtagna av branschorganisationen Svenskt Vatten gällande dagvattenhantering. Dessa publikationer är specifikt framtaget för aktörer i VA-branschen och passar därför bra i sammanhanget. Metoderna är väl etablerade i branschen och lätta att tillgå för de som förväntas använda beslutsstödet.

Vid uppskattning av föroreningsbelastning och fördröjningskrav från fallstudieområdet tas endast hänsyn till hur den aktuella exploateringen kommer att påverka dagvattenhanteringen. Detta då beslutsstödet ska jämföra system av dagvattenhantering efter en exploatering och inte ta hänsyn till hur hanteringen sköts innan exploatering.

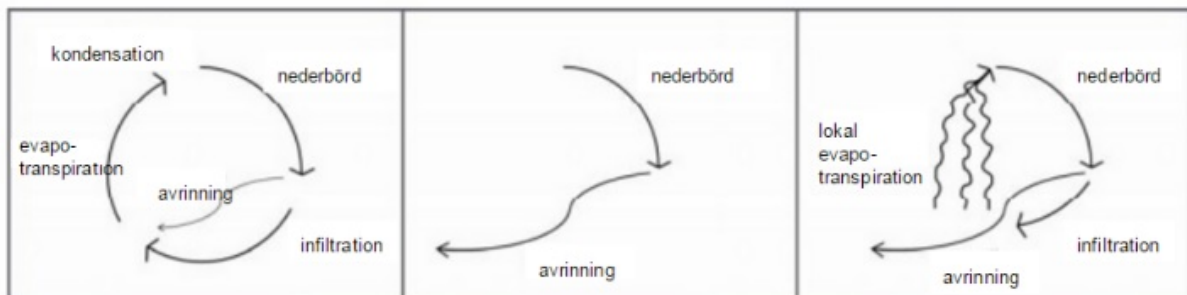
Föroreningsbelastning från fosfor (P), koppar (Cu), zink (Zn) och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) har prioriterats då de ofta nämns inom dagvattensammanhang (Elmfors, 2014). Andra tungmetaller och föroreningar listas som prioriterade föroreningar inom svenska miljökvalitetsnormer (Naturvårdsverket, 2015), vilket betyder att andra ämnen än de som valts ut är relevanta för hantering av dagvatten. För inventerade dagvattentekniker görs ingen ingående förklaring av hur reningsprocessen går till, utan fokus läggs på vilka föroreningar som teknikerna hanterar och till vilken omfattning detta sker.

2 Teori

2.1 Dagvatten

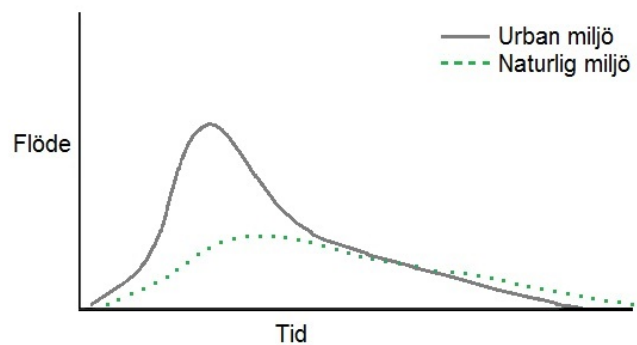
2.1.1 Dagvatten i den urbana miljön

Urbanisering och exploatering innebär i stor utsträckning att markytor hårdläggs eller bebyggs till förmån för samhällets behov. En naturlig miljö har anpassat sig efter rådande nederbördsmonster och möjliggör hantering av inkommande nederbörd med flera processer (Figur 2.1.1). Exploatering påverkar den naturliga vattencykeln i flera avseenden, främst tenderar avrinning att öka med exploateringsgrad (Svenskt Vatten AB, 2011) vilket till stor del beror på att avrinningskoefficienten för marken ökar vid hårdläggning. Med avrinningskoefficient menas hur stor del av nederbörden som efter förlust via avdunstning, infiltration, magasinering i växtlighet eller ojämnheter i markyta kommer att avrinna (Tegelberg & Svensson, 2013). Där infiltrationen enbart påverkar djup grundvattenbildning och inte avrinning till i vattendrag. Skillnader mellan en naturlig och urban vattencykel presenteras i Figur 2.1.1.



Figur 2.1.1: Vattencykel i en naturlig (vänster), urbaniserad (mitten) och delvis urbaniserad (höger) miljö (Woods-Ballard et al. 2015). Figurerna visar hur nederbörd avrinner, infiltrerar, evapotranspirerar eller kondenserar beroende på miljö.

Avrinning som orsakas av direkt nederbördspåverkan i urbana miljöer benämns ofta som dagvatten. Generellt påverkas dagvattenflöden av nederbördsintensitet samt den hårdgjorda markytans storlek och avrinningskoefficient. Ofta brukar skillnaden mellan flödestäthet i urbana miljöer och en naturlig vattencykel beskrivas med ökande vattenvolymer och högre toppar i vattenflöden (Figur 2.1.2).



Figur 2.1.2: Flöde för avrinning av vatten i urbana (heldragen) och naturliga (streckad) miljöer (Stahre, 2004).

De högre flödestopparna och ökande vattenvolymer kan utgöra en risk för viktiga samhällsfunktioner, till exempel om stora vattenvolymer ansamlas på vägar, vilket ställer krav på att hantering av dagvatten. Traditionell hantering har inneburit avledning av vatten till närliggande recipient eller som del av ledningsnät för vatten och avlopp. Dessa avledande system består vanligtvis av ett nätverk av slutna ledningar under mark där vattnet avleds till ledningsnätet via brunnar vid markytan. Ledningsnätet kan antingen vara kombinerade, dagvatten och spillvatten blandas, eller duplikat, dagvatten och spillvatten separeras (Stahre, 2004). Nätverken är dimensionerade för att klara en viss nederbördsmängd och risk för översvämning i systemet finns vid högintensiv nederbörd (Svenskt Vatten AB, 2016). Traditionell avledning kan dessutom bidra till förluster av evapotranspiration då avledningen sker för effektivt för att dessa processer ska inträffa (Woods-Ballard et al., 2015). Den urbana miljön utgör inte bara ett problem för ökad avrinning utan förlusten av infiltration vid hårdläggning av ytor kan även påverka grundvattenbildning, vilket kan ge sättningseffekter på omgivande bebyggelse och mindre mängd tillgängligt råvatten till dricksvattenberedningen (Svenskt Vatten AB, 2011; Woods-Ballard et al., 2015).

Föroreningar i den urbana miljön från verksamheter och infrastruktur fångas upp av dagvatten via våt- och torrdeposition, vilket gör dagvatten till ett transportmedium av föroreningar från källan till recipient eller mark (Alm et al., 2010). Förekomst av föroreningar beror av markanvändning, val av byggnadsmaterial, luftkvalitet och trafikintensitet i upptagsområdet och några av de föroreningar som pekats ut som kritiska inom dagvattensammanhang är fosfor, zink, koppar, kvicksilver, bly, PAHer och olja (Stockholm stad, 2015; Elmefors, 2014). Fosfor har där sitt ursprung i gödningsmedel och djurspillning (Stockholm stad, 2015). Utvändigt byggmaterial och fordon ger lokala utsläpp av koppar och zink (Stockholm stad, 2015) medan PAHer och olja kan relateras till oljeläckage eller emissioner från fordon (Elmefors, 2014).

Om förorenat dagvattnet avleds i kombinerat system för spillvatten kan det skapa en ökad belastning för reningsverken (Lidström, 2012). Detta då reningsverken ofta är designade för att hantera spillvatten och inte de höga halter av till exempel tungmetaller som dagvatten kan innehålla.

Rådande problematik med dagvatten i urbana miljöer sammanfattas i Tabell 2.1.1.

Tabell 2.1.1: Översiktsbild av rådande problematik med dagvatten i urbana miljöer. Den urbana miljöns påverkan, dess relaterade problematik och krav på åtgärd.

Effekt av urbana miljön	Relaterad problematik	Krav på åtgärd
Ökad avrinning	Risk för översvämning samt negativ inverkan på reningseffekt i avloppsreningsverken	Fördröjning, Avledning
Föroreningstransport	Påverkan recipient	Rening, Avskiljning
Sänkning grundvattennivå	Sättningseffekter på byggnader Minskat tillgängligt dricksvatten	Infiltration

2.1.2 Hållbar dagvattenhantering

Att se dagvatten som en resurs och inte som ett problem för samhället förespråkas idag i allt större utsträckning (Stahre, 2004; Svenskt Vatten AB, 2011; Woods-Ballard et al., 2015). Till exempel kan en dagvattenhantering med inslag av växtlighet (gröna ytor) och synligt vatten (blåa ytor) resultera i ökad luftfuktighet och sänkt temperatur i lokalklimatet. Fenomenet urban värmeö gör att hårdgjorda ytor som sten och asfalt lagrar mer värme från inkommande solljus än till exempel gröna ytor (Bolund och Hunhammar, 1999). Genom de termokemiska processer som uppstår av evapotranspiration, det vill säga avdunstning från ansamlat vatten eller transpiration från växternas blad, sänks temperaturen i omgivande luftmassan samtidigt som fuktigheten i luften ökar i gröna miljöer. Vidare kan dagvatten ge ett sociokulturellt värde till samhällsbilden. Till exempel kan gröna ytor minska stress och verka blodtryckssänkande för människor i dess närhet (Naturvårdsverket, 2012) samtidigt som närvaron av blåa ytor är inbjudande för människor och främjar sociala möten (White et al., 2010). Teknik med lokal fördröjning av dagvatten kan även ha pedagogiska värden för allmänheten, detta då blåa ytor synliggör hur en naturlig vattencykel fungerar genom till exempel årstidsvariation av vattennivåer (Stahre, 2004).

Förutom de positiva effekterna som nämns ovan kan rätt dagvattenteknik möjliggöra för en mer robust dagvattenhantering i framtiden. Klimatförändringar kommer med stor sannolikhet öka nederbördsmängden

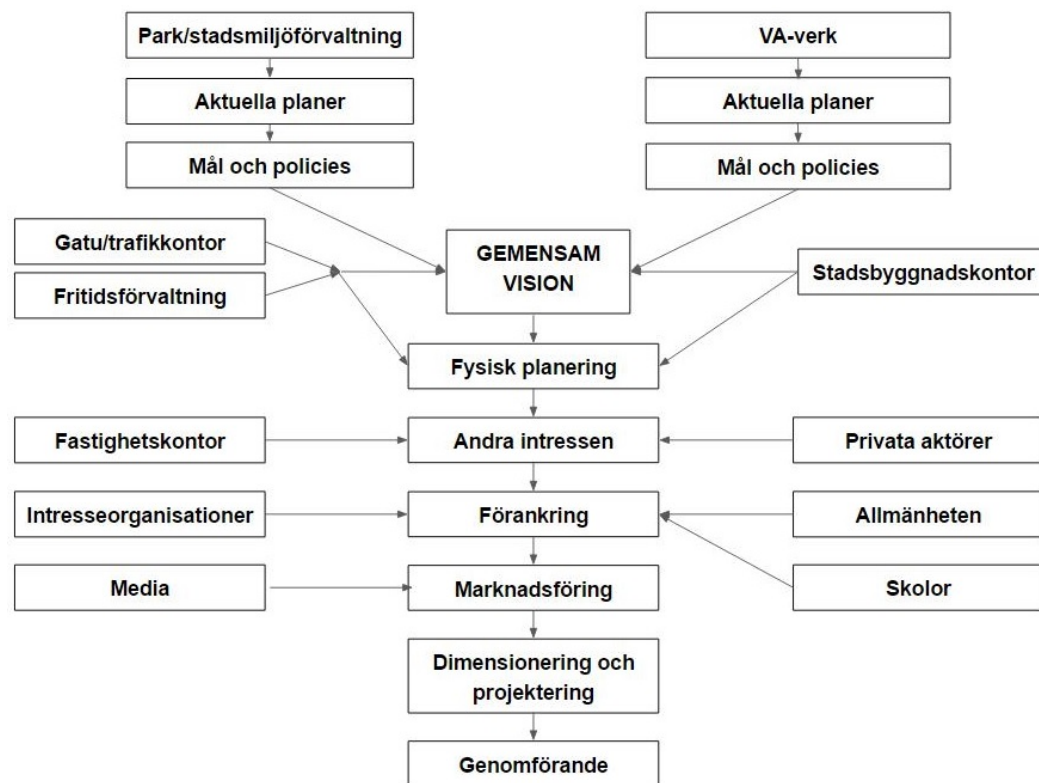
i Sverige och orsaka kortare återkomsttider för högintensiva regn (IPCC, 2014) vilket kan innebära att befintliga dagvattensystem är underdimensionerade för att klara av framtidens nederbörd (Stahre, 2004). Dimensioneringen av nya system behöver anpassas för de nya förhållandena och i nybyggda områden bör dagvattensystem dessutom innefatta infiltration och fördröjning av dagvattenflöden lokalt nära källan (Svenskt Vatten AB, 2011).

Vidare ställs krav på minskad påverkan på aktuell recipient för dagvattnet enligt EUs ramdirektiv för vatten samt svenska miljökvalitetsnormer och nationella miljökvalitetsmål, vilket den moderna tekniken som kan innefatta småskalig rening nära källan av förorenat dagvatten skapar bättre förutsättningar för (Stahre, 2004). I EUs ramdirektiv för vatten (Hav- och vattenmyndigheten, 2016) (vattendirektivet) regleras hur svenska vattenförekomster ska uppnå god status med avseende på ekologi och vattenkemi vid en viss tidpunkt. Inom dagvattensammanhang innebär vattendirektivet främst krav på minskad belastning av föroreningar till recipient men även dagvattnets fysiska påverkan på vattenförekomster som till exempel sänkta grundvattennivåer. En minskad föroreningsbelastning inom dagvattensammanhang rör främst tungmetaller och näringsämnen (Alm et al., 2010). EU har prioriterat vissa ämnen som ska hållas under en bestämd nivå eller helt fasas ut för att uppnå god kemisk status, vilket ställer högre krav på reglering av dagvattenutsläpp till recipient och ett ökat behov av rening av förorenat dagvatten (Svenskt Vatten AB, 2016). Svenska miljökvalitetsnormer (MKN) innefattar den lägsta accepterade kvalitet som svenska vattenförekomster får ha för att uppfylla vattendirektivet (Havs- och vattenmyndigheten, 2014). Kommuner, myndigheter och andra verksamhetsutövare är skyldiga att följa MKN samt vidta lämpliga åtgärder för att minska påverkan (Naturvårdsverket, 2015). De nationella miljökvalitetsmålen (miljömålen) beskriver hur det samlade miljöarbetet i Sverige ska följa vattendirektivet (Naturvårdsverket, 2015). Hantering av dagvatten påverkas där till exempel av miljömålen “Ingen övergödning”, “Levande sjöar och vattendrag”, “Bara naturlig försurning” samt “Grundvatten av god kvalitet”. För att hantera dessa krav bör därmed en långsiktig hållbar dagvattenhantering innefatta bättre möjligheter till rening av förorenat dagvatten, vilket den traditionella hanteringen med direkt avledning ofta saknar (Stahre, 2004; Svenskt Vatten AB, 2011). Det finns inga direkta nationella krav för hur omfattande rening av förorenat dagvatten ska vara, men till exempel Stockholm och Göteborgs stad har tagit fram egna riktvärden för utsläpp av prioriterade ämnen.

2.1.3 Upphandling och ansvarsfördelning

Planering av dagvattenhantering har traditionellt sköts av kommunens VA-förvaltning där andra förvaltningar i kommunen sällan varit inblandade (Stahre, 2004). Planeringen styrs dels av krav (Regeringskansliet, 2010) på att dagvattenhantering behandlas under detaljplaneringen av exploatering av nya eller befintliga områden (Boverket, 2015b), där en detaljplan beskriver hur kommunens fysiska planering kommer bebygga ett avgränsat område och hur vatten- och markområden inom området får användas (Boverket, 2014). I denna process har kommunen monopol på planeringen (Alm & Åström, 2014) och flera parter inom den kommunala verksamheten, till exempel stadsbyggnadskontor och VA-förvaltare, är inblandade. Under det samråd där kommunen ska få synpunkter på detaljplanen ansvarar Länsstyrelsen för att miljö kvalitetsnormer samt allmänhetens säkerhet och hälsa prioriteras i planprocessen och privata aktörer har möjlighet att ge synpunkter (Boverket, 2014). För dagvattenhantering innebär detta att kommunen måste visa hur hanteringen ska lösas och vilka lösningar detta innefattar (Boverket, 2015a). Planeringen styrs också av kravet på att dagvatten avleds från samlad bebyggelse och behandlas som avloppsvatten (Regeringskansliet, 2005) vilket därmed fränkopplar dagvattenhantering från detaljplaneringen (Alm & Åström, 2014). Därmed regleras dagvattenplaneringen i praktiken främst genom samråd mellan VA-förvaltning och fastighetsägare (Alm & Åström, 2014).

Som nämns i Avsnitt 2.1.2 förespråkas en lokal hantering av dagvatten. Problematiken med att få igenom denna utveckling är inte att den rätta tekniken saknas utan anses bero på kommunikativa svårigheter under upphandlingen (Stahre, 2004; Svenskt Vatten AB, 2011). Vid anläggning av en långsiktig hållbar dagvattenhantering finns ett behov av samverkan mellan alla kommunala aktörer som berörs av hanteringen samt privata aktörer inom det område där hanteringen ska ske (Stahre, 2004; Boverket, 2015b). En gemensam vision för hanteringen bör främjas genom att likväl tekniska förvaltningar som sköter underhåll, stadsbyggnadskontor som ansvarar för anläggning samt VA-förvaltning och miljöförvaltning som har det övergripande ansvaret för hanteringen gemensamt diskuterar hur områdets dagvattenhantering bör skötas (Stahre, 2004). I Figur 2.1.3 ges ett förslag på ett arbetssätt som främjar en gemensam vision och en långsiktig hållbar dagvattenhantering.



Figur 2.1.3: Arbetsgång för realisering av en långsiktig hållbar dagvattenhantering (Stahre, 2004).

2.1.4 Dagvattenlösningar

En hållbar hanteringen av dagvatten kräver integrerade lösningar som inte bara avleder vattnet utan också renar och verkar flödesutjämnande. Svenskt Vatten skriver i sin rapport P110 att samhället avvattnings måste lösas med en hållbar dagvattenhantering som minskar risken för skador vid översvämningar och minimerar spridningen av föroreningar (Svenskt Vatten AB, 2016). Detta kan till exempel innebära öppna eller delvis öppna lösningar som i system ska efterlikna en naturlig vattencykel från nedfall på markytan till avrinning i recipient (Svenskt Vatten AB, 2011; Woods-Ballard et al., 2015; Stahre, 2004).

Följande begreppsindelning är idag vedertaget i Sverige och används för att beskriva en hållbar långsiktig dagvattenhantering (Stahre, 2004).

1. Lokalt omhändertagande
2. Fördröjning nära källan
3. Trög avledning
4. Samlad fördröjning

Det lokala omhändertagandet ska främja att vattenmängden reduceras nära källan, vilket innebär att inkommande vatten återförs till den naturliga vattencykeln i så hög utsträckning som möjligt (Stahre, 2004). Att reducera allt vatten lokalt är komplext i områden med hög exploatering och det krävs därför hantering vidare mot aktuell recipient (Svenskt Vatten AB, 2011). Hanteringen i de tre resterande stegen ska fördröja vattenflödet och minska översvänningsrisken i närliggande områden (Stahre, 2004). Samtliga begrepp i denna indelning kan innebära olika typer av lösningar som i sin tur kan ha flera funktioner än det huvudsakliga syftet. Lösningarna kan till exempel integrera rening, fördröjning, absorbering, avdunstning, ökad biodiversitet och grundvattenbildning. Baserad på sammanställande rapporter av dagvattentechniker för urbana miljöer ges exempel på tekniker för varje begrepp i Tabell 2.1.3 (Blecken, 2015; Lindfors et al., 2014; Pirard & Alm, 2014).

Tabell 2.1.3: Exempel på tekniker som ger lokalt omhändertagande, fördröjning nära källan, trög avledning, samlad fördröjning.

LOD	Fördröjning nära källan	Trög avledning	Samlad fördröjning
Växtbäddar Brunnsfilter Biofilter Gröna tak Skelettjord Kantstenslösning Svackdiken Rotzonsanläggning	Genomsläpplig beläggning Rasterytor Hålad marksten	Kanal/diken/bäckar Ytvattenrännor Översilningsytor	Filtermagasin Våtmarker Dagvattendammar Magasinering under mark

Baserat på dessa sammanställande rapporter gällande teknikerna följer en översiktlig redogörelse för lösningarna Växtbädd, Gröna tak, Skelettjord, Genomsläpplig beläggning, Översilningsytor, Dagvattendamm och våtmark i separata underrubriker. Teknikerna har valts eftersom de representerar samtliga begreppsindelningar av dagvattentechniker. Fokus läggs på teknikens möjlighet till rening, fördröjning och bidrag till hållbar dagvattenhantering. I Tabell 2.1.4 redogörs för schablonvärden av reningsgrader för dagvattentechniker i procent (StormTac, 2017).

Tabell 2.1.4: Reningsgrader i procent för olika dagvattentekniker och föroreningar enligt StormTac.

Dagvattenlösning	P	N	Cu	Zn	Pb	Hg	SS	PAH	Olja
Översilningsyta	40	25	50	50	45	20	70	70	80
Våt damm	55	35	65	50	75	30	80	70	80
Våtmark	50	30	55	60	80	30	85	70	95
Biofilter	65	40	65	85	80	50	80	85	60
Skelettjord	55	28	43	80	43	50	85	75	45
Grönt tak	-220	-120	-100	20	65	-35	90	-332	0
Permeabel asfalt	65	75	75	95	70	45	90	75	85

2.1.4.1 Biofilter

Biofilter är en dagvattenteknik som medför både fördröjning och rening av dagvatten (Lindfors et al., 2014). Det finns olika typer av biofilter, men gemensamt för tekniken är att flera skikt med olika material anläggs under eller ovan mark. I de översta lagren planteras växtlighet i jord vilket möjliggör för infiltration av dagvatten och därmed en lokal fördröjning. De undre lagren ska magasinera och fördröja infiltrerat dagvatten, vilket dräneras ur anläggningen eller utgör bevattning för växtligheten i det övre lagret. Biofilter har en tydlig reningseffekt (Tabell 2.1.4) på förorenat dagvatten genom biologiska, kemiska och mekaniska processer (Blecken, 2015). Biofilter kan ha en positiv inverkan på den biologiska mångfalden i närmiljön (Pirard & Alm, 2014), till exempel kan den växtlighet i lösningen bidra till pollinerande insekter. Inslag av växtlighet i stadsmiljöer anses även vara estetiskt tilltalande (Pirard & Alm, 2014).

2.1.4.2 Gröna tak

Gröna tak är en dagvattenlösning som främst fördröjer flöden av dagvatten (Pirard & Alm, 2014) även om lösningen till viss del kan rena förorenat dagvatten (Tabell 2.1.4). De gröna taken kan även generera en ökning av näringsämnen jämfört med halter i det inkommande flödet (Tabell 2.1.4), vilket delvis beror på gödsling (Blecken, 2015). Att gröna tak tillför andra ämnen som PAH:er, Cu och Hg (Tabell 2.1.4) beror av den atmosfäriska depositionen (Blecken, 2015). Anläggningen byggs på nya eller befintliga hus-tak i flera skikt som dränerar och skyddar materialet under mot fukt. Det två översta skikten är täckt med vegetation och jord vilket kan fördröja en begränsad mängd nederbörd (Blecken, 2015). Magasinering och dränering av dagvatten sker i främst det dränerande skiktet som vanligen har en tjocklek på några centimeter (Stahre, 2004). Beroende på utformning av taket med avseende på tjocklek och val av växter

kan ett grönt tak fördröja inkommande flöden upp till 50 % (VegTech, 2016a). Gröna tak tillför andra värden med dagvattenhanteringen än bara fördröjning och rening. Taken kan vara estetiskt tilltalande för allmänheten samtidigt som den biologiska mångfalden påverkas positivt (Pirard & Alm, 2014). De kan även bidra till bättre luftkvalitet och isolera byggnader från kyla (Blecken, 2015).

2.1.4.3 Skelettjord

Skelettjordar är en växtbädd för trädplantering i hårdgjorda markytor (Lindfors et al., 2014) som vanligen anläggs med närhet till vägar och parkeringsplatser. Denna dagvattenlösning har därför mycket gemensamt med det som redogörs i underrubriken växtbädd. Skelettjordar bör konstrueras så att vatten finns tillgängligt för trädets rötter samt att jorden kan syresätts av luften vid markytan (Lindfors et al., 2014). Detta kan till exempel lösas med ett bärlager med stor porvolym eller ett tillväxtlager för trädets rötter där jord och makadam blandas (Pirard & Alm, 2014). Skelettjordar med trädplantering har beroende på konstruktion en effektiv fördröjande effekt på dagvattenflöden och bidrar därmed till en minskad flödesbelastning på anslutande ledningsnät. Trädets vattenupptag kan dessutom minska mängden dagvatten lokalt.

2.1.4.4 Genomsläpplig beläggning

Genomsläpplig beläggning är en dagvattenteknik som infiltrerar vatten genom markytan, vilket möjliggör en lokal fördröjning av vattenflöden. Beläggningen kan bestå av olika material, till exempel dränerande beläggningar av betong eller permeabel asfalt (Lindfors et al., 2014). Denna teknik möjliggör för dagvatten att infiltrera genom fogöppningar eller öppna porer på annars helt slutna hårdgjorda ytor (Pirard & Alm, 2014). Under den genomsläppliga beläggningen kan fördröjningsmagasin av makadam anläggas för att hantera det dagvatten som infiltreras från markytan. Ofta anläggs genomsläpplig beläggning på parkeringsplatser eller vägar, vilka är hårt trafikerade och därmed en potentiell källa till höga halter föroreningar i dagvattnet som ansamlas (Blecken, 2015). Vid infiltrationen fås en viss reningseffekt (Permeabel asfalt i Tabell 2.1.4) vilket därmed har en klar positiv inverkan på dagvattnets föroreningsbelastning på närliggande vattenförekomster.

2.1.4.5 Översilningsytor

Översilningsytor är en dagvattenteknik som både kan fördröja flöden nära källan och fungera som en samlad fördröjning för flöden från större områden (Stahre, 2004). Anläggningen kan innefatta öppna

gräsytor där dagvatten kan infiltreras i marken eller avrinna på ytan till närmaste recipient (Lindfors et al., 2014). På grund av detta har dagvattentekniken en flödesutjämnande effekt och vegetationen på markytan bidrar till en viss fördröjning. Översilningsytor kan bidra till rening av förorenat dagvatten. Till exempel om dagvatten infiltreras kan rening av partikelbundna föroreningar ske (Blecken, 2015). Även andra föroreningar kan renas, vilket presenteras i tabell 2.1.4. Infiltrationen av dagvatten kan även medföra grundvattenbildning, vilket kan ge en påfyllnadseffekt av låga grundvattennivåer (Lindfors et al., 2014). Översilningsytor kan även byggas med hårdlagd markyta för att skapa ytor för ansamling av stora dagvattenflöden (Stahre, 2004). En fördel med översilningsytor är att de kan fungera som multifunktionella markytor. Med detta menas att ytorna under förhållanden med låga dagvattenflöden kan användas som fotbollsplaner eller lekplatser samtidigt som de kan utgöra en samlad fördröjning av dagvatten vid höga flöden.

2.1.4.6 Dagvattendamm och våtmark

Dagvattendammar och våtmarker kan fungera som en samlad fördröjning av dagvatten innan det släpps ut i aktuell recipient. Lösningarna kan hantera stora vattenvolymer och beroende på dimensionering och val av vegetation kan en effektiv rening av föroreningar i inkommande vatten ske (Stahre, 2004; Blecken, 2015). Genom att botten på anläggningarna inte infiltrerar kommer vattennivån hållas över en bestämd gräns och variera med nederbördsintensitet över året (Stahre, 2004). Vid dimensionering är det viktigt att ta hänsyn till hur stora vattenvolymer som ska fördröjas men även vilken uppehållstid vattnet får i anläggningen, då detta påverkar effektiviteten av reningen (Larm, 2000; Blecken, 2015). Reningsprocesser skiljer sig mellan våtmarker och dammar, men båda anläggningstyperna innefattar fysikalisk, biologisk och kemisk rening. I dammar är avskiljning av partiklar den viktigaste reningsprocessen (Blecken, 2015), där partikelbundna föroreningar sedimenterar till botten på anläggningen där biologisk och kemisk rening kan inträffa. I våtmarker bidrar vegetation vid vattenytan till en mer omfattande rening av till exempel näringsämnen samtidigt som sedimentationsprocessen kan fortgå. För att dammar och våtmarker ska behålla sin fördröjande och renande funktion finns krav på kontinuerligt underhåll. Detta kan innebära borttagande av sediment eller skötsel av befintlig vegetation (Blecken, 2015). Både dagvattendammar och våtmarker bidrar till den biologiska mångfalden och berikar stadslandskapet eftersom de kan anses estetiskt tilltalande (Pirard & Alm, 2014; Stahre, 2004).

2.2 Multikriterieanalys

Multikriterieanalys (MKA) är en metod som har visat sig användbart som jämförande verktyg för miljörelaterade områden. Metoden har använts som beslutsstöd inom flera sektorer, till exempel sanering av förorenat avfall och val av VA-system (Perez & Rey, 2013; Carlsson & Kärrman, 2014; Kärrman & Asperö-Lind, 2009). Analysmetoden är ett systemanalytiskt beslutsunderlag som jämför systemalternativ utifrån valda kriterium, där varje kriterium bedöms individuellt för respektive alternativ. Utfallet av dessa bedömningar vägs samman till en samlad bedömning vilket skapar förutsättningar för en jämförelse av hur väl alternativen uppfyller kriterierna och från det kan till exempel det mest lämpliga alternativet identifieras. En vanligt förekommande MKA metod är den Linjära additiva metoden (Rosén et al., 2009). Där poängsätts varje kriterium för samtliga alternativ utifrån lämpliga bedömningar av hur väl kriteriet uppfylls. Varje kriterium viktas även från hur mycket de anses påverka beslutet. Denna viktning bör utföras i samråd mellan experter och andra intresserade i utfallet av jämförelsen. En betyg (S) för respektive alternativ beräknas utifrån viktning (V) och poängsättning (R) (Ekvation 2.1 (Rosén et al., 2009)), vilket gör det möjligt att jämföra alternativen sinsemellan. N är i ekvationen antalet möjliga kriterium.

$$S = \sum_{i=1}^N VR \quad \text{Ekvation 2.1}$$

Den linjära additiva metoden ställer krav på att kriterierna är oberoende av varandra och att betyget som tas fram är linjärt additivt (Rosén et al., 2009). Vidare måste varje kriterium vara mätbart i absoluta värden, jämförande värden (till exempel $1 - X$) eller figurativt (till exempel färgkodat) (Rosén et al., 2009). Viktningen är en kritisk del av metoden och därför bör en känslighetsanalys utföras för att visa hur stor påverkan viktningen har på betygen. Där beräknas betyg fram för variationer i viktning, vilket tydligt visar utfallet av en annan viktning än den i analysen.

2.2.1 MKA för dagvatten

Vid val av system för dagvattenhantering måste flera aspekter tas i beaktning då delvis krav på ekonomi, rening och fördröjning ska uppfyllas men även mer svåråtkämpliga aspekter bör tas hänsyn till, som påverkan på biologisk mångfald och mikroklimat. Det är även viktigt att utgå ifrån de lokala förutsättningarna så som hydrologi, geologi, topografi, klimat och vegetation på platsen vid val av system (Boverket, 2010). MKA för att jämföra system av dagvattenhantering skapar förutsättningar för att samt-

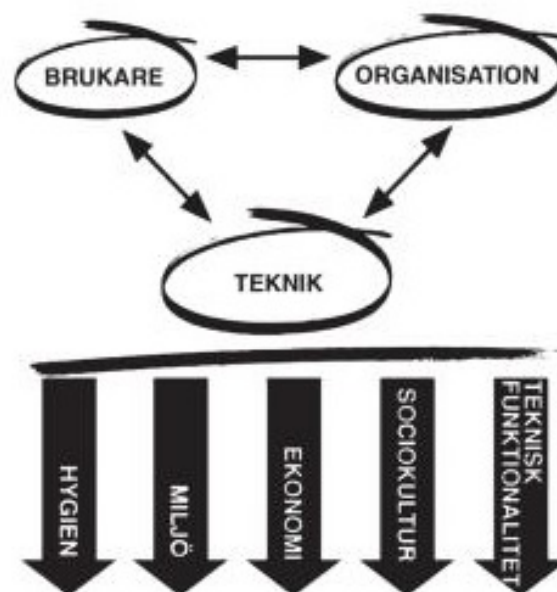
liga aspekter beaktas och får en oberoende bedömning samt att berörda parter i planeringen gemensamt kan diskutera hur hanteringen i det specifika fallet bör vara. Spridda åsikter om vad som ska prioriteras är vanligt mellan tekniska nämnder eller förvaltningar inom kommun och att samtliga parter får framföra sina synpunkter är därför viktigt för att bygga en gemensam vision.

MKA som beslutsverktyg för dagvatten har tidigare studerats (Ellis et al., 2004; Martin et al., 2006, Jia et al., 2012; Lai et al., 2008; Young et al., 2010) och där har valet av kriterier delvis baserats på rådande nationella strategier för dagvatten. Sverige har ingen nationell strategi för dagvatten (Svenskt Vatten AB, 2011) vilket betyder att valet av kriterier bör baseras på andra bestämmelser, till exempel enligt gällande regelverk för samhällets avvattning eller dagvattenplan i aktuell kommun. I tidigare studier har olika kriterium använts men de har generellt grupperats på samma sätt. I Tabell 2.2.1 presenteras grupperingar som använts i två internationella studier (Ellis et al., 2005; Martin et al., 2006).

Tabell 2.2.1: Gruppering av kriterium gällande tidigare studier av MKA för dagvattenhantering.

Ellis et al. 2005	Martin et al. 2006
Technical and scientific performance Environmental impacts Social and Urban Community benefits Economic costings	Technical and hydraulic (TEC) Environment (ENV) Operation and maintenance (O&M) Social and urban community benefits criteria (SOC) Economic (ECO)

Dessa grupperingar kan relateras till definitionen av hållbarhet som fastställdes under UNCED i Rio de Janeiro 1992, "att de tre dimensionerna av hållbar utveckling - den ekonomiska, sociala och miljömässiga - samstämmigt och ömsesidigt ska stödja varandra och vägas samman när beslut fattas" (Boverket, 2016b) vilket den rådande svenska strategin för hållbar utveckling (Regeringskansliet, 2003) har implementerat vidare. Utöver dessa tre dimensioner är det relevant att ha en teknisk dimension då systemen som byggs bör uppfylla vissa tekniska krav. Forskningsgruppen Urban Water Management på Research Institutes of Sweden (RISE) har tagit fram ett ramverk för hållbarhetsanalys (Carlsson & Kärrman, 2014) (Figur 2.2.1) som kan appliceras på multikriterieanalys för dagvattenhantering.



Figur 2.2.1: Urban Waters ramverk för hållbarhetsanalys från Carlsson & Kärrman 2014.

3 Metod

För att uppfylla syftet att ta fram ett beslutsstöd som vid planering främjar hållbara val av dagvattenssystem har följande arbetsprocess använts:

- Utföra en litteraturstudie för grundläggande teori till arbetet.
- Framtagande av beslutsstöd och sammanställande av krav på indata för användning.
- Inventering av fallstudieområde och framtagande av förutsättningar.
- Design av systemalternativ av dagvattenlösningar.
- Fallstudie i Uppsala kommun där beslutsstödet testas.
- Göra en utvärdering av beslutsstödet.

3.1 Litteraturstudie

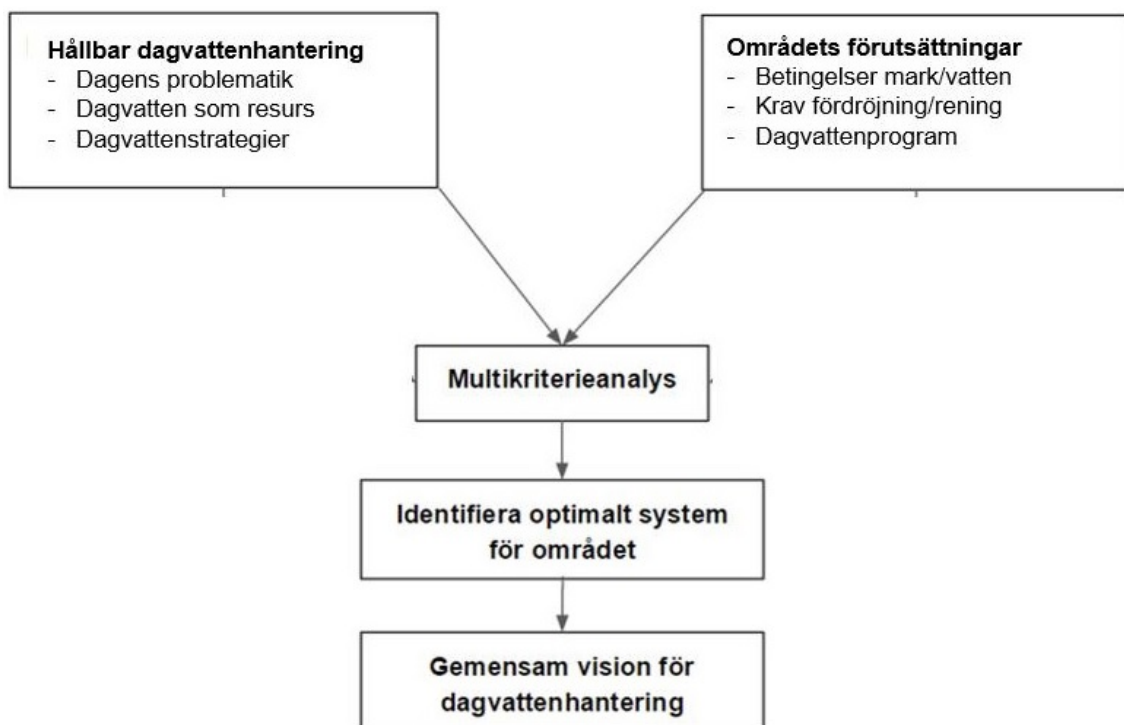
En inledande del av examensarbetet utgjordes av en litteraturstudie gällande tre huvudområden; dagvattenteori, dagvattenteknik och multikriterieanalys. Detta för att få kunskap gällande området och lägga en grund för resterande delar av arbetet. Beslutsstödet ska främja val av hållbara dagvattenssystem vilket ställer krav på att förstå den rådande problematik med dagvatten och vad en hållbar hantering innebär. Huvuddelen av litteraturstudien presenteras i teoridelen men upphämtad kunskap utgör även basen i design av beslutsstödet och framtagandet av systemalternativ av dagvattenlösningar för fallstudien. I huvudsak har vetenskapliga artiklar och rapporter studerats, men även tidigare examensarbeten med liknande inriktning samt utredningar från kommuner och konsultföretag har ingått i studien. För att hitta relevanta källor har sökverktyg som Web of Science, Google Scholar och Google använts. Exempel på sökord i processen har varit "Storm water management", "Urban Runoff", "Multicriteria decision", "Dagvattenhantering" och "Dagvattenteknik".

Viktiga källor i examensarbetet har varit publikationer från Svenskt Vatten. Då arbetet syftar att ta fram underlag för kommuner och andra inom branschen har dessa publikationer varit till stor hjälp då de är utformade för just dessa aktörer. De publikationer som främst använts är P90, P110 och P105 (Svenskt Vatten AB, 2004; Svenskt Vatten AB, 2016; Svenskt Vatten AB, 2011). Peter Stahres bok "Långsiktig hållbar dagvattenhantering - strategier och planering" har även fungerat som en inspirationskälla och vägledare (Stahre, 2004). Stahre presenterar förslag på ett nationellt förhållningssätt till hållbar dagvattenhantering och belyser problem som konventionell hantering medför.

3.2 Beslutsstöd

Beslutsstödet ska jämföra olika systemalternativ för dagvattenhantering och ge svar på vilket system som är mest optimalt i det specifika området. Tanken är att stödet ska användas tidigt i planering av dagvattenhantering. Optimalt används stödet efter att en översiktlig dagvattenutredning har utförts och ska sedan fungera som underlag för processens senare delar. Genom detta skapas förutsättningar för att flera parter i planeringen av dagvattenhantering arbetar mot samma mål och har dialog sinsemellan.

Beslutsstödet ska innefatta en generell struktur som möjliggör för planering av en hållbar dagvattenhantering samt belyser vilka samhällliga och naturgivna förutsättningar i området som är intressanta att analysera vid användandet. Detta utgör basen för den jämförelse av systemalternativ som utförs med multikriterieanalys. Tanken med upplägget tydliggörs i Figur 3.2.1.



Figur 3.2.1: Flödesschema av upplägg för beslutsstödet.

För visuell design av beslutsstödet togs ett excel-dokument fram, där främst själva multikriterieanalysen presenteras. Excel-dokumentet innefattar även vägledning för uppskattning av betingelser i området med avseende på fördröjningskrav och föroreningsbelastning samt vägledning vid design av de systemalternativ som verktyget jämför. Tanken med detta var att ge en möjlighet att sammanställa all information

som krävs för att använda beslutsstödet i det aktuella området och att nödvändiga beräkningar ska kunna utföras direkt i dokumentet.

3.2.1 Definition av hållbar dagvattenhantering

För att beslutstödet ska kunna främja val av hållbara system måste först begreppet hållbar dagvattenhantering definieras. I teoridelen redogörs rådande problematik med dagvatten i urbana miljöer (Avsnitt 2.1.1), hur upphandling av dagvattenhantering går till idag (Avsnitt 2.1.3), vedertagna internationella hållbarhetsdimensioner (Avsnitt 2.1.2) och dagvatten som en resurs för samhället (Avsnitt 2.1.2). När en hållbar dagvattenhantering definierades i beslutsstödet togs hänsyn till alla dessa delar.

En hållbar dagvattenhantering definieras som det systemalternativ som minimerar befintlig problematik i urbana miljöer med hänsyn till följande hållbarhetsaspekter; Teknik, Ekonomi, Miljö, Sociokultur och Hälsa. Detta stämmer överens med Urban Waters ramverk för multikriterieanalys (Avsnitt 2.2), där den övergripande problematiken relaterad till dagvatten i urbana miljöer (Tabell 2.1.1) samt dagvatten som en resurs för samhället ska vara integrerad i flera av dimensionerna. Ökad avrinning, föroreningstransport och sänkning av grundvattennivå ska alla representeras av kriterium i miljödimensionen, men även teknikdimensionen är relevant främst för ökad avrinning. De tjänster som dagvatten kan utgöra för den urbana miljön finns också integrerad i flera dimensioner, men kommer främst innefattas av kriterium inom sociokulturdimensionen. Denna definition av hållbar dagvattenhantering ska ligga till grund för valet av kriterium som utgör basen för beslutsstödet multikriterieanalys.

3.2.2 Områdets förutsättningar

För att uppskatta vilka av områdets förutsättningar som är relevanta att ta hänsyn till har metoder för beräkning av fördröjningskrav och föroreningsbelastning tagits fram. Även vilken information från området som behövs för att utvärdera de kriterier som multikriterieanalysen innefattar har identifierats till beslutsstödet. Där var tanken att rådande förhållningssätt i branschen skulle användas. Publikationer från Svenskt Vatten utgör en bra bas men även specifika kommuners metoder har undersökts. Till exempel finns inget nationellt krav för fördröjning eller rening av dagvatten i Sverige, vilket därför krävde uppskattning enligt rekommendationer från Svenskt Vatten och förhållningssätt för kommuner som kommit långt i sitt arbete med dagvatten. Den totala arbetsbördan för den som använder beslutsstödet får inte vara för stor, vilket gör att tydliga avgränsningar har gjorts. Då tanken är att beslutsstödet ska implemen-

teraser när planarbetet kommit igång bör en dagvattenutredning för det specifika området innehålla mycket av den information som krävs. Även den aktuella kommunens dagvattenstrategi eller dagvattenplan kan ge värdefull information. Nedan listas den information gällande områdets förutsättningar som förväntas krävas för att använda beslutsstödet:

- Fördröjningskrav efter exploatering
- Reningskrav av utgående dagvatten.
- Status av aktuell recipient
- Hantering av dagvatten innan exploatering
- Markförhållanden i område
- Nederbördsförhållanden
- Exploaterings påverkan på marktyper i området
- Önskemål på intressanta system för dagvattenhantering

I excel-dokumentet som tagits fram presenteras tillgänglig information och det framgår tydligt vilken information som behöver kompletteras.

3.2.3 Multikriterieanalys

Multikriterieanalysen ska i beslutsstödet skapa förutsättningar för att ett lämpligt och hållbart system för dagvatten kan identifieras för aktuellt område. Valet av kriterium och hur de bör utvärderas har därför gjorts så att val av hållbara system är möjligt och att utvärderingen kräver rimlig arbetsbelastning. Kriterierna får inte väljas så att någon aspekt dubbelräknas, utan varje relaterad problematik eller möjlighet med dagvatten i området ska utvärderas i ett specifikt kriterium. MKAn har utformats enligt Urban Waters ramverk (Figur 2.2.1) och innehåller poängsättning, viktning och betygsättning. I det excel-dokument som beskriver beslutsstödet finns tydliga instruktioner för att utföra analysen. Multikriterieanalysen utförs enligt den linjära additiva metod som beskrivs i avsnitt 2.2.

3.3 Fallstudie

Syftet med fallstudien var att testa det framtagna beslutsstödet och därigenom validera hur användbart stödet kan vara vid upphandling av dagvattenlösningar. Då beslutsstödet ska främja en hållbar dagvattenhantering var det också viktigt att värdera om beslutstödet faktiskt främjade val av hållbara system.

Fallstudien innefattas av tre delar: Inventering av fallstudieområde, design av systemalternativ och implementering av beslutstödet. Valet av område baserades på en dialog med Uppsala kommun och handledare Helene Sörelius på RISE, där ett optimalt område var under pågående planering för exploatering samt hade genomgått en dagvattenutredning.

3.3.1 Inventering av fallstudieområdet

För att definiera den information som krävs för att använda beslutstödet inventerades fallstudieområdet. Där användes i första hand aktuell dagvattenutredning, men vid behov även andra källor. Nedan listas vad inventeringen innefattade:

- Kartor över området har gjorts i ArcGIS för att visualisera markförhållanden, exploaterings effekt och förhållande till recipient.
- Fördröjningskrav uppskattades och en fördröjningsvolym efter exploatering beräknades enligt den metod som tagits fram till beslutstödet.
- Föroreningsbelastning för Cu, Zn, P och PAH simulerades med substansflödesmodellen SEWSYS, vilket validerades mot modellerade värden i StormTac.
- Vatten och markförhållanden analyserades från dagvattenutredning över området.

3.3.2 Design av systemalternativ

Val av systemalternativ till fallstudien har baserats på lösningarnas lämplighet i området, detta med avseende på fördröjningskrav, platsbegränsningar och förändring av markytor i området vid exploatering. Det slutgiltiga valet av lösningar togs fram i dialog med Uppsala kommun, projektdeltagare i “Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor” och handledare på RISE. Aktuell dagvattenutredning och de lösningar som presenteras där utgjorde även en inspiration till valet.

Designen av systemen kombinerar olika dagvattentekniker för att möjliggöra en jämförelse och därmed analysera vilka lösningar som är mest optimala i fallstudieområdet. Som referenssystemet valdes ett konventionellt system som är väl etablerat i branschen, medan systemalternativen kombinerar öppna och slutna lösningar som anses hållbara och mer moderna. En fördelning mellan olika typer av tekniker gjordes för att enklare kunna visa på skillnader mellan dessa med beslutstödet. Vid dimensionering av systemen har ett grundkrav på fördröjning av den förväntade magasineringsvolymen som orsakas av exploateringen ställts. Hänsyn har också tagits till rådande markförhållanden i området, som marktyp och

grundvattennivåer. Eftersom det i aktuellt fallstudieområde finns ett ledningsnät inräknades inte detta i designen av systemlösningarna. Detta då det komplementerande ledningsnätet antas vara liknande för samtliga alternativ och det fyller inget syfte att jämföra dessa sinsemellan. För varje system presenteras skisser på ritningar, hur stor plats systemen kommer kräva i området samt förslag på material och materialåtgång. Gällande material har data från leverantörer som säljer och konstruerar dagvattenlösningar använts.

3.3.3 Implementering av beslutsstöd

Vid implementeringen av beslutsstödet har designade systemalternativ utvärderats och jämförts enligt den framtagna multikriterieanalysen. Bedömning av respektive kriterium har motiverats och från detta har varje systemalternativ fått ett poäng. Under en workshop med Uppsala kommun har kriterium viktas efter hur mycket mötesdeltagarna ansåg varje kriterium skulle få påverka valet av dagvattensystem. Mötesdeltagarna representerade de förvaltningar på Uppsala kommun som arbetar med dagvatten, till exempel VA-förvaltning, miljöförvaltning, stadsbyggnadsförvaltning och tekniska nämnder. Under workshopen utfördes även en känslighetsanalys med alternativ viktning för att illustrera hur detta påverkade resultatet. En alternativ poängsättning enligt kommentarer från en referensgrupp innefattades också i känslighetsanalysen. Från viktning och poängsättning har ett betyg för respektive systemalternativ beräknats, vilket möjliggjorde jämförelse och identifiering av optimalt system för dagvattenhantering i fallstudieområdet.

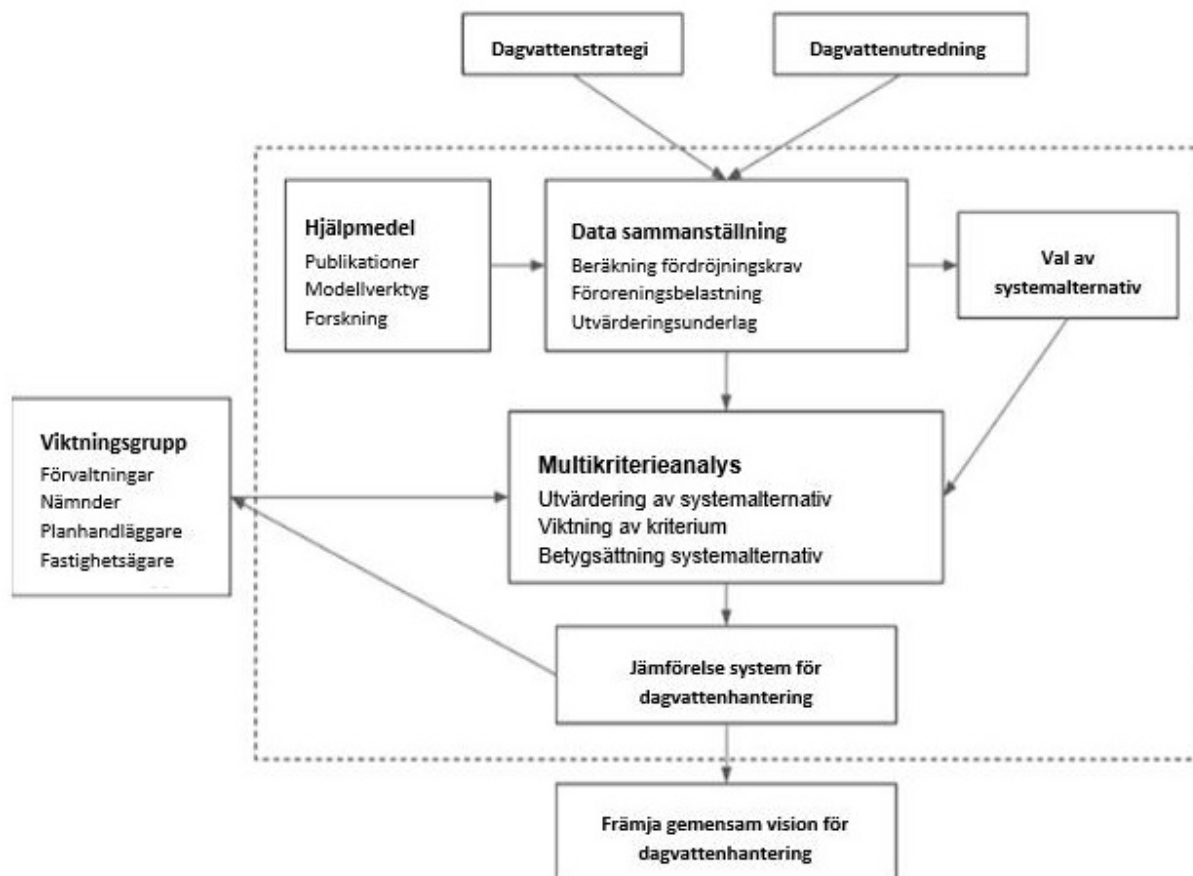
3.4 Validering av beslutsstöd

Beslutsstödet har validerats genom att under workshop med Uppsala kommun diskutera dess användbarhet, potential och möjlig komplettering.

4 Resultat

4.1 Beslutsstöd vid val av hållbara system för dagvattenhantering

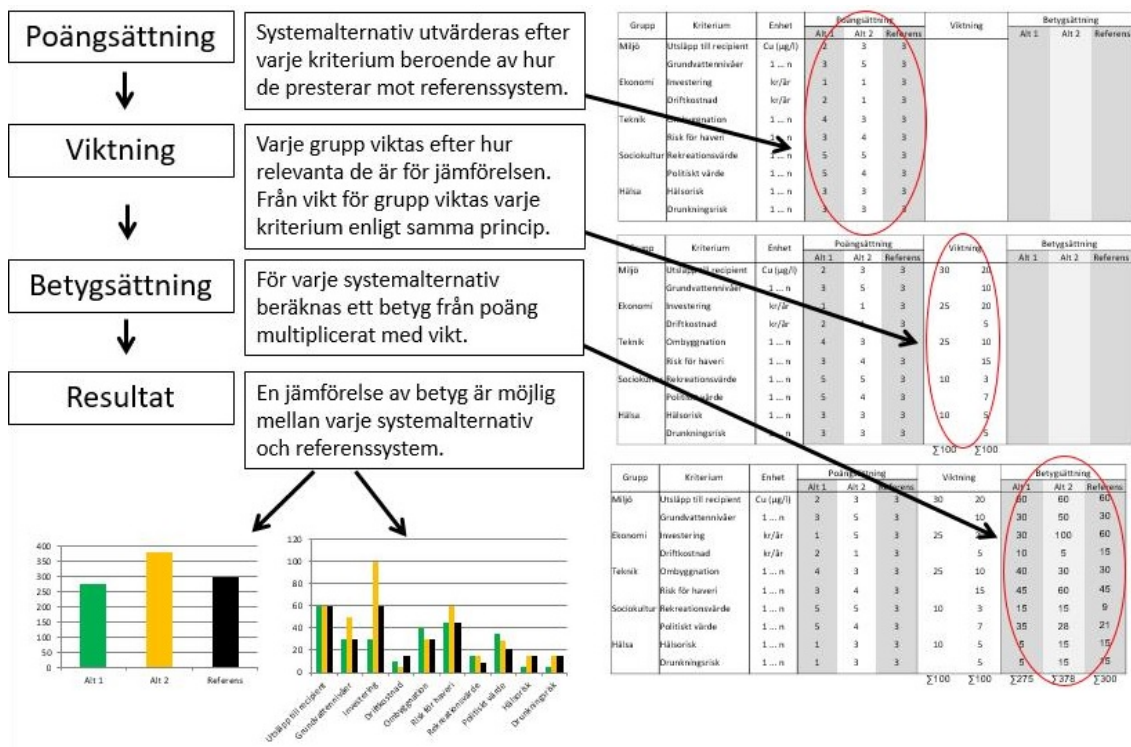
Excel-dokumentet som visualiserar allt beslutsstödet innehåller är uppdelat i fyra delar: Utvärderingsunderlag, Multikriterieanalys, Fördröjningskrav och Föroreningsbelastning. Instruktioner innehåller inledande vägledning om vad beslutsstödet innefattar och hur det ska användas (Bilaga A). Vad resterande delar behandlar presenteras i underrubriker nedan. I Figur 4.1.1 ges en översikt av hur beslutsstödet ska användas, där streckad linje illustrerar vad som innefattas.



Figur 4.1.1: Översiktsbild av vad beslutsstöd val av hållbara system för dagvattenhantering innefattar och hur det ska användas. Streckad linje i figur anger vad beslutsstödet innefattar.

4.1.1 Multikriterieanalys

I delen för multikriterieanalys jämförs systemalternativ av dagvattenhantering enligt Figur 4.1.2.



Figur 4.1.2: Bild över vad delen "Multikriterieanalys" i beslutsstödet innefattar.

4.1.1.1 Poängsättning

I första steget av multikriterieanalysen poängsätts systemalternativen med avseende på hur väl de presterar i förhållande till referenssystemet (Figur 4.1.3; Figur 4.1.4). Kriterium med jämförande värden (enhet 1 ... n) bedöms enligt Figur 4.1.3 och kriterium med absoluta värden (övriga enheter) enligt Figur 4.1.4. För absoluta kriterium beräknas en procentuell skillnad mellan referenssystemets prestation och övriga systemalternativ.

För kriterium med enhet 1 ... n använd följande skala:
Poäng 5: Systemet presterar mycket bättre än ett konventionellt dagvattensystem.
Poäng 4: Systemet presterar bättre än ett konventionellt dagvattensystem.
Poäng 3: Systemet presterar lika bra som ett konventionellt dagvattensystem.
Poäng 2: Systemet presterar sämre än konventionellt dagvattensystem.
Poäng 1: Systemet presterar mycket sämre än ett konventionellt dagvattensystem.

Figur 4.1.3: Beskrivande figur över hur poängsättning av kriterium av jämförande värden med enhet 1 ... n görs för systemalternativ i förhållande till referenssystem.

För kriterium med annan enhet använd följande skala:
Poäng 5: Systemet presterar mycket bättre än ett konventionellt dagvattensystem. Med en skillnad på $> 40\%$
Poäng 4: Systemet presterar bättre än ett konventionellt dagvattensystem. Med en skillnad på $10\% < 40\%$
Poäng 3: Systemet presterar lika bra som ett konventionellt dagvattensystem. Med en skillnad på $0\% < 10\%$
Poäng 2: Systemet presterar sämre än konventionellt dagvattensystem. Med en skillnad på $10\% < 40\%$
Poäng 1: Systemet presterar mycket sämre än ett konventionellt dagvattensystem. Med en skillnad på $> 40\%$

Figur 4.1.4: Beskrivande figur över hur poängsättning av kriterium av absoluta värden med annan enhet än 1 ... n görs för systemalternativ i förhållande till referenssystem.

Valda kriterium för beslutstödet presenteras i Figur 4.1.5. Där grupperas varje kriterium (Avsnitt 2.2) och redogörs för vilken parameter relaterad med dagvatten som de behandlar. För varje kriterium presenteras även vald enhet.

Grupp	Parameter	Kriterium	Enhet
Miljö	Recipient	Utsläpp till recipient	Cu ($\mu\text{g/l}$)
			Zn ($\mu\text{g/l}$)
			P ($\mu\text{g/l}$)
			PAH ($\mu\text{g/l}$)
	Vattenförekomst	Grundvattennivåer	1 ... n
			Påverkan råvattentäkt
Luftmiljö	Påverkan mikroklimat	1 ... n	
Klimat	Utsläpp av CO ₂ -ekvivalenter	kg CO ₂ -ekv	
Ekonomi	Livscykeleekonomi	Investering	kr/år
		Driftkostnad	kr/år
	Samhällsekonomi	Markanvändning	%
	Organisation	Implementering	1 ... n
		Ansvarsfördelning	1 ... n
Teknik	Flexibilitet & Resiliens	Ombyggnationsmöjlighet	1 ... n
	Robusthet	Risk för haveri	1 ... n
Sociokulturella	Rekreation	Rekreativvärde	1 ... n
		Politiskt värde	1 ... n
		Framkomlighet	1 ... n
	Biologisk mångfald	Påverkan artantal	1 ... n
Hälsa	Risk för allmänheten	Hälsorisk	1 ... n
		Drunkningsrisk	1 ... n

Figur 4.1.5: Valda kriterium för beslutsstöd för val av hållbara system för dagvattenhantering. Kriterier presenteras efter grupp, parameter de avser samt vald enhet.

För varje grupp presenteras nedan utvärderingsunderlag för respektive kriterium. Där ges en övergripande förklaring om vad kriteriet innebär samt exempel på hur olika typer av dagvattenlösningar kan prestera.

Miljö

För det första kriteriet "Utsläpp till recipient" ska systemen värderas utifrån deras påverkan på utsläpp till aktuell recipient med avseende på föroreningarna Cu, Zn, P och PAH. Beroende på hur systemen är utformade kommer de ha olika reningsgrad vilket ger en viss reningseffekt på förorenat dagvatten som kan antas hanteras i systemet. Denna effekt kan därmed ge en minskad föroreningsbelastning till aktuell

recipient. För att uppskatta reningseffekten för respektive lösningar kan reningsgrader från StormTac Data (StormTac, 2017-02) användas för likvärdiga dagvattensystem. För att få perspektiv på hur systemen presterar är status av aktuell recipient intressant.

I kriteriet “Grundvattennivåer” ska systemen värderas utifrån deras påverkan på grundvattennivåer i närområdet. Detta genom att hänsyn tas till systemets möjlighet av infiltration till grundvatten. Beroende på marktyp i området kan infiltration ske mer eller mindre effektivt, till exempel infiltrerar lerhaltiga jordar dåligt medan sandhaltiga infiltrerar väl. Aktuell grundvattennivå i förhållande till markytan i området är också relevant information att ta hänsyn till. System som fördröjer dagvatten på markytan (till exempel översilningsytor) kan vid rätt markförhållanden infiltrera dagvatten ner till grundvattnet om ingen barriär innefattas i anläggningen.

För kriteriet “Påverkan råvattentäkt” ska system värderas utifrån deras påverkan på befintlig råvattentäkt. Med detta menas hur systemen kan påverka vattenförekomster som används till dricksvatten. För att säkra dricksvattenberedning finns skyddsgränser kring råvattentäkter där endast vissa typer av verksamheter tillåts. Om grundvatten fungerar som råvattentäkt är infiltration av dagvatten problematiskt. Om ytvatten fungerar som råvattentäkt är vikten av rening av förorenat dagvatten som riskerar att avrinna till vattenförekomsten önskvärd. Förutom typen av råvattentäkt är därmed även avstånd mellan skyddsområde och systemen viktig att ta hänsyn till vid utvärderingen.

Kriteriet “Påverkan mikroklimat” värderar systemen med avseende på möjlighet till evapotranspiration, vilket påverkar temperatur och luftfuktighet i området. System med växtlighet kommer bidra till transpiration och ljusa material som sten eller betong kommer reflektera mer inkommande solljus än system av mörkare material som asfalt eller plåt. Lösningar där en vattenspegel skapas, som dagvattendammar eller våtmarker, får inkommande vatten att avdunsta vilket också har en positiv påverkan på luftfuktighet.

För kriteriet “Utsläpp CO₂-ekvivalenter” ska systemen värderas utifrån deras utsläpp av koldioxidekvivalenter, vilket ger en uppskattning av systemens globala klimatpåverkan. Vid beräkningar av CO₂-ekvivalenter för systemen tas hänsyn till materialval, underhåll för drift, utbytesfrekvens baserad på livslängd samt transport och arbete vid etablering. Storlek av utsläpp kan därmed till exempel bero av systemens storlek och avstånd till tillverkare av material. För att uppskatta vilket CO₂-ekvivalent ett material motsvarar används i första hand databasen Ecoinvent men i vissa fall kompletterande källor.

Ekonomi

Det första kriteriet för grupp ekonomi värderar hur stor "Investering" som krävs för att anlägga systemen. Där beräknas en investeringskostnad (K_{invest}) med annuitetsmetoden (Ekvation 4.1). Hänsyn till anläggningskostnad för systemen ($K_{anlägg}$), livslängd (n) samt en lämplig kalkylränta (i) % (Nilsson & Persson, 1990). Anläggningskostnader för system kan uppskattas från rapporten "Kostnadsberäkningar av exempellösningar för dagvatten" (Andersson & Åkerman, 2016). Beroende på livslängd och anläggningskostnadens storlek ges en viss kostnad per år för systemen.

$$K_{invest} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n + 1} K_{anlägg} \quad \text{Ekvation 4.1}$$

För kriteriet "Driftkostnad" ska systemen värderas utifrån kostnad för att hålla systemet i drift. Detta kan innefatta, beroende på lösning, energiåtgång, gödning, spolning eller påfyllnad av material. Kostnaden påverkas av hur ofta och med vilken omfattning underhåll ska ske.

Kriteriet "Markanvändning" ska värdera systemen med avseende på hur stor markyta som krävs för att de ska klara det fördröjningskrav som finns efter exploatering. Vid implementering av systemen kan obebyggda ytor försvinna och därför kan systemalternativen konkurrera med andra intressen, till exempel öppna grönytor. Förutom vilken typ av markyta som system planeras att byggas på är anläggningens area relevant att utvärdera. System som byggs under mark kommer ha en betydligt mindre påverkan på markanvändning efter systemet har implementerats.

Kriteriet "Implementering" värderar hur enkelt systemen kan implementeras. Detta genom att ta hänsyn till hur väl etablerade liknande system är i Sverige och bland entreprenörer. Att anlägga en lösning som gjorts flera gånger tidigare av samma entreprenör eller i samma område betyder att kunskap är mer tillgänglig i jämförelse med anläggning av nyare lösningar. Om en lösning anläggs för första gången kommer arbetet inte vara lika effektivt och större risk finns för att fel inträffar under processen. Konventionella system för dagvattenhantering, som till exempel fördröjningsmagasin, har anlagts i Sverige under många år vilket betyder att det finns större erfarenhet än mer moderna lösningar som till exempel gröna tak.

Kriteriet "Ansvarsfördelning" värderar tydlighet i ansvar för underhåll av systemen. Vem som ansvarar för underhållet varierar med utformningen på systemalternativet och vilken typ av mark som system kommer anläggas på. Om marken är privat kommer allt ansvar för underhåll ligga på fastighetsägaren. Om marken är kommunalt ägd kommer ansvaret styras av flera förvaltningar på kommunen beroende

av systemets utformning. Vid system med gröna ytor sköts underhållet ofta av kommunens ansvariga för park och gata medan lösningar som är belägna under mark med en mer direkt anslutning till VA-nätet ofta sköts av kommunens ansvariga för vatten och avlopp. Om en lösning är implementerad på byggnader ställs kravet av underhåll ofta på fastighetsägaren. Ett problem som kan vara förknippat med ansvarsfördelning är att underhållet ofta sköts av en drivande person och om denna slutar kan både kompetens och drivkraft för att underhålla system försvinna.

Teknik

För kriteriet "Ombyggnationsmöjlighet" ska systemen värderas för deras möjlighet till ombyggnation vid ändrade förutsättningar, till exempel vid högre flöden orsakade av ökande nederbörd eller förtätning i området. Om högre krav på fördröjning eller krav på rening av förorenat dagvatten tillkommer hur enkelt kan systemet kompletteras för att hantera detta? Idag finns inga nationella krav på rening eller specifika krav på fördröjning av dagvatten, men kommuner kan själva i sina dagvattenplaner sätta upp mål för rening eller fördröjning (Boverket, 2016). System som är anlagda på markytan, till exempel översilningsytor, kan enkelt expanderas till en större markyta för att hantera större dagvattenvolymer medan system med en struktur under mark, till exempel skelettjordar, kräver mer arbete att expandera.

Kriteriet "Risk för haveri" ska värdera den risk som finns för att system havererar vid exempelvis större vattenflöden än vad de är dimensionerade för. Om systemen dimensioneras för att klara av att fördröja ett 10-årsregn med en varaktighet på 10 minuter eller en vattenvolym på 20 mm kan det råda en risk för haveri om det kommer ett regn med högre återkomsttid och längre varaktighet. Lösningar som tål att vatten ansamlas kan innefatta höga kanter vid marknivå eller närhet till översvämningsytor, vilket minskar risken för haveri. Haveri kan betyda översvämnings i systemens närområde, men även att föroreningar i dagvattnet kommer i kontakt med känsliga vattenförekomster.

Sociokultur

För kriteriet "Rekreativvärde" ska system värderas med avseende på det rekreativvärde som implementering av systemen bidrar med. Framst innebär detta hur de bidrar estetiskt och naturpedagogiskt i närmiljön. Till exempel kan gröna och blå ytor anses vara estetiskt tilltalande och ytor med öppet vatten kan bidra med naturpedagogik till allmänheten då det går att koppla samman vattnets variation med årstid och rådande klimat (Stahre, 2004). Detta kan skapa en ökad medvetenhet av hur en naturlig vattencykel fungerar. Gröna miljöer kan också skapa platser för återhämtning och möten vilket ofta förknippas med rekreation (Stahre, 2004; White et al., 2010; Naturvårdsverket, 2010).

Kriteriet "Politiskt värde" ska värdera systemens politiska värde i området där de anläggs. Många kommuner i Sverige har formulerat planer på hur de vill att dagvattenhanteringen ska utvecklas (Boverket, 2016a), ofta med exempel på vilka typer av lösningar som prioriteras. Lösningar som är förknippade med hållbarhet, till exempel öppna gröna lösningar, har ett visst medialt värde och är därför intressant för styrande politiker. Om lösningar som anses hållbara medialt anläggs ger detta en positiv bild av hur kommunen hanterar dagvattenfrågan och är således eftersträvansvärt politiskt.

För kriteriet "Framkomlighet" ska systemen värderas från deras påverkan på framkomlighet för allmänheten. Om lösningar med ojämn yta, exempelvis gatsten eller grus, anläggs kan detta påverka framkomlighet för till exempel rörelseförhindrade och blinda. Anläggningar kan även försvåra för fordon som cyklar, personbilar eller ambulanser att röra sig fritt. Andra exempel kan vara diken eller åar som dras genom ett öppet grönområde och därmed skapar en barriär för framkomlighet över det öppna området.

Kriteriet "Artantal" ska värdera systemen utifrån deras påverkan på artantal i närliggande område. Plantering av ny växtlighet ökar artantalet och kan dessutom påverka andra arters utbredning. Mer växtlighet kommer öka den biologiska mångfalden, vilket kan ge ett ökande artantal. Träd kan fungera som boplatser för insekter och fåglar som tidigare saknas och lösningar med gröna miljöer kommer därför potentiellt bidra till ökat artantal i jämförelse med slutna system som helt saknar detta.

Hälsa

Kriteriet "Hälsorisk" värderar i vilket utsträckning systemen utgör en hälsorisk för allmänheten. Till exempel finns det möjlighet att fysiskt skada sig på anläggningen eller ökar möjlighet att barn äter jord/giftiga växter? Lösningar kan eventuellt göra att föroreningen blir mer tillgängliga för allmänheten, till exempel genom att en anläggning med förorenat dagvatten går att bada i.

För kriteriet "Drunkningsrisk" ska systemen värderas utifrån den drunkningsrisk som anläggningen kan skapa för allmänheten. Dagvattenlösningar med stora mängder ansamlat vatten, till exempel våtmarker eller dagvattendammar, bidrar med en tydlig risk för allmänheten att drunkna. Lösningar som har lite ansamlat vatten, till exempel diken eller översvämningssytor, kan även de utgöra en viss risk.

4.1.1.2 Viktning

För att jämförelsen av system för dagvattenhantering ska ta hänsyn till områdets förutsättningar ska varje kriterium ges en vikt som avspeglar dess relevans. Detta bör utföras av en grupp som representerar flera delar av dagvattenhanteringen, till exempel representanter från de som ska sköta underhåll, ansvariga för

byggnation av anläggning, planansvarig för exploatering eller annan sakkunnig inom dagvatten på kommunen. Tanken med viktningen är att denna grupp ska komma till en gemensam slutsats av vilka kriterier som är viktiga för det specifika fallet och därmed i vilken utsträckning exempelvis miljö eller ekonomi ska påverka valet av system. Att gruppen gemensamt får diskutera frågan hur dagvattenhanteringen ska skötas ger förutsättningar för att det slutgiltiga valet är väl grundat och att alla parter jobbar mot samma mål under upphandlingen. Vikten av beslutsstödet grupper, miljö, ekonomi, teknik, sociokultur och hälsa, ska först sättas för att sedan fördela rätt vikt mellan de kriterier som innefattas i respektive grupp. Hur en viktning kan gå till presenteras i Avsnitt 4.2.3.2.

4.1.1.3 Betygsättning och resultat

Produkten av viktning och poängsättning ger ett betyg för respektive kriterium för varje systemalternativ. Summan av samtliga betyg gör det möjligt att avgöra vilket systemalternativ som är mest fördelaktigt och jämföra hur väl de presterar mot referenssystemet. Då det är intressant att titta på hur en specifik viktning eller poängsättning påverkar resultatet bör en känslighetsanalys utföras med alternativ poängsättning eller viktning. Det sammanvägda betyget för varje systemalternativ utgör resultatet av multikriterieanalysen och hur detta presenteras i beslutsstödet redogörs i Avsnitt 4.2.3.3.

4.1.2 Fördröjningskrav

I delen om fördröjningskrav ger beslutsstödet en uppskattning av vilken fördröjningsvolym av dagvatten som bör ställas efter exploatering. För att göra uppskattningen behövs data över hur marktytor förväntas att förändras efter exploatering, vilket ofta finns tillgängligt i aktuell dagvattenutredning eller planbeskrivning. Uppskattningen kräver även att fördröjningskrav ställs gällande återkomsttid för nederbörd (T) och regnvaraktighet (tr) eller regnmängd (RV). Om kommunen inte har ett fördröjningskrav gällande dagvatten ges i stödet förslag baserat på rekommendationer från Svenskt Vatten P110 (Svenskt Vatten AB, 2016) samt föreslagen åtgärdsnivå från Stockholms tekniska nämnder (Stockholm vatten & avfall, 2017). Utöver fördröjningskrav och marktytor krävs att lämplig klimatfaktor (F_c) definieras. Denna klimatfaktor tar hänsyn till hur den globala uppvärmningen kommer påverka framtidens klimat, till exempel med avseende på nederbördsmängder. Resterande information som krävs för att uppskatta en fördröjningsvolym (V_D) finns tillgänglig. Nedan följer de beräkningssteg som utförs i beslutsstödet.

Regnintensitet ($i(tr;Z)$) beräknas enligt Ekvation 4.2 (Dahlström, 1979) från konstant för återkomsttid (a, b), konstant för regnintensitet (c) samt nederbördsfaktor (Z). Konstanter a , b och c avläses i tabeller

beroende på satt återkomsttid och regnvaraktighet (Svenskt Vatten AB, 2016) och Z i figur beroende på geografisk placering (Dahlström, 1979). Dessa figurer och tabeller finns angivna i beslutsstödet.

$$i(tr, Z) [l/s ha] = 2,78 (a + Zb) c \quad \text{Ekvation 4.2}$$

Ett dimensionerat inflöde (Q_{dim}) för hela området före ($Q_{dim,fore}$) och efter ($Q_{dim,efter}$) exploatering kan beräknas enligt Ekvation 4.3 (Svenskt vatten AB, 2011). Avrinningskoefficienter (φ) för ytor avläses i tabell i beslutsstödet baserad på φ för den specifika ytan (Tegelberg & Svensson, 2013). Area för den specifika ytan multipliceras med dess avrinningskoefficient och summeras.

$$Q_{dim} [l/s] = i(tr, Z) \sum_{j=1} (\varphi_j Area_j) \quad \text{Ekvation 4.3}$$

Ett maximalt utflöde (Q_{ut}) kan beräknas för området enligt Ekvation 4.4. Där tas hänsyn till att ledningsnät maximalt får vara fyllt till 95 % vid maxflöde (Svenskt Vatten AB, 2016) samt det dimensionerade inflödet före exploatering ($Q_{dim,fore}$). Detta då det maximala utflödet efter exploatering bör vara likvärdigt med utflödet innan exploateringen för att inte belasta det befintliga ledningsnätet från området.

$$Q_{ut} [l/s] = Q_{dim,fore} 1,05 \quad \text{Ekvation 4.4}$$

En fördröjningsvolym (V_D) kan beräknas enligt Ekvation 4.5 (Svenskt Vatten AB, 2016) där $Q_{dim,efter}$ kompenseras för framtida klimatförändringar med den satta klimatfaktorn (F_c). Vanligen används en klimatfaktor mellan 5 - 20 %.

$$V_D [m^3] = tr(F_c Q_{dim,efter} - Q_{ut}) \quad \text{Ekvation 4.5}$$

4.1.3 Föroreningsbelastning

I delen om föroreningsbelastning kan mängder av föroreningarna Cu, Zn, P och PAH i utgående dagvatten från aktuellt område efter exploatering uppskattas. För att göra uppskattningen krävs information om föroreningsbelastning från området innan exploatering, ansamlad dagvattenvolym för hela området samt dagvattenvolymer som kommer hanteras i system för hantering efter exploatering. Dagvattenvolymer kan beräknas i beslutsstödet del gällande fördröjningskrav. Föroreningsbelastning rekommenderas i stödet att uppskattas med substansflödesmodellen SEWSYS eller med StormTac Data. I SEWSYS beräknas belastningen från område till recipient utifrån föroreningskällor som tak, trafik och våtdeposition i av-

rinningsområdet (Ahlman, 2006), vilket kräver att betingelser i området definieras. Verktyget kräver uppskattning av Zn och Cu på byggnader och vägar i området, basflöde av vatten [l/s], årsnederbörd [mm] samt rådande trafikintensitet [km/dag] med andel tung trafik. Verktyget kräver också att ett regn simuleras från regndata som är representativt för aktuellt område. Resultatet från en simulering i SEW-SYS presenteras i Avsnitt 4.2.1.3. SEW-SYS är uppbyggd i Matlab/Simulink och kräver ingen licens. Även StormTac Data är tillgängligt för alla och finns att ladda ner på StormTacs hemsida. I denna datafil finns modellerad föroreningsbelastning för olika områdestyper, till exempel parkering, villaområde eller flerfamiljshusområde. I Avsnitt 4.2.1.3 presenteras exempel på data från StormTac Data.

Delen om föroreningsbelastning presenterar reningsgrader [%] för olika typer av system för dagvattenhantering (StormTac Data, 2017) samt riktvärden för utsläpp [$\mu\text{g/l}$] (Miljöförvaltningen, 2013; Jacobs et al., 2009). För att beräkna hur utsläppen påverkas efter etablering av system för dagvattenhantering ($U_{t_{\text{efter}}}$) används förutom reningsgrader (Ren_{grad}) från StormTac Data aktuell föroreningsbelastning ($U_{t_{\text{innan}}}$) med hänsyn till den volym dagvatten (V) som systemen kommer behandla (Ekvation 4.6), där $U_{t_{\text{innan}}}$ kan uppskattas med antingen SEW-SYS eller StormTac Data.

$$U_{t_{\text{efter}}} [\text{kg}] = U_{t_{\text{innan}}} [\text{kg}] - Ren_{\text{red}} [\text{kg}] \quad \text{Ekvation 4.6}$$

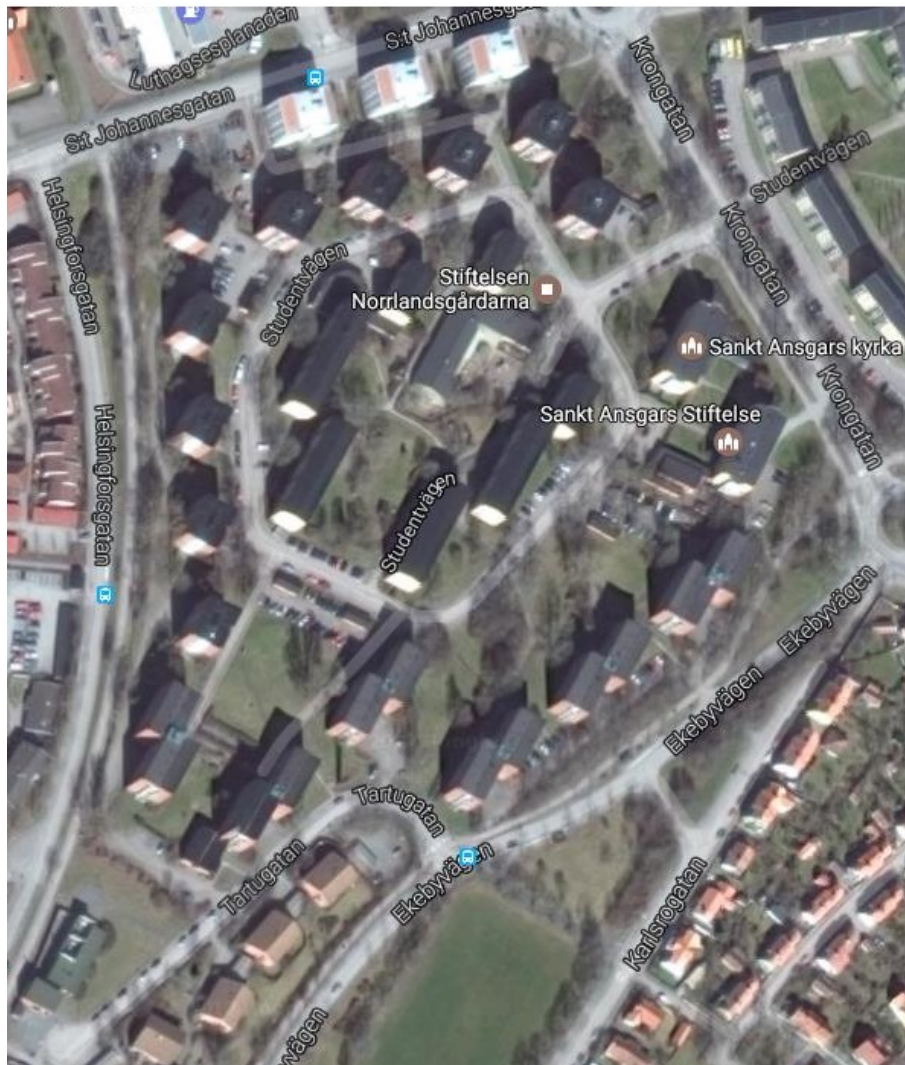
Där Ren_{red} är den reduktion av föroreningar som systemen kommer att bidra med. Denna beräknas enligt Ekvation 4.7.

$$Ren_{\text{red}} [\text{kg}] = U_{t_{\text{innan}}} [\text{kg/l}] Ren_{\text{grad}} [\%] \quad \text{Ekvation 4.7}$$

4.2 Fallstudie “Förtätning av Studentvägen”

4.2.1 Områdets förutsättningar

Studentvägen är ett bostadsområde för studenter på drygt 6 ha beläget i centrala Uppsala. I området finns omkring 1000 bostäder där marken ägs av stiftelsen Norrlandsgårdarna, Stiftelsen Gästrike-Hälsinge Nations Studentbostäder, Stiftelsen Stockholms Nations Studentbostäder och Uppsala kommun (Erixson, 2016). Området omringas av vägarna S:t Johannesgatan (norr), Helsingforsgatan (syd-väst), Tartugatan och Ekebyvägen (syd-öst) samt Krongatan (nord-öst) (Figur 4.2.1). Studentvägen är den lätt trafikerade väg som går igenom bostadsområdet (Figur 4.2.1).



Figur 4.2.1: Översiktsbild på Studentvägen där omringande vägar anges (Google maps 2017-02-22).

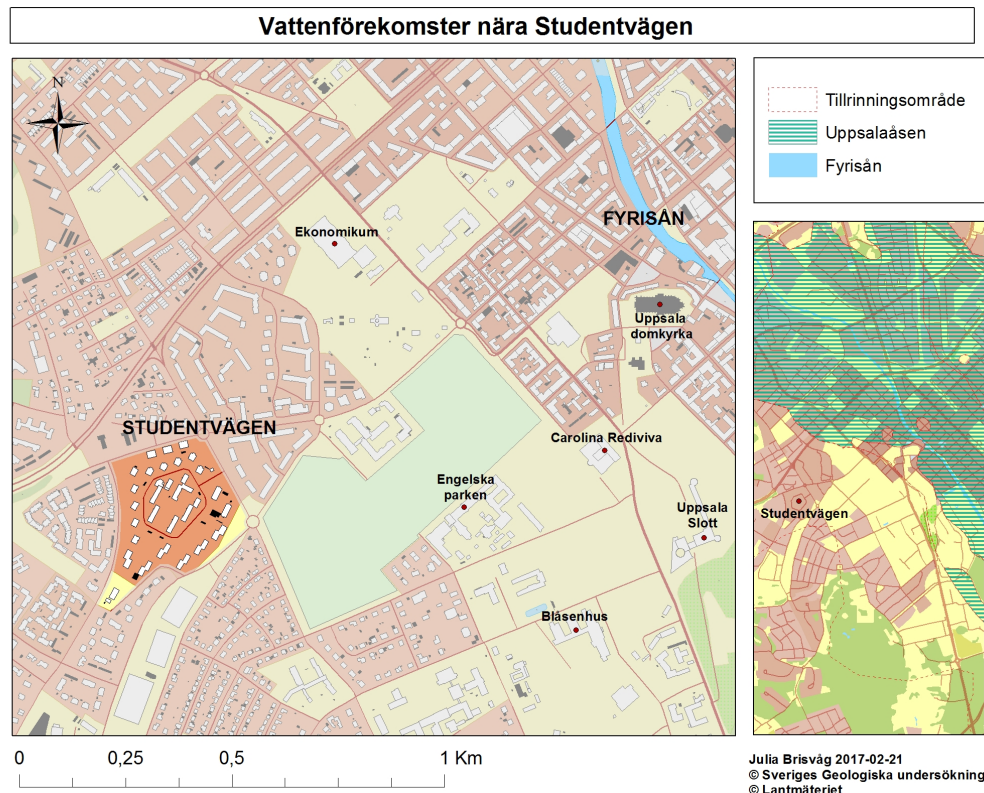
Den planerade förtätningen kommer innebära att ungefär 350 nya bostäder och 30 parkeringsplatser byggs i området (Erixson, 2016). I Tabell 4.2.1 presenteras hur fördelning av marktyp ser ut på Studentvägen före och efter exploatering.

Tabell: 4.2.1 Marktyper i fallstudieområdet före och efter exploatering i ha (Stålheim & Filipsson, 2016). Den totala areala effekten av exploateringen redovisas i ha och avrinningskoefficient för den specifika ytan presenteras (Tegelberg & Svensson, 2013).

Marktyp	Före exploatering	Efter exploatering	Effekt exploatering	Avrinningskoefficient (φ)
Tak	1,002 [ha]	1,329 [ha]	+ 0,327 [ha]	0,9
Parkering/Väg	0,239 [ha]	0,238 [ha]	~ 0 [ha]	0,8
Hårdgjord	1,352 [ha]	1,374 [ha]	+ 0,022 [ha]	0,8
Grönyta	2,716 [ha]	2,366 [ha]	- 0,350 [ha]	0,1

4.2.1.1 Aktuell vattenförekomst

Dagvatten från Studentvägen avleds via duplikatsystem till den närliggande recipienten Fyrisån (Erixson, 2016). Fyrisån uppnådde 2015 måttlig ekologisk status och uppnår ej god kemisk status enligt rådande miljö kvalitetsnormer (VISS, 2017e). Detta beror på höga uppmätta halter av kvicksilver i fisk samt zink och arsenik i vatten (VISS, 2017e). Diffusa källor från urban markanvändning, där dagvatten nämns som trolig källa, har även betydande påverkan på fosforhalten i ån (VISS, 2017e). Studentvägens placering i förhållande till Fyrisån redogörs i Figur 4.2.2.



Figur 4.2.2: Översiktsbild av Studentvägens förhållande till närliggande vattenförekomster. Data hämtat

från SGU och Lantmäteriet 2017-02-21.

Uppsala- och Vattholmaåsarna är vattenskyddsområde i Uppsala kommun, vilket innebär att det inom det inre vattenskyddsområdet inte får ske avledning av dagvatten (Alsen & Lindman, 1990). Studentvägen ligger en bit utanför det inre vattenskyddsområdet (Figur 4.2.2; Stålheim & Filipsson, 2016) och dagvatten från området kommer därför inte påverka åsarna. Utöver detta är Studentvägen byggd på mark bestående av postglacial och glacial lera (Figur 4.2.3), vilket betyder att infiltration av dagvatten till grundvatten kommer vara mycket begränsad.

Jordartskarta Studentvägen



- Glacial lera
- Postglacial lera
- Urberg

Julia Brisvåg 2016-10-13
© Sveriges Geologiska undersökning

Figur 4.2.3: Jordartskarta över Studentvägen. Baserad på data från Sveriges Geologiska undersökning hämtat 2016-10-13.

4.2.1.2 Fördröjningskrav efter exploatering

Då Uppsala kommun inte har något specifikt fördröjningskrav för dagvatten har ett krav tagits fram efter rekommendationer från Svenskt vatten P110 samt Stockholm stads åtgärdsnivå. I P110 rekommenderas att nya anläggningar för dagvattenhantering ska kunna fördröja vattenflöden vid ett 10-årsregn med varaktighet på 10 minuter (Svenskt Vatten AB, 2016). Stockholms stads tekniska nämnder har antagit en åtgärdsnivå för dagvattenhantering på 20 mm (Stockholm vatten & avfall, 2017). Denna nivå innebär att nya dagvattenanläggningar ska dimensioneras för att lokalt fördröja en vattenvolym på 20 mm. Detta kan översättas till att en regnvolyms (RV) på 20 mm ska hanteras inom området, vilket betyder att omkring 90 % av total regnmängd fördröjs (Svenskt Vatten AB, 2016).

För att uppskatta en fördröjningsvolym (V_D) som kan fördröjas enligt Svenskt Vattens rekommendationer antas betingelser angivna i Tabell 4.2.2 samt areor före och efter exploatering i Tabell 4.2.1.

Tabell 4.2.2: Antagna betingelser för beräkningar av fördröjningskrav på Studentvägen.

Betingelse	Enhet	Antaget värde för Studentvägen	Källa till antagande
Regnvaraktighet (tr)	[min]	10	Enligt Svenskt Vatten P110
Återkomsttid (T)	[år]	10	Enligt Svenskt Vatten P110
Konstant för T (a)	-	16,12	Enligt Svenskt Vatten P90 (2004)
Konstant för T (b)	-	0,32	Enligt Svenskt Vatten P90 (2004)
Konstant för tr (c)	-	3,62	Enligt Svenskt Vatten P90 (2004)
Nederbördsfaktor (Z)	-	21	Enligt Dahlström 1979
Klimatfaktor (F_c)	-	1,15	Enligt dagvattenutredning Structor

Från antagna betingelser i Tabell 4.2.2 kan en regnintensitet ($i(tr, Z)$) för Studentvägen beräknas enligt Ekvation 4.2.

$$i(tr, Z) = 2,78 (16,12 + 21 \cdot 0,314) 3,62 = 229 \text{ l/s ha}$$

Ett dimensionerat inflöde (Q_{dim}) för hela området före och efter exploatering kan beräknas enligt Ekvation 4.3. Areor och φ presenteras i Tabell 4.2.1.

$$Q_{dim,fore} = 229 \text{ [l/s ha]} (0,1 \cdot 2,716 \text{ [ha]} + 0,8 \cdot (0,239 \text{ [ha]} + 1,352 \text{ [ha]}) + 0,9 \cdot 1,002 \text{ [ha]}) = 559 \text{ l/s}$$

$$Q_{dim,efter} = 229 \text{ [l/s ha]} (0,1 \cdot 2,366 \text{ [ha]} + 0,8 \cdot (0,238 \text{ [ha]} + 1,374 \text{ [ha]}) + 0,9 \cdot 1,331 \text{ [ha]}) = 623 \text{ l/s}$$

Ett maximalt utflöde (Q_{ut}) kan beräknas för området enligt Ekvation 4.4.

$$Q_{ut} = 559 \text{ [l/s]} \cdot 1,05 = 587 \text{ l/s}$$

En fördröjningsvolym (V_D) kan beräknas enligt Ekvation 4.5 där $Q_{dim,efter}$ kompenseras för framtida klimatförändringar med den satta klimatfaktorn (F_c).

$$V_D = 600 \text{ [s]} (1,15 \cdot 623 \text{ [l/s]} - 587 \text{ [l/s]}) = 78 \text{ m}^3$$

Så vid dimensionering och design av systemalternativen krävs fördröjningskrav på 78 m^3 . Om detta krav hålls kommer vattenflöden efter exploateringen inte belasta det befintliga systemet för dagvattenhantering innan exploateringen. Samtliga data som används vid beräkningar av fördröjningskravet presenteras i Bilaga B.

4.2.1.3 Föroreningsbelastning från Studentvägen

Föroreningsbelastning på Studentvägen uppskattades med substansflödesmodellen SEWSYS. De indata som användes presenteras i Tabell 4.2.3, där andel Cu och Zn på områdets tak uppskattades genom visuell bedömning av material på tak och husväggar. Trafikintensiteten avser endast den lätt trafikerade väg som går igenom bostadsområdet (Figur 4.2.1). För att simulera ett regn i modellen användes regndata baserat på mätningar för Uppsala mellan 1993 och 2003.

Tabell 4.2.3: Indata för modellering i SEWSYS. Ytor är baserade på Structors dagvattenutredning 2016 (Stålheim & Filipsson, 2016) samt basflöde och årsnederbörd från beräknad regnintensitet för Studentvägen (Ekvation 4.2.1).

Hårdlagd yta	Tak	Väg	Annat	Totalt
	0,100 ha	0,329 ha	1,352 ha	2,681 ha
Andel Cu	10 %	-	-	0,100 ha
Andel Zn	4 %	2 %	-	0,040 ha
Trafikintensitet	12 km/dag			
Andel tung trafik	2 %			
Basflöde	229 l/s			
Årsnederbörd	631 mm			

Modelleringen i SEWSYS gav en total dagvattenvolym på 70 000 m³ per år för Studentvägen. SEWSYS gav även mängder på utsläpp av föroreningar i kg från Studentvägen, vilket omvandlades till µg/l för att göra det jämförbart med aktuella riktvärden framtaget av Miljöförvaltningen Göteborgs stad (Miljöförvaltningen, 2013) och Riktvärdesgruppen (Jacobs et al., 2009). Utsläpp i µg/l samt riktvärden för Cu, Zn, P och PAH presenteras i Tabell 4.2.4. I Tabellen presenteras också det basflöde för respektive förorening som StormTac modellerat för ett flerfamiljshusområde, vilket kan antas vara mest likt Studentvägen av tillgängliga områden i modellen (StormTac, 2017-02). Dessa värden stämmer relativt bra överens och skillnaden kan antas bero på den låga trafikintensiteten på Studentvägen. Samtlig data för beräkningar av föroreningsbelastning presenteras i Bilaga D.

Tabell 4.2.4: Utsläpp av föroreningarna Cu, Zn, P och PAH beräknat med SEWSYS och StormTac samt riktvärden framtaget av Riktvärdesgruppen för Stockholm stad (höger) och Miljöförvaltningen i Göteborgs stad (vänster) (Miljöförvaltningen, 2013; Jacobs et al., 2009).

Förorening	Utsläpp [µg/l]	Basflöde Storm Tac [µg/l]	Riktvärde [µg/l]	
Cu	4	8	10	18
Zn	17	33	30	75
P	15	87	50	160
PAH	4 451	5 000	2 500	4 000

4.2.2 Val av systemalternativ

För fallstudien på Studentvägen har ett referenssystem och 3 alternativ valts ut och designats efter områdets förutsättningar som presenteras i Avsnitt 4.2.1. Valen och en kort beskrivning av de tekniker som innefattas i respektive system beskrivs i Tabell 4.2.5. Hänsyn har tagits till att marktypen i området är postglacial och glacial lera. Lösningar med naturlig infiltration är på grund av detta inte möjliga och hantering under mark bör vara ytlig för att inte påverka de grundvattennivåer som marktypen orsakar. Dimensioneringens relevans testas mot Svenskt Vattens standarder för hur stor del av ett område som ska utgöras av respektive lösning (Svenskt Vatten AB, 2016). I underrubrikerna för systemen presenteras en figur av konstruktionen, beskrivning av material och hur dimensioneringen ser ut. Då det finns ett befintligt ledningssystem för dagvatten i området görs ingen dimensionering av nytt ledningsnät. Detta

då det komplementerande ledningsnätet kan antas vara liknande för samtliga alternativ.

Tabell 4.2.5: Beskrivning av de tekniska lösningar som innefattas i respektive systemalternativ och referenssystem. För systemalternativen redogörs vart lösningarna ska implementeras i området.

Systemalternativ	Beskrivning	Benämning
Referenssystem	Underjordiskt samlat fördröjningsmagasin av polyetenrör.	Magasin
Alternativ 1	Öppen lösning av gröna tak på ny bebyggelse och biofilter i anslutning till hårdgjorda ytor.	Växt
Alternativ 2	Öppen lösning med trädplantering i skelettjord i anslutning till parkeringsplatser.	Skelett
Alternativ 3	Öppen lösning av genomsläpplig beläggning på parkeringsplatser.	Permeabel

Fullständiga beräkningar samt en sammanställande tabell av materialåtgång, leverantör samt livslängd för respektive system presenteras i Bilaga C.

4.2.2.1 Referenssystem: Magasin

Som referenssystem har ett fördröjningsmagasin av polyetenrör dimensionerats för den totala magasineringensvolymen på 78 m^3 . Dimensionering av lösningen baseras på instruktioner från en leverantör av fullskaliga system av fördröjningsmagasin (Viacon, 2016a). Volymen som ska fördröjas fördelas på fyra fördröjningsrör med en diameter på 2 meter och längd på 6 meter. Ett fördelningsrör med diameter på 2,4 meter och en längd på 9 meter fördelar inkommande dagvatten från området i fördröjningsrören innan det ansluts till det befintliga duplikata systemet i området. Figur 4.2.4 illustrerar systemets dimensioner och utformning.



Figur 4.2.4: Bild av konstruktion för alternativ Magasin. Bilden visar två fördröjningsrör och ett fördelningsrör. (Viacon, 2017).

Rören har en konstruktion av polyeten, varmförzinkning samt stål och uppskattas enligt tillverkaren ha en livstid på upp till 100 år beroende på förutsättningar i marken (Viacon, 2016a). Val av plats för systemet på Studentvägen kan ske på flera sätt, antingen i den norra delen av området dit allt dagvatten från området leds eller ett uppdelat system i anslutning till de nya byggnader som tillkommer efter exploateringen. Fullständiga beräkningar av anläggningens storlek presenteras i Bilaga C.

4.2.2.2 Alternativ: Växt

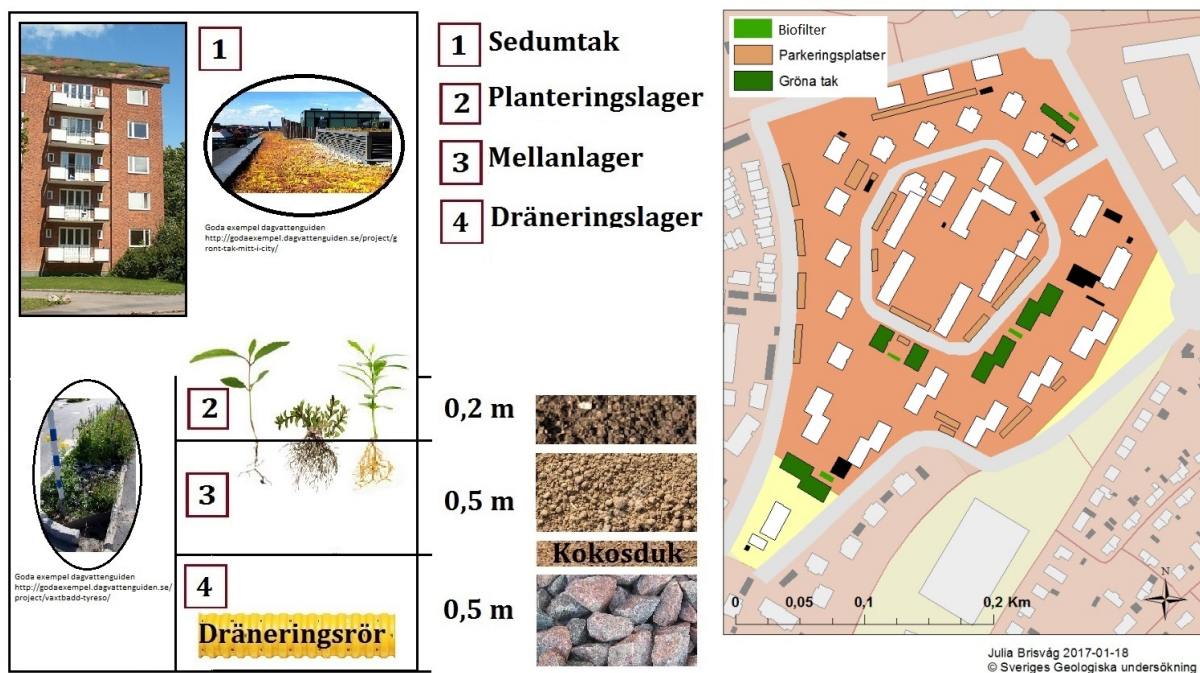
Alternativ Växt består av ett system av gröna tak och biofilter. De gröna taken byggs på de nya bostadshusen och utgör med detta en area på 3270 m^2 (Tabell 4.2.1). Taken kommer att bestå av två lager; sedumtak med växtlighet anpassad till svenskt klimat och en VT-filt. Sedumtaket av jord och växter fördröjer vattnet och VT-filten av textilfibrer skyddar underliggande struktur mot vatten samtidigt som den fördröjer till viss del (VegTech, 2016a). Om tak med djup (d) på $d = 30 \text{ mm}$ och porositet (n) på $n = 0,2$ anläggs kommer en fördröjningsvolym (U) på 6 mm hanteras av taken (Ekvation 4.8).

$$U = d \cdot n = 30 \cdot 0,2 = 6 \text{ mm} \quad \text{Ekvation 4.8}$$

Detta betyder att resterande 14 mm av de 20 mm som landar på taken och ska fördröjas måste hanteras av biofiltret, med tänkt area på 3270 m^2 ha av gröna tak ger detta en fördröjningsvolym på 57 m^3 (Ekvation 4.9) om 20 mm regnvolym antas på resterande marktyper i området.

$$U = RV \sum_{j=1} Area_j = 14 \text{ mm} \cdot (2,366 + 0,239 + 1,374) \text{ ha} = 57 \text{ m}^3 \quad \text{Ekvation 4.9}$$

En $1,2 \text{ meter}$ djup biofilter med en ytareal på 1 m^2 fördröjer en vattenvolym på $0,5 \text{ m}^3$. Detta om planteringslagret har en effektiv volym på 100% samt mellanlagret och dräneringslagret har en effektiv volym på 30% och de dimensioner som anges i Figur 4.2.5 gäller. För att fördröja 57 m^3 krävs därmed biofilter på en area av 114 m^2 anläggs i området.



Figur 4.2.5: Skiss av konstruktion för alternativ Växt (vänster) och karta över placering av system på Studentvägen (höger). För skissen anges för lagren i biofiltren och grönt tak djup i meter. För kartan illustreras gröna tak som mörk grön och biofilter ljus grön.

Enligt Svenskt Vatten P110 kräver en fördröjning av 20 mm med biofilter att motsvarande 6 % av den hårdgjorda ytan i området bebyggs med biofilter. 114 m² motsvarar ungefär 4,5 % den yta som hårdgörs vid exploateringen om avdrag görs för de gröna takens bidrag. Biofiltren består av tre lager, ett för växternas övre del med kanter som kan fördröja vatten till 100 %, ett sand-siltlager med 30 % effektiv volym och ett av makadam med en effektiv volym på 30 %. Mellan sand-siltlagret och makadamlagret anläggs en kokosduk (VegTech, 2016b) för att förhindra att material från det övre lagret faller ned i det undre. Kring biofiltren anläggs en geotextil för att stabilisera konstruktionen och förhindra erosion. Vattnet som leds ned i biofiltret dräneras från systemet genom dräneringsrör av polyeten (Viacon, 2016b) i makadamlagret. Dräneringsledningarna ansluts till ledningsnät för dagvatten som leder bort ansamlad vatten från området till det befintliga duplikata system som finns i Uppsala. De gröna taken kan enligt leverantör ha en livslängd på upp till 100 år (VegTech, 2016a) och livslängden för ett biofilter kan uppskattas till 20 år (VISS, 2017a). Fullständiga beräkningar för anläggningen presenteras i Bilaga C.

4.2.2.3 Alternativ: Skelett

Alternativ Skelett innefattar skelettjordar med trädplantering i biokol. Systemen byggs i anslutning till parkeringsplatser och dimensioneras så att hela fördröjningsvolymen kan hanteras i skelettjorden. Trädens bidrag till reducering och fördröjning av vatten tas inte hänsyn till i dimensioneringen. En skelettjord med djup på 1 meter och yta på 1 m^2 fördröjer en vattenvolym på $0,156 \text{ m}^3$ om konstruktion enligt Figur 4.2.6 används. Bärlagret och skelettlagret har en effektiv volym på 30 % respektive 12 %.

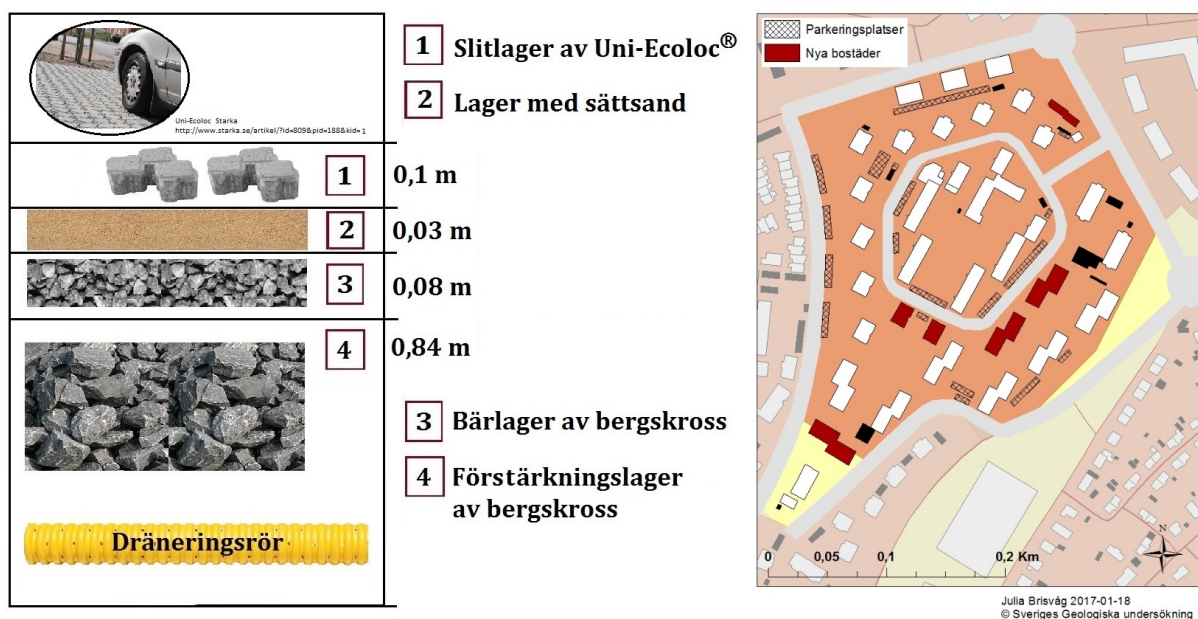


Figur 4.2.6: Skiss av konstruktion för alternativ Skelett (vänster) och karta över placering av system på Studentvägen (höger). För respektive lager i skelettjorden presenteras dimensioner i meter. För kartan illustreras skelettjordar som brunt och nya parkeringsplatser som orange.

Detta kräver för en fördröjningsvolym på 78 m^3 att 494 m^2 skelettjord anläggs. Enligt Svenskt Vatten P110 bör en fördröjning av 20 mm med skelettjordar motsvara 20 % av den hårdgjorda ytan. 494 m^2 motsvarar ungefär 14 % den yta som hårdgörs vid exploateringen. Skelettjorden består av tre lager; överbyggnad med biokol, bärlager av bergkross samt skelett av bergkross och biokol. Som för växtbädden i alternativ Växt anläggs geotextil och dräneringsrör (Viacon, 2016b) i anslutning till boten på skelettjorden. Träd planteras i skelettjorden och enligt en handbok framtagen av Stockholm stad kräver ett träd en volym på 15 m^3 (Embrén et al., 2009), vilket betyder att maximalt 33 träd kan planteras i dimensionerat system. Skelettjordar har en livslängd på omkring 20 år (VISS, 2017c). Detta innefattar inte de planterade träden som kan ha betydligt längre livslängd.

4.2.2.4 Alternativ: Permeabel

Alternativ Permeabel utgörs av permeabel beläggning med underliggande dränerande lager. Systemet anläggs på parkeringsplatser där det dränerande lagret inte utgör en risk för att vatten transporteras till närliggande byggnader. Den permeabla beläggningen består av betongsten med 10 % dränerande fogöppning (Starka, 2016). Om en konstruktion av dräneringslager enligt Figur 4.2.7 anläggs krävs en yta på 513 m^2 för att fördröja den totala fördröjningsvolymen på 78 m^3 , där har förstärkningslagret en effektiv volym på 30 %.



Figur 4.2.7: Skiss av konstruktion för alternativ Permeabel. (vänster) och karta över placering av system på Studentvägen (höger). För respektive lager i konstruktionen presenteras dimensioner i meter. För kartan illustreras nya parkeringsplatser som rutade.

De dränerande lagren består av tre lager, sättsand, bärlager och förstärkningslager, med varierande effektiv volym och storlek på bergskross. I förstärkningslagret anläggs ett dräneringsrör som ansluts till ledningsnät för dagvatten från hela området. Kring dräneringslagren anläggs geotextil för att skydda mot erosion och stabilisera konstruktionen. Permeabel beläggning har en livslängd på omkring 15 år (VISS, 2017d). Fullständiga beräkningar av anläggningens yta presenteras i Bilaga C.

4.2.3 Implementering av beslutsstöd

4.2.3.1 Utvärdering av kriterium för systemalternativ

Tabell 4.2.6 presenterar utvärdering och poängsättning av varje kriterium för respektive systemalternativ. Vid poängsättning har skalor som presenteras i Avsnitt 4.1 använts.

Tabell 4.2.6: Poängsättning av systemalternativ för valda kriterier i fallstudien på Studentvägen. Skalor som används presenteras i Avsnitt 4.1. Streck anger att kriterium är uteslutna från fallstudien.

Grupp	Parameter	Kriterium	Enhet	Poängsättning			
				Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Miljö	Recipient	Utsläpp till recipient	Cu (µg/l)	1	5	5	3
			Zn (µg/l)	4	5	5	3
			P (µg/l)	1	2	3	3
			PAH (µg/l)	1	5	5	3
	Vattenförekomst	Grundvattennivåer	1 ... n	-	-	-	-
		Påverkan råvattentäkt	1 ... n	-	-	-	-
	Luftmiljö	Påverkan mikroklimat	1 ... n	5	5	4	3
Klimat	Utsläpp CO ₂ ekvivalenter	kg CO ₂ -ekv	5	2	4	3	
Ekonomi	Livscykeekonomi	Investering	kr/år	1	1	1	3
		Driftkostnad	kr/år	5	4	5	3
	Samhällsekonomi	Markanvändning	%	3	3	3	3
	Organisation	Implementering	1 ... n	1	2	2	3
		Ansvarsfördelning	1 ... n	3	3	3	3
Teknik	Flexibilitet & Resiliens	Ombyggnationsmöjlighet	1 ... n	4	3	3	3
	Robusthet	Risk för haveri	1 ... n	3	4	4	3
Sociokultur	Rekreation	Rekreativsvärde	1 ... n	5	5	3	3
		Politiskt värde	1 ... n	5	4	4	3
		Framkomlighet	%	3	3	2	3
	Biologisk mångfald	Påverkan artantal	1 ... n	5	4	3	3
Hälsa	Risk för allmänheten	Hälsorisk	1 ... n	3	3	3	3
		Drunkningsrisk	1 ... n	3	3	3	3

En mer ingående motivering av poängsättning redogörs i underrubriker för varje kriterium nedan. För kriterium med annan enhet än 1 ... n presenteras även beräkningar och uppskattad procentuell skillnad mellan alternativ Magasin och övriga alternativ.

Utsläpp till recipient

Den aktuella föroreningsbelastningen på Studentvägen har uppskattats med SEWSYS (Tabell 4.2.4) och utgör utsläpp till recipienten Fyrisån innan exploatering (Ut_{innan}). För att beräkna hur utsläppen påverkas efter etablering av systemen (Ut_{efter}) används Ekvation 4.6 och 4.7. Genom att jämföra alternativ Växt, Skelett och Permeabel med alternativ Magasin erhålls reningseffekten (Ren_{effekt}) för systemen (Tabell 4.2.8). Reningsgrader för respektive system och fullständiga beräkningar presenteras i Bilaga D.

Tabell 4.2.8: Utsläpp av föroreningar Cu, Zn, P och PAH i $\mu\text{g/l}$ efter etablering av respektive systemalternativ på Studentvägen. Beräknad reningseffekt i procent för alternativ Växt, Skelett och Permeabel i jämförelse med alternativ Magasin. Positiv procentsats innebär tillskott medan negativ innebär rening.

Ut_{efter} [$\mu\text{g/l}$] / [%]	Ren_{effekt} [$\mu\text{g/l}$]	Magasin [$\mu\text{g/l}$]	Växt [$\mu\text{g/l}$] / [%]	Skelett [$\mu\text{g/l}$] / [%]	Permeabel [$\mu\text{g/l}$] / [%]		
Cu	1,7	3,2	+49	0,4	-300	1,0	-60
Zn	6,9	5,5	-25	1,7	-300	0,9	-700
P	5,4	16,8	+68	6,9	+22	5,4	0
PAH	1 800	5 500	+68	1 100	-60	1 100	-60

Alternativ Växt har en både en bättre och sämre reningseffekt än alternativ Magasin med avseende på de olika föroreningarna. Med avseende på Cu, P och PAH släpper Växt ut > 40 % mer än Magasin, vilket gör att Växt kan antas prestera mycket sämre än Magasin (Figur 4.2.8). Med avseende på Zn släpper Växt ut 10 < 40 % mindre än Magasin och kan därmed antas prestera bättre respektive (Figur 4.2.8). Skelett och Permeabel har en > 40 % mindre utsläpp med avseende på Cu, Zn och PAH än Magasin och bedöms därmed prestera mycket bättre än Magasin med avseende på dessa föroreningar (Figur 4.2.8). Med avseende på P bedöms Skelett och Permeabel prestera sämre respektive likvärdigt med Magasin (Figur 4.2.8). Detta då Skelett genererar ett 10 < 40 % större utsläpp och Permeabel ett helt likvärdigt. Värt att nämna är att varje systemalternativ endast behandlar en liten del av den totala mängd dagvatten som ansamlas på Studentvägen. Den totala effekten på hur systemens rening påverkar utsläpp av föroreningar till recipient kan därmed antas vara betydligt mindre.

Kriterium	Enhet	Poängsättning			
		Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Utsläpp till recipient	Cu ($\mu\text{g/l}$)	1	5	5	3
	Zn ($\mu\text{g/l}$)	4	5	5	3
	P ($\mu\text{g/l}$)	1	2	3	3
	PAH ($\mu\text{g/l}$)	1	5	5	3

Figur 4.2.8: Poängsättning av kriterium "utsläpp till recipient" för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen.

Grundvattennivåer

Då fallstudieområdet har en marktyp bestående av glacial och postglacial lera (Figur 4.2.3) är infiltration inte möjlig i området. Därför utesluts detta kriterium i fallstudien av Studentvägen.

Påverkan råvattentäkt

De befintliga råvattentäkterna i Uppsala Kommun är Fyrisån samt Uppsala och Vattholmaåsen, där samtliga kan antas vara opåverkade av dagvattenhantering på Studentvägen. Detta då Fyrisån är belägen över 1 km (Figur 4.2.2) från Studentvägen och att råvattenupptaget från Fyrisån antas ske mer uppströms än utlopp för dagvatten från Studentvägen. Infiltration till åsarna från Studentvägen begränsas av marktypen i området och ett avstånd på över 1 km till inre vattenskyddsområde (Figur 4.2.2). Därför utesluts detta kriterium i fallstudien av Studentvägen.

Påverkan mikroklimat

Alternativ Magasin bedöms inte påverka mikroklimatet då den är belagd under mark och därför kan övriga systemalternativ belagda ovan mark antas prestera bättre än det konventionella fördröjningsmagasinet. Alternativ Växt och Skelett innefattar båda system av växtlighet, vilket kommer bidra till transpiration i hög grad. Alternativ Permeabel innebär en beläggning av betong, vilket kan antas bidra till en mer effektiv reflektion av inkommande solljus än asfalt som annars beläggs på vägar och parkeringsplatser. Växtlighetens bidrag antas prestera högre än beläggning av ljusare material vilket resulterar högre poäng för Växt och Skelett och lägre för Permeabel (Figur 4.2.9).

Kriterium	Enhet	Poängsättning			
		Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Påverkan mikroklimat	1 ... n	5	5	4	3

Figur 4.2.9: Poängsättning av kriterium "påverkan mikroklimat" för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen.

Utsläpp CO₂-ekvivalenter

Beräkningar av CO₂-ekvivalenter har utförts av Nadia Al-Ayish på RISE CBI Betonginstitutet. Materialåtgång och livslängd för samtliga alternativ presenteras i Bilaga C och utsläpp från material, transport, anläggningsarbete samt materialutbyte i Bilaga E. Resultatet av beräkningar av CO₂-ekvivalenter presenteras i Tabell 4.2.9, där det även anges den procentuella skillnaden mellan alternativ Magasin och alternativ Växt, Skelett och Permeabel.

Tabell 4.2.9: Totalt utsläpp av CO₂-ekvivalenter för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen. Den procentuella skillnaden mellan alternativ Magasin och övriga alternativ anges också.

Alternativ	Totalt [kg CO ₂ -ekv]	Utvärdering [%]
Magasin	101 000	0
Växt	57 000	-42
Skelett	122 000	+21
Permeabel	97 000	-4

Växt och Permeabel resulterar i mindre CO₂-ekvivalenter än Magasin medan Skelett resulterar i högre. Då Växt presenteras < 40 % bättre bedöms de som mycket bättre än Magasin, medan Permeabel på 10 % < 40 % bedöms prestera bättre (Figur 4.2.10). Skelett presterar 10 % < 40 % sämre (Figur 4.2.10).

Kriterium	Enhet	Poängsättning			
		Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Utsläpp CO ₂ -ekvivalenter	kg CO ₂ -ekv	5	2	4	3

Figur 4.2.10: Poängsättning av kriterium "Utsläpp CO₂-ekvivalenter" för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen.

Investering

Investeringskostnad (K_{invest}) för respektive system presenteras i Tabell 4.2.10, där presenteras även en storlek på systemen, kostnad för anläggning ($K_{anlägg}$), kostnad för system samt utvärdering av hur stor kostnad alternativ Växt, Skelett och Permeabel är i förhållande till kostnad för alternativ Magasin. K_{invest} har beräknats enligt Ekvation 4.1 och fullständiga beräkningar presenteras i Bilaga F. Alternativ Magasin är det billigaste alternativet, vilket gör att övriga alternativ presterar sämre. Alternativ Växt, Skelett och Permeabel har en kostnad > 40 % och bedöms därmed prestera mycket sämre än Magasin (Figur 4.2.11).

Tabell 4.2.10: Investeringskostnader för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen. För varje lösning presenteras kostnad för system (Andersson & Åkerman, 2016), storlek på system, kostnad för anläggning, investeringskostnad samt utvärdering mellan system Magasin och övriga system.

Systemalternativ	Kostnad för system	Storlek på system	$K_{anlägg}$ [kr]	K_{invest} [kr/år]	Utvärdering [%]
Magasin	8500 [kr/m ³]	116 [m ³]	986 000	40 000	0
Permeabel	3000 [kr/m ³]	364 [m ³]	1 093 000	98 000	+144
Skelett	8000 [kr/m ³]	494 [m ³]	3 952 000	291 000	+622
Växt			1 623 000	82 000	+104
Gröna tak Biofilter	350 [kr/m ²]	3270 [m ²]	1 145 000	47 000	
	3500 [kr/m ³]	137 [m ³]	479 000	35 000	

Kriterium	Enhet	Poängsättning			
		Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Investering	kr/år	1	1	1	3

Figur 4.2.11: Poängsättning av kriterium "investering" för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen.

Driftkostnad

Baserat på schablonvärden för dagvattenåtgärder enligt VISS (VISS, 2017a; VISS, 2017b; VISS 2017c, VISS, 2017d) presenteras i Tabell 4.2.11 kostnad för drift för respektive systemalternativ. Enligt Andersson & Åkerman (2016) medför Gröna tak endast en marginell driftkostnad efter etablering samt att skelettjordar med trädplantering har samma driftkostnad som en dagvattenbrunn. Därför har driftkostnader för de gröna taken inte tagits hänsyn till i beräkningarna. Driftkostnader för Skelett har hämtats för dagvattenåtgärd dagvattenbrunn enligt VISS (VISS, 2017b). Där presenteras även hur stor kostnad Växt, Skelett och Permeabel har i förhållande till kostnad för Magasin. Växt och Permeabel har båda en driftkostnad på $> 40\%$ lägre än Magasin, vilket gör att de bedöms prestera mycket bättre än Magasin (Figur 4.2.12). Skelett har en driftkostnad på $10 < 40\%$ lägre än Magasin och antas därför prestera bättre än Magasin (Figur 4.2.12). Samtlig data över beräkningar av driftkostnad presenteras i Bilaga F.

Tabell 4.2.11: Driftkostnader i kr per år för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen samt skillnad i driftkostnad mellan alternativ Växt, Skelett och Permeabel och alternativ Magasin i procent.

Systemalternativ	Kostnad för drift	K_{drift} [kr/år]	Utvärdering [%]
Magasin	250 [kr/m ³]	29 000	
Permeabel	35 [kr/m ³]	13 000	-56
Skelett	45 [kr/m ³]	22 000	-23
Växt		3 000	-90
Gröna tak	- [kr/m ²]	-	
Biofilter	25 [kr/m ²]	3 000	

Kriterium	Enhet	Poängsättning			
		Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Driftkostnad	kr/år	5	4	5	3

Figur 4.2.12: Poängsättning av kriterium "driftkostnad" för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen.

Markanvändning

Alternativ Magasin som bebyggs under mark kommer inte kräva någon markyta på Studentvägen när systemet väl är byggt. Alternativ Permeabel ska anläggas på parkering och kräver en yta på 513 m^2 . Då det inte framgår i dagvattenutredning (Stålheim & Filipsson, 2016) eller planbeskrivning (Erixson, 2016) hur stor yta som kommer att byggas om vid exploateringen är det svårt att avgöra om alternativet kommer kräva större yta än de omkring 30 nya parkeringsplatserna som planeras. Det totala ytan för både väg och parkeringar på Studentvägen efter exploatering uppskattas till 2380 m^2 , vilket är betydligt större än vad alternativ Permeabel kommer kräva. Dock är det oklart hur stor andel av väg och parkeringsytan som utgörs av bara parkeringar, vilket kan betyda att redan befintliga parkeringsplatser behöver byggas om för att Permeabel ska kunna fördröja den önskade vattenvolymen. Men att anlägga Permeabel kommer inte att konkurrera med andra intressen även om det krävs ombyggnationer av redan befintliga markytor, därför bedöms den vara likvärdigt med Magasin (Figur 4.2.13). Alternativ Skelett bebyggs på grönområden i anslutning till parkeringsplatser och kräver en yta på 494 m^2 . Denna yta är ungefär 2 % av kvarvarande grönyta på Studentvägen efter exploatering (Tabell 4.2.1). Därför anses alternativ 2 ha likvärdig markanvändning som Magasin (Figur 4.2.13). Alternativ Växt med sina gröna tak och biofilter anläggs delvis på de nya byggnadernas tak och delvis på grönytor. Att anlägga gröna tak skapar ingen konkurrens om markyta och biofilter konkurrerar på samma sätt som Skelett. Det kommer att krävas att 114 m^2 biofilter anläggs på Studentvägen, vilket under 1 % av den kvarvarande grönytan efter exploatering (Tabell 4.2.1), därför bedöms alternativ 1 som likvärdigt med Magasin (Figur 4.2.13).

Kriterium	Enhet	Poängsättning			
		Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Markanvändning	%	3	3	3	3

Figur 4.2.13: Poängsättning av kriterium "markanvändning" för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen.

Implementering

Alternativ Magasin är ett konventionellt fördröjningsmagasin och de entreprenörer som kan anlägga systemet kan därmed antas ha erfarenhet av liknande arbeten. Övriga alternativ är modernare och samma erfarenhet kan inte förväntas om inte en entreprenör med expertkunskap av just gröna tak, biofilter, skelettjordar eller permeabel beläggning väljs. Alternativ Växt kommer innebära att två olika anläggningar byggas, vilket kräver en bredare kunskap av de som ansvarar för implementeringen. På grund av detta

bedöms alternativ Växt prestera mycket sämre än Magasin och alternativ Skelett och Permeabel sämre (Figur 4.2.14).

Kriterium	Enhet	Poängsättning			
		Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Implementering	1 ... n	1	2	2	3

Figur 4.2.14: Poängsättning av kriterium "implementering" för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen.

Ansvarsfördelning

Då Studentvägen är privat mark kommer fastighetsägaren ansvara för underhåll av alla typer av system på Studentvägen. Detta medför att samtliga systemalternativ får samma poängsättning med avseende på ansvarsfördelning (Figur 4.2.15). Om fallstudieområdet i stället hade varit på allmän platsmark och inom kommunens ansvarsområde hade ansvarsfördelningen förmodligen varit mer komplicerad se utförligare resonemang om detta i Avsnitt 4.1.1.1.

Kriterium	Enhet	Poängsättning			
		Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Ansvarsfördelning	1 ... n	3	3	3	3

Figur 4.2.15: Poängsättning av kriterium "ansvarsfördelning" för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen.

Ombyggnationsmöjligheter

Alternativ Magasin är beläget under mark och kommer på grund av detta kräva ombyggnation både ovan och under mark vid förändrade förutsättningar i området. Då övriga alternativ är delvis öppna dagvattensystem är de enklare att bygga om eller komplettera med ny teknik än det slutna Magasin (Figur 4.2.16). Då alternativ Permeabel bebyggs på parkeringar styrs dess möjlighet till utbyggnad av tillgång på dessa ytor. Vid en ytterligare förtätning av området kan mer av dessa ytor anläggas, vilket möjliggör för att Permeabel kan byggas ut. Motsvarande gäller för Skelett som byggs i anslutning till parkeringsplatser och därmed styrs av hur stor yta av området som täcks av parkeringar. Även om ytor för ombyggnation är tillgängligt krävs ny dimensionering och byggnadsarbete och därför bedöms Skelett och Permeabel likvärdigt med Magasin (Figur 4.2.16). Alternativ Växt styrs av hur stor yta tak och grönområde som finns. Vid fortsatt urbanisering och förtätning kan andel grönyta minskas men nya tak öka, vilket därför

kan påverka Växts möjlighet till ombyggnation både positivt och negativt. Då implementering av nya gröna tak kan antas vara enklare än övriga lösningar bedöms Växt vara mer lämpat för ombyggnation än Magasin (Figur 4.2.16).

Kriterium	Enhet	Poängsättning			
		Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Ombyggnationsmöjligheter	1 ... n	4	3	3	3

Figur 4.2.16: Poängsättning av kriterium "ombyggnationsmöjligheter" för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen.

Risk för haveri

Alternativ Magasin är dimensionerat för att hantera en vattenvolym på 77 m^3 , där fördelningsröret klarar en volym på 41 m^3 och fördröjningsrören en volym på 77 m^3 . Om ett intensivt regn skulle orsaka en vattenvolym större än 41 m^3 under en kort tid kan systemet haverera och översvämmas. Det finns därmed en risk att Magasin havererar vid kraftiga regn. Alternativ Växt och Skelett innefattar biofilter respektive skelettjordar, vilka båda kan byggas med höga kanter för att ha en extra marginal mot intensiv nederbörd. En kant på 1 dm skulle skapa fördröjningsmöjligheter för 11 m^3 respektive 50 m^3 vatten för Växt respektive Skelett. Detta gör att Skelett bedöms ha mindre risk att haverera än Magasin (Figur 4.2.17). Alternativ Växt som med kant fördröjer en betydligt mindre volym har dessutom gröna tak som inte kan designas med marginal på samma sätt. Om ett grönt tak blir vattenmättat kommer det svämma över och inte ha möjlighet till ytterligare fördröjning. Därför anses Växt ha samma risk för haveri som Magasin (Figur 4.2.17). Alternativ Permeabel kommer att anläggas på en yta av 513 m^3 och kan därför skapa en god marginal för höga flöden. Parkeringar byggs ofta med trottoarkant och en sådan kant på 1 dm skulle skapa möjligheter för uppsamling av 50 m^3 vatten på Studentvägen. På grund av detta bedöms Permeabel ha lägre risk för haveri än Magasin (Figur 4.2.17).

Kriterium	Enhet	Poängsättning			
		Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Risk för haveri	1 ... n	3	4	4	3

Figur 4.2.17: Poängsättning av kriterium "risk för haveri" för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen.

Rekreativsvärde

Alternativ Magasin är belagd under mark kommer ha ett lågt rekreativsvärde, detta då lösningen inte syns för allmänheten. Alternativ Växt och Skelett innefattar båda växtlighet vilket har ett tydligt estetiskt värde samt ett visst naturpedagogiskt värde och därmed ett högt rekreativsvärde. De gröna taken i Växt kommer dessutom att skapa mer gröna miljöer på Studentvägen, vilket inte gäller för biofiltrena och skelettjordarna som anläggs på befintlig grönyta. Växt och Skelett anses på grund av detta ha betydligt högre rekreativsvärde än Magasin (Figur 4.2.18). Alternativ Permeabel innebär för allmänheten att permeabel beläggning anläggs på parkeringsplatser, något som kan anses vara mer estetiskt tilltalande än vanlig asfalt. Trots detta värderas Permeabel jämbördigt med Magasin då lösningen inte direkt har något rekreativsvärde (Figur 4.2.18).

Kriterium	Enhet	Poängsättning			
		Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Rekreativsvärde	1 ... n	5	5	3	3

Figur 4.2.18: Poängsättning av kriterium "rekreativsvärde" för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen.

Politiskt värde

I Uppsala kommuns plan för dagvattenhantering står det omnämnt att kommunen vill satsa på system som bevarar den naturliga vattenbalansen, skapar en robust dagvattenhantering, tar recipienthänsyn och berikar stadslandskapet (Endrén et al., 2014). För att uppnå detta listar kommunen öppna dagvattensystem och system som möjliggöra för rening av förorenat dagvatten som bra exempel (Endrén et al., 2014). Alternativ Magasin är ett konventionellt slutet system med relativt låg reningseffekt (Tabell 4.2.7), vilket gör att dess politiska värde i Uppsala kommun är ganska litet. Övriga systemalternativ finns benämnda som prioriterade i Uppsala Kommuns plan för dagvattenhantering, där öppna lösningar benämns som mer attraktivt än slutna system av magasin eller direkt avledning till kommunens duplikata nät (Endrén et al., 2014). Alternativ Växt, Skelett och Permeabel listas som förslag på lämplig lösning för Studentvägen i den dagvattenutredning som Structor utförde 2016 (Stålheim & Filipsson, 2016). Alternativ Växt innefattar gröna lösningar som löser dagvattenhanteringen på ett sätt som ser mer hållbart ut än Skelett och Permeabel. Att anlägga gröna tak på nya byggnader är både medialt attraktivt för politiker och skapar en visuell bild av en kommun som satsar på nytänkande dagvattenhantering. Att anlägga permeabel beläggning eller trädplantering nära parkeringar kan inte ses som lika nytänkande då till exempel gatsten

funnits historiskt i många Svenska städer. På grund av detta bedöms samtliga alternativ ha högre politiskt värde än Magasin. Växt bedöms även som ytterligare något bättre än Skelett och Permeabel (Figur 4.2.19).

Kriterium	Enhet	Poängsättning			
		Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Politiskt värde	1 ... n	5	4	4	3

Figur 4.2.19: Poängsättning av kriterium "politiskt värde" för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen.

Framkomlighet

Alternativ Magasin är belagt under mark och kommer därför inte påverka framkomlighet i något avseende. Alternativ Permeabel kommer innebära att ojämn markstruktur anläggs på parkeringsplatser, vilket har en tydlig påverkan på framkomlighet för till exempel rörelseförhindrade. Då Permeabel dessutom beläggs på parkeringsplatser där människor faktiskt befinner sig bedöms Permeabel prestera sämre än referenssystemet (Figur 4.2.20). Alternativ Växt och Skelett innebär att grönområden byggs om till biofilter och skelettjordar. Lösningarna kan byggas så de inte förhindrar framkomlighet för fordon, men kan påverka framkomligheten för gående. Dock finns stora grönområden att bygga på och därmed kan systemen anläggas på ytor där människor oftast inte befinner sig. Därför likställs Växt och Skelett med Magasin (Figur 4.2.20).

Kriterium	Enhet	Poängsättning			
		Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Framkomlighet	1 ... n	3	3	2	3

Figur 4.2.20: Poängsättning av kriterium "framkomlighet" för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen.

Påverkan artantal

Alternativ Magasin kommer inte påverka artantalet då den är belagd under mark. Alternativ Växt med gröna tak innefattar sedumtak av olika sorters växter, vilket ger en klar ökning i biologisk mångfald på Studentvägen. Utöver detta innefattar Växt biofilter där ytterligare plantering av växter sker. Alternativ Skelett kommer att innebära att nya träd planteras, vilket utöver de nya träden kan innebära boplatser för

andra arter. Då det maximalt kommer planteras 33 nya träd i området på en yta av 494 m^2 bedöms Skelett ha en mindre positiv påverkan på artantalet än Växt där 3270 m^2 gröna tak och 114 m^2 växtbäddar anläggs (Figur 4.2.21). Alternativ Permeabel kommer inte innefatta några gröna miljöer, vilket gör dess påverkan på artantal likvärdig med Magasin (Figur 4.2.21).

Kriterium	Enhet	Poängsättning			
		Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Påverkan artantal	1 ... n	5	4	3	3

Figur 4.2.21: Poängsättning av kriterium "påverkan artantal" för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen.

Hälsorisk

Samtliga alternativ kan bedömas ha likvärdig hälsorisk. (Figur 4.2.22). Då alternativ Växt och Skelett innefattar planering av växtlighet kan det finnas en risk att barn äter jord eller giftiga växter från biofiltren eller skelettjordarna. Då valet av växtlighet görs efter träd och växter anpassat för svenskt klimat innebär detta sällan speciellt giftiga arter. Att jord äts av allmänheten är svårt att undvika, speciellt under de tider på året när det inte är växtsäsong eller fallen snö. Då det redan finns ytor med jord i området kommer de nya anläggningarna endast bidra till en liten ökad risk. De gröna taken är svåra att komma i kontakt med och utgör därför ingen hälsorisk för allmänheten. Alternativ Skelett bedöms inte bidra till ökad hälsorisk för allmänheten (Figur 4.2.22).

Kriterium	Enhet	Poängsättning			
		Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Hälsorisk	1 ... n	3	3	3	3

Figur 4.2.22: Poängsättning av kriterium "hälsorisk" för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen.

Drunkningsrisk

För alternativ Magasin finns en låg drunkningsrisk för allmänheten då anläggningen är placerad under mark. Dock finns en risk för drunkning vid underhåll vilket inte är någonting som påverkar allmänheten. Övriga alternativ kommer vid flöden de är dimensionerade för inte ansamlas stora mängder vatten och därmed inte utgöra någon hög drunkningsrisk för allmänheten och anses därför likvärdiga med Magasin (Figur 4.2.23).

Kriterium	Enhet	Poängsättning			
		Växt	Skelett	Permeabel	Magasin
Drunkningsrisk	1 ... n	3	3	3	3

Figur 4.2.23: Poängsättning av kriterium "drunkningsrisk" för respektive systemalternativ i fallstudien på Studentvägen.

4.2.3.2 Viktning av kriterium

Viktning av kriterier utfördes under en workshop med representanter från flera förvaltningar, alla involverade i planering av dagvatten, på Uppsala kommun den 22:a mars 2017. Närvarande var även Helene Sörelius från RISE. Deltagande på workshopen listas nedan efter deras yrkesroll mot dagvattenhantering samt avdelning på kommunen:

Jessica Berg, Planering av dagvattenhantering på Uppsala Vatten och Avfall AB

Marie Nilsson, Tillsyn av dagvattenhantering på Miljöförvaltningen

Emilia Hammer, Granskning av detaljplaner på Miljöförvaltningen

Teresia Erixson, Planarkitekt på Stadsbyggnadsförvaltningen

Viktningen utfördes under en öppen diskussion, där samtliga representanter fick möjlighet att procentuellt fördela varje grupp efter deras bedömning av hur mycket dessa skulle få påverka resultatet av jämförelsen. Sedan fick varje representant procentuellt fördela varje kriterium i respektive grupp där bedömningen gjordes specifikt för förhållandena på Studentvägen och inte generellt för dagvattenhantering. Den gemensamma viktningen för respektive grupp och kriterium presenteras i Tabell 4.2.12.

Tabell 4.2.12: Resultat av viktning för respektive grupp (siffror i kolumn näst längst till höger) och kriterium (siffror i kolumn längst till höger).

Grupp	Kriterium	Enhet	Viktning	
Miljö	Utsläpp till recipient	Cu (µg/l)	33	1
		Zn (µg/l)		8,5
		P (µg/l)		8
		PAH (µg/l)		1
	Grundvattennivåer	1 ... n		1
	Påverkan råvattentäkt	1 ... n		1
	Påverkan mikroklimat	1 ... n		7,5
	Utsläpp CO ₂ ekvivalenter	kg CO ₂ -ekv		5
Ekonomi	Investering	kr/år	32	8
	Driftkostnad	kr/år		8
	Markanvändning	%		2
	Implementering	1 ... n		7
	Ansvarsfördelning	1 ... n		7
Teknik	Ombyggnationsmöjlighet	1 ... n	5	2,5
	Risk för haveri	1 ... n		2,5
Sociokultur	Rekreativvärde	1 ... n	25	7
	Politiskt värde	1 ... n		6
	Framkomlighet	%		5
	Påverkan artantal	1 ... n		7
Hälsa	Hälsorisk	1 ... n	5	2,5
	Drunkningsrisk	1 ... n		2,5
			Σ100	Σ100

4.2.3.3 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen ska visa på hur viktning och utvärdering påverkar betygsättning för systemalternativen Växt, Skelett och Permeabel. Analysens två alternativa utfall för betygsättning förklaras nedan:

- Annan viktning baserad på de kriterier som var svåra att sätta en gemensam viktning under workshopen med Uppsala kommun den 22a mars.
- Annan poängsättning baserad på kommentarer från en referensgrupp bestående av experter inom dagvattenhantering (Helene Sörelius (RISE) och Annika Malm (RISE) samt Ann-Mari Fransson (SLU) och Erik Simonsen (Cementa)) samt utifrån kommentarer erhållna under workshopen med Uppsala kommun.

Den alternativa viktningen baserades på vilka kriterium som var svåra att vikta under workshopen. Detta innefattar kriterium som fick stort utrymme när viktningen diskuterades samt ansågs ha ett lågt eller högt värde i jämförelse med andra. Att skapa en mer extrem viktning av dessa kriterier visar hur de påverkar den samlade betygsättningen och därmed hur känsligt viktningen är för det slutliga resultatet. De kriterier som ansågs ha ett högt värde under workshopen var “Utsläpp till recipient med avseende på Zn och P”, “Påverkan mikroklimat”, “Investering”, “Driftkostnad”, “Ansvarsfördelning” samt “Rekreativvärde”. De kriterier som ansågs ha lågt värde var samtliga kriterium inom grupp Teknik och Hälsa samt kriterium “Grundvattennivåer”, “Påverkan råvattentäkt”, “Markanvändning” och “Framkomlighet”. I den alternativa viktningen har nämnda kriterium fått högre eller lägre vikt i jämförelse med den ursprungliga viktningen (Tabell 4.2.13).

Tabell 4.2.13: Resultat för alternativ viktning av respektive respektive grupp (siffror i kolumn näst längst till höger) och kriterium (siffror i kolumn längst till höger).

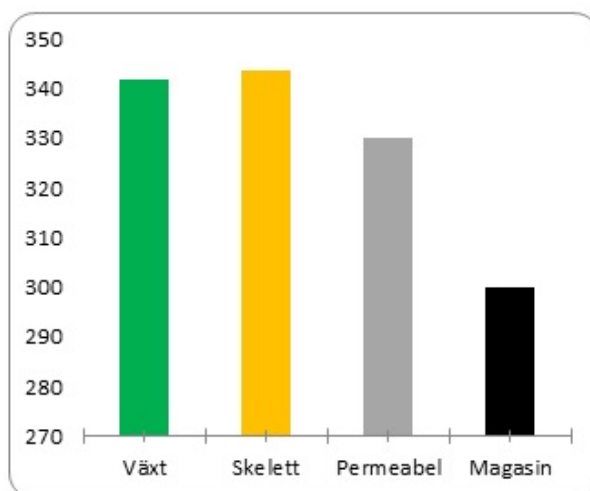
Grupp	Kriterium	Enhet	Viktning	
Miljö	Utsläpp till recipient	Cu (µg/l)	32	1
		Zn (µg/l)		9
		P (µg/l)		7
		PAH (µg/l)		1
	Grundvattennivåer	1 ... n	1	1
	Påverkan råvattentäkt	1 ... n	1	1
	Påverkan mikroklimat	1 ... n	7	7
	Utsläpp CO ₂ ekvivalenter	kg CO ₂ -ekv	5	5
Ekonomi	Investering	kr/år	37	11
	Driftkostnad	kr/år		11
	Markanvändning	%		1
	Implementering	1 ... n		7
	Ansvarsfördelning	1 ... n		7
Teknik	Ombyggnationsmöjlighet	1 ... n	5	2
	Risk för haveri	1 ... n		3
Sociokultur	Rekreativsvärde	1 ... n	22	8
	Politiskt värde	1 ... n		6
	Framkomlighet	%		1
	Påverkan artantal	1 ... n		7
Hälsa	Hälsorisk	1 ... n	4	2
	Drunkningsrisk	1 ... n		2
			Σ100	Σ100

Den alternativa poängsättningen tar hänsyn till kriterium "Utsläpp koldioxid", "Påverkan artantal", "Påverkan mikroklimat" samt "Ombyggnationsmöjligheter". Vid beräkningen av utsläpp av CO₂-ekvivalenter för respektive systemalternativ bör hänsyn till det eventuella upptag av koldioxid som etablering av sy-

stemen kan bidra med ¹. Då alternativ Skelett innebär att träd planteras på Studentvägen kan systemet antas bidra med ett positivt upptag av CO₂ och därför bedöms Skelett prestera likvärdigt med Magasin och inte sämre. I den ursprungliga poängsättningen bedöms alternativ Skelett påverka artantalet på Studentvägen bättre än Magasin samtidigt som alternativ Växt bedöms prestera mycket bättre. Då Skelett innebär att flertalet nya träd planteras i området borde det ha en klart positiv påverkan på artantal. Därför bedöms Skelett prestera mycket bättre än Magasin i den alternativa poängsättningen. Effekten av öppen jord har visats ha en stor effekt på lokalklimatet ², vilket betyder att alternativ Växt och Skelett inte borde bedömas prestera likvärdigt med avseende på påverkan av mikroklimat. Därför bedöms alternativ Växt som innefattar öppen jord prestera mycket bättre än Magasin i den alternativa bedömningen. Att alternativ Växt presterar bättre än Skelett och Permeabel med avseende på ombyggnationsmöjligheter kan ifrågasättas då likvärdig dimensionering och byggnadsarbete bör krävas vid ombyggnation av samtliga system ³. Därför bedöms samtliga alternativ prestera likvärdigt med Magasin med avseende på ombyggnationsmöjligheter i den alternativa poängsättningen.

4.2.3.4 Betygsättning

En samlad betygsättning (Ekvation 2.1) för systemalternativ Växt, Skelett, Permeabel och Magasin enligt ursprunglig poängsättning och viktning i Avsnitt 4.2.3.1 respektive 4.2.3.2 presenteras i Figur 4.2.24.



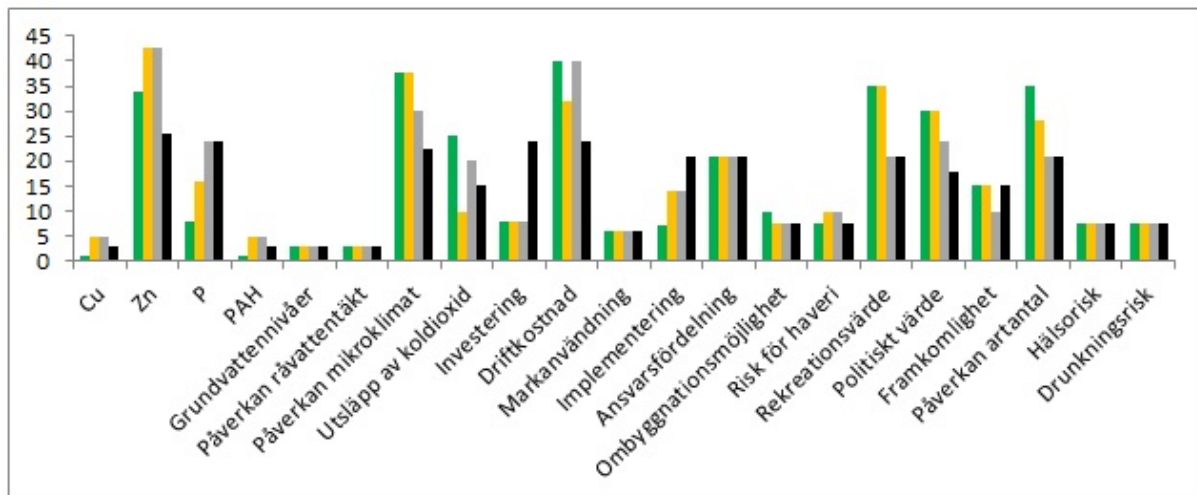
Figur 4.2.24: Samlad betygsättning för systemalternativ Växt (grön), Skelett (gul), Permeabel (grå) och Magasin (svart).

¹Uppsala Kommun, Workshop 2017-03-22

²Marie Fransson SLU, mailkonversation den 2017-03-20

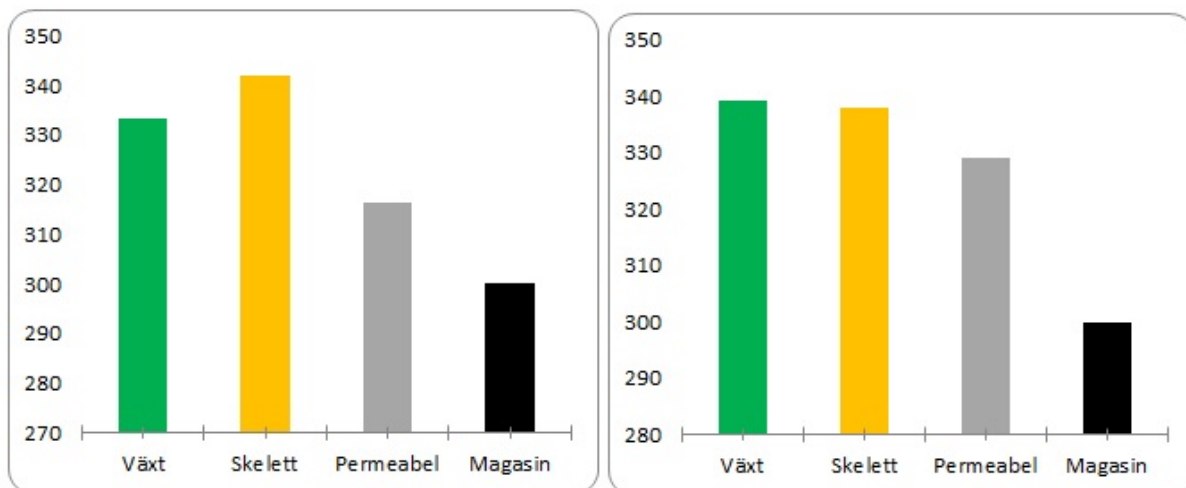
³Erik Simonsen Starka, mailkonversation den 2017-03-11

I Figur 4.2.24 ses tydligt att alternativ Växt, Skelett och Permeabel får ett högre samlat betyg än Magasin. Högst betyg på 345 får alternativ Växt. Betygsättning för samtliga kriterier och systemalternativ presenteras i Figur 4.2.25.



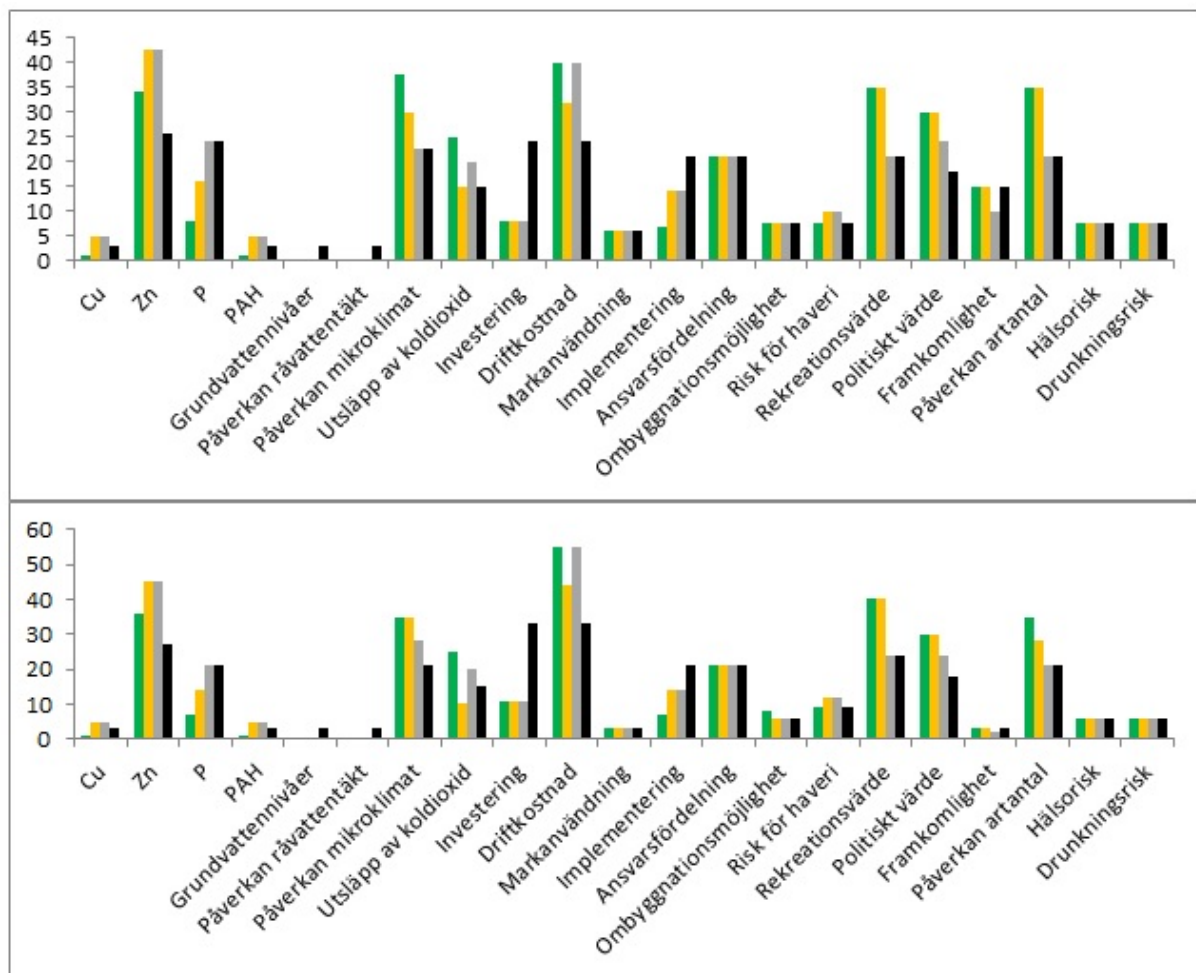
Figur 4.2.25: Betygsättning av varje utvärderingskriterium för systemalternativ Växt (grön), Skelett (gul), Permeabel (grå) och Magasin (svart).

Samlad betygsättning enligt de alternativa utfallen, annan poängsättning och viktning, presenteras i Figur 4.2.26.



Figur 4.2.26: Alternativa samlade betygsättningar vid annan poängsättning (vänster) och annan viktning (höger) för systemalternativ Växt (grön), Skelett (gul), Permeabel (grå) och Magasin (svart).

Betygsättning enligt de alternativa utfallen, annan poängsättning och viktning, presenteras i Figur 4.2.27.



Figur 4.2.27: Alternativa betygsättningar för utvärderingskriterium vid annan poängsättning (över) och annan viktning (under) för systemalternativ Växt (grön), Skelett (gul), Permeabel (grå) och Magasin (svart).

5 Diskussion

5.1 Utformning av beslutsstödet

Tanken med beslutsstödet var att ta fram ett verktyg som ska underlätta för planering och val av en långsiktig hållbar dagvattenhantering. Därför har valet av metoder som behandlas i beslutsstödet gjorts efter vilka metoder som är etablerade och följer de krav som finns på dagvattenhantering idag. Detta betyder att beslutsstödet skulle kunna innefatta metoder som är mer i linje med forskning inom området och erbjuder mer korrekta uppskattningar för till exempel fördröjningskrav. Men då beslutsstödet främst ska användas för att förbättra kommunikation under en upphandling är det viktigare att stödet är användarvänligt än att det ger de mest korrekta uppskattningarna. Rimlighet i den tid som krävs för att använda stödet är också relevant och mer avancerade metoder kan antas kräva en större arbetsinsats.

Beslutsstödet är designat för användning i ett tidigt skede av planering för dagvattenhantering. Optimalt ska en översiktlig dagvattenutredning ha utförts och planeringen kommit igång. Att en dagvattenutredning finns tillgänglig kan ge mycket av den indata som krävs för att använda beslutsstödet och ofta finns exempel på systemalternativ för hantering av dagvatten i det specifika området, vilket underlättar för den som ansvarar för användandet av beslutsstödet. Ju tidigare det finns en gemensam vision mellan inblandade parter för hur hanteringen ska lösas desto bättre förutsättningar finns för att upphandlingen resulterar i en långsiktig hållbar hantering. Under workshopen med Uppsala kommun diskuterades frågan om vart beslutsstödet bäst implementeras. Enligt deltagarna skulle stödet vara mer relevant att använda innan en dagvattenutredning utförs. Detta för att beslutsstödet kan ge svar på vilka typer av dagvattenlösningar som är intressanta att titta mer på i det specifika området och således kan ges som utgångspunkt i den dagvattenutredning som ofta utförs av en utomstående konsult. Därmed har inblandade parter i upphandlingen gemensamt pekat ut vilken typ av hantering som är eftersträvansvärt i det specifika fallet innan några direkta begränsningar för upphandlingen tillkommit. Dock kan detta försvåra för användarvänligheten av beslutsstödet då den data som ofta tas fram i en dagvattenutredning inte finns tillgänglig när beslutsstödet används.

Valet av kriterium har baserats på rådande problematik relaterad med dagvatten i urbana miljöer samt dagvatten som resurs för samhället. Då hantering av dagvatten påverkar flera aspekter inom såväl samhällsplanering som miljöarbete kräver det en bred representation av kriterium samtidigt som arbetsbördan att utvärdera kriterierna måste vara rimlig. Under workshopen med Uppsala Kommun ombads deltagarna ge

synpunkter på valet av kriterium. Deltagarna tyckte att identifieringen av kriterium var omfattande och väl motiverad. Med dessa kriterier har beslutsstödet potential att vara ett bra underlag för en diskussion mellan berörda parter och åskådliggöra synen på hur dagvatten ska hanteras. Deltagarna diskuterade hur kriterierna kan vara användbart i andra sammanhang än vid planering av dagvattenhantering i ett specifikt område. För större områden, som hela stadsdelar, kan det vara intressant för kommunen att peka ut vart vissa typer av lösningar bör prioriteras för att bidra till stadsplaneringen i ett större perspektiv. Då kan de framtagna kriterierna vara till stor hjälp och utgöra en bra grund för kommunikation mellan berörda parter.

Något som deltagarna reagerade på var grupperingen av kriterierna. Det fanns till exempel svårigheter i att förstå vad som menades med sociokultur och därmed vilka kriterium som bör höra hemma i gruppen. Ett förslag var att gruppera kriterierna efter den etablerade indelningen för hållbar utveckling "Ekonomi", "Miljö" och "Social". Dock stämmer detta inte överens med det ramverk som Urban Water tagit fram för MKA inom VA, där teknik och hälsa också bör innefattas. Men en mer känd gruppering kan vara mer användarvänlig och göra beslutsstödet mer tillgängligt för användare som är nya för MKA. Vidare diskuterades hur de 21 kriterierna kan kompletteras. Till exempel ifrågasattes valet av föroreningar som innefattas i kriteriet "Utsläpp till recipient". Olja är en förorening som ofta återfinns i förorenat dagvatten och är därför lika aktuell att utvärdera som PAH. Andra föroreningar som suspenderad substans, kadmi-um, bly och kvicksilver kan också göra utvärderingen av utsläpp till recipient mer omfattande. Valet av vilka föroreningar som innefattas kan förslagsvis styras av status hos den aktuella recipienten eller vilken typ av föroreningsbelastning som finns i området.

Valet av namn på "Politiskt värde" bör enligt deltagarna ändras, delvis för att namnet inte ger en direkt förklaring av vad som ska utvärderas och att politik innefattas i flera andra kriterier. En ny benämning kan till exempel vara "Innovation och utveckling". Ett annat förslag var att slå ihop "Investering" och "Driftkostnad" till samma kriterium, detta då kriterierna är nära relaterade och därmed få samma vikt. Vid utvärdering av "Utsläpp CO₂-ekvivalenter" innefattas inte det upptag av koldioxid som vissa dagvattenlösningar kan medföra. För att få en mer omfattande bedömning av detta kriterium bör därför detta läggas till i beräkningarna.

Utöver kommentarer från Uppsala kommun gällande valet av kriterium har referensgruppen gett förslag på kompletterande kriterium. Till exempel att det bör finnas ett kriterium som utvärderar positiva effekter på allmänhetens hälsa. Detta behandlas redan i flera kriterier och att lägga till ett specifikt kriterium

för just detta kan skapa risk för dubbelräkning. I "Rekreativsvärde" tas hänsyn till den positiva effekten på allmänhetens hälsa om gröna lösningar anläggs och i "Påverkan på mikroklimat" tas hänsyn till systemens möjlighet till att förbättra luftförhållanden vilket också tar hänsyn till positiva hälsoaspekter. Ett annat kompletterande kriterium kan vara hur systemen kan bidra till att attrahera verksamheter som butiker eller kaféer, vilket till exempel kan ses som positivt för allmänheten.

Poängsättning av kriterium i multikriterieanalysen kommer variera beroende på kunskap hos den som utför utvärderingen. Utfallet av utvärdering och den relaterade poängsättningen är en viktig del av multikriterieanalysen och att denna utförs på rätt sätt är därför av stor vikt för beslutsstödet trovärdighet. Det är därför viktigt att utvärderingen öppet diskuteras bland flera inblandade parter i upphandlingen. Om detta görs i samband med viktning av kriterium kan utvärderingen öppet valideras. En känslighetsanalys kan dessutom innefatta olika poängsättningar vilket kan belysa påverkan hos enskilda kriterier i det sammanvägda betyget för ett systemalternativ. I beslutsstödet ges en kortfattad förklaring om vad som är viktigt att ta hänsyn till vid utvärderingen vilket troligen kommer tolkas olika beroende på erfarenheter hos användaren. För vissa kriterium som investeringskostnad och föroreningsbelastning krävs dessutom en del beräkningar, vilket kan ge varierande utfall beroende på val av data. Dock kan utvärderingar med beräkningar anses vara mindre beroende av kunskap hos användaren då tolkningsmöjligheter av utförandet begränsas. Då många kriterier är svåra att uppskatta med direkta värden kan beräkningar inte utföras för samtliga kriterium, vilket därmed ställer krav på viss kunskap hos användaren för att göra utvärderingen. Att beräkningar inte utförs för samtliga kriterier innebär också att arbetsbelastningen kan minimeras eftersom beräkningar ofta kräver mer bakgrundsinformation för det specifika fallet som behandlas.

För att förbättra beslutsstödet och öka dess relevans kan en del kompletteringar göras. Deltagarna under workshopen gav en del förslag, till exempel att beslutsstödet kan kombinera dagvattenlösningar och analysera vilken kombination som är mest optimal i det specifika området. Som stödet ser ut nu ställs krav på att användaren själv tar fram sina systemalternativ och därmed har en idé på vilka lösningar som är intressanta att titta på. Om beslutsstödet skulle utvecklas till ett mer dynamiskt verktyg, där lösningar enklare kan varieras och anpassas under processen, kan det möjliggöra för jämförelser av systemalternativ i betydligt större områden. Idag gör sällan Uppsala kommun jämförelser mellan specifika lösningar utan ofta tas det under planprocessen fram ett samlat förslag där flera lösningar integreras, vilket betyder att beslutsstödet i sin nyvarande form inte stämmer helt överens med rådande förhållningssätt. Beslutsstödet

skulle även kunna innefatta bättre stöd till dimensionering av systemalternativ och på så vis bli ett mer omfattande planeringsverktyg. Detta kräver en hel del arbete, till exempel sammanställning av hur konventionella och mer moderna dagvattenlösningar bör dimensioneras. Vidare skulle beslutsstödet kunna innefatta mer sammanställningar gällande den data som används. Optimalt skulle stödet innefatta data från flera källor vilket skapar en möjlighet för jämförelse och därmed en större trovärdighet i det som presenteras. Till exempel skulle anläggningskostnader, livslängder och reningsgrader för dagvattenlösningar kunna kompletteras med fler källor än VISS, enstaka leverantörer och StormTac data. Metoder och valda enheter bör också valideras mot vad kommuner faktiskt använder för att underlätta användandet av stödet. De metoder som är hämtade från Svenskt Vatten bör stämma överens med kommunernas arbetssätt, vilket är de metoder som främst har använts. Uppsala kommun kommenterade valet av enhet på trafikintensitet (km/dygn) med att de använder fordonsrörelser/dygn, vilket därmed bör kompletteras i stödet. Skillnad i arbetssätt mellan kommuner är troligt och därför bör beslutsstödet även utvärderas av fler kommuner.

5.2 Resultat från fallstudie

Framtagandet av underlag till utvärdering av kriterium, design av systemalternativ samt uppskattning av föroreningsbelastning och fördröjningskrav har utförts enligt en nivå som kan förväntas stämma överens med en noggrannhet som gör att beslutsstödet uppfyller sitt syfte. Beslutsstödet ska inte ge exakta uppskattningar av till exempel dimensioner av systemalternativen eller hur den faktiska föroreningsbelastningen i området ser ut, utan stödet ska möjliggöra för jämförelse av systemalternativ av dagvattenhantering och underlätta för en öppen kommunikation mellan berörda parter av upphandlingen. Därför finns en del brister i de uppskattningar som utförts.

Till exempel skiljer sig den uppskattning av föroreningsbelastning som gjordes med substansflödesmodellen SEWSYS från de modellerade värden av föroreningsbelastning efter områdestyp i StormTac Data. Belastning uppskattad med SEWSYS är lägre än belastning från StormTac och för vissa ämnen lägre än de riktvärden för utsläpp till recipient som identifierats (Tabell 4.2.4). Att det finns skillnader mellan värdena är förväntat, då StormTac bygger på modelldata medan uppskattningen med SEWSYS både baseras på data för Studentvägen och modelldata. Trafikintensiteten som används som indata i SEWSYS (Tabell 4.2.2) är låg och tar endast hänsyn till den begränsade väg som går igenom Studentvägen (Figur 4.2.1). I utförda belastningsberäkningar har därmed inte hänsyn tagits till föroreningsbelastning från trafik på närliggande vägar omkring Studentvägen, någonting som kan antas ha en viss påverkan på den

totala belastningen från Studentvägen. Att använda SEWSYS för uppskattning av föroreningsbelastning kräver dessutom en större arbetsinsats av användaren. Därför rekommenderas framtida brukare av beslutsstödet att använda modelldata från StormTac framför att själv göra en uppskattning med lämpligt modellverktyg. Detta kräver insikt i att StormTac bygger på modelldata. Vidare ska beslutsstödet främst jämföra lösningar som hanterar förändring av dagvatten efter en exploatering, vilket innebär lokal hantering för en begränsad mängd dagvatten som den nya bebyggelsen orsakar. Att exploateringen på Studentvägen skulle påverka den totala föroreningsbelastningen är inte troligt, en viss ökning av trafik kan antas tillkomma då fler boende kommer finnas i området. Men eftersom beslutsstödet ska resultera i en jämförelse av system som hanterar dagvatten efter påverkan från exploateringen kan antagande gällande påverkan från trafik i området antas rimligt i sammanhanget.

Vidare kan det finnas brister i uppskattningen av fördröjningskrav som gjorts för hantering av dagvatten på Studentvägen (Avsnitt 4.2.1.2). Den framtagna fördröjningsvolymen stämmer överens med den fördröjningsvolym som Structor (Stålheim & Filipsson, 2016) presenterade i sin dagvattenutredning gällande exploateringen men då har samma förändring av markytor efter exploatering samt klimatfaktor använts. Den metod som valts för uppskattningen rekommenderas av Svenskt Vatten, men samtidigt rekommenderar Stockholm stad i en nyligen publicerad rapport (Stockholm vatten och avfall, 2017) aktörer i Stockholm att vid dimensionering av dagvattenhantering använda fördröjningskrav med avseende på mm regn framför regnintensiteter som Svenskt Vatten metod använder.

Valet och dimensionering av systemalternativen har utförts i dialog med handledare på RISE och referensgruppen, vilket har medfört att arbetet har validerats kontinuerligt under framtagandet. Hur alternativen har dimensionerats för att klara av att fördröja den beräknade fördröjningsvolymen har till exempel kontrollerats av experter inom dessa typer av lösningar. Något som har diskuterats inom referensgruppen och under workshopen med Uppsala kommun är valet av livslängder för systemalternativen. Till exempel har den relativt korta livslängden på 15 år för alternativ Skelett och den relativt långa livslängden för gröna tak på 100 år ifrågasatts. När livslängder för respektive system togs fram användes delvis data från leverantörer av dagvattenlösningar men även data från andra källor. Det var svårt att hitta fullt trovärdiga siffror på livslängder för systemen och en livslängd för ett system kan dessutom variera i praktiken. Därför är valet av livslängder för systemalternativen en potentiellt stor felkälla i fallstudien. Beräkningen av driftkostnad och investeringskostnad bygger både på schablonvärden för dagvattenlösningar (VISS, 2017) men också antaganden gällande kostnad för anläggning och hur driften ser ut för vissa dagvat-

tentekniker (Andersson & Åström, 2016). Därför finns en viss osäkerhet i dessa beräkningar, vilket kan påverka trovärdigheten i jämförelsen mellan systemalternativen. För att öka relevansen av jämförelsen i beslutsstödet bör värden för till exempel livslängder, anläggningskostnader eller drift diskuteras med en leverantör av de dagvattenlösningar som ska innefattas i systemalternativen.

Den ursprungliga utvärderingen av varje kriterium för respektive systemalternativ utfördes först individuellt för att sedan diskuteras med handledare på RISE. Den utvärderingen presenteras i Tabell 4.2.6 och diskuterades under workshopen samt lämnades för kommentarer från referensgruppen. Att denna utvärdering har granskats av flera experter och verksamma inom dagvatten gör att den kan antas vara rimlig, vilket delvis säkerställer hela utfallet av multikriterieanalysen av dagvattenhantering på Studentvägen. De åsiktsskillnader i utvärderingen som uppkommit har analyserats med den alternativa utvärderingen i känslighetsanalysen. Där har hänsyn tagits till kommentarer gällande flera kriterier från både Uppsala kommun och referensgruppen (Avsnitt 4.2.3.3). Resultatet för den alternativa och ursprungliga poängsättningen skiljer sig något. Alternativ Skelett påverkas minst av den alternativa poängsättningen med en skillnad för den samlade betygsättningen på 2 enheter (Figur 4.2.24; Figur 4.2.26). Alternativ Växt och Permeabel påverkas något mer med en skillnad i den samlade betygsättningen på 8 respektive 13 enheter (Figur 4.2.24; Figur 4.2.26). I den ursprungliga poängsättningen får Skelett det högsta samlade betyget och Magasin det lägsta, vilket även stämmer för den alternativa poängsättningen. Den största skillnaden mellan utvärderingarna är att Skelett tyngre kan pekas ut som ett lämpligt system för Studentvägen i den alternativa utvärderingen (Figur 4.2.24; Figur 4.2.26).

Viktningen som gjordes under workshopen med Uppsala kommun medförde en hel del diskussioner mellan deltagarna. Flera av deltagarna redogjorde för sina åsikter gällande vilka kriterium de ansåg vara viktiga i jämförelsen och vissa åsiktsskillnader kunde urskiljas. Deltagarna var relativt eniga om vilka grupperingar av kriterium som var mest relevanta att vikta högt och lågt för Studentvägen. Trots detta gavs kriterium som ansågs ha låg relevans av Uppsala kommun en relativt hög vikt i jämförelse med kriterium som ansågs ha hög relevans (Tabell 4.2.12). För att visa på hur utfallet av viktningen kan påverkas av större skillnader mellan kriterium med låg respektive hög relevans för Studentvägen gjordes en mer extrem viktning i den alternativa viktningen (Tabell 4.2.13). Skillnader i den samlade betygsättningen för systemalternativen mellan den ursprungliga och alternativa viktningen är liten (Figur 4.2.24; Figur 4.2.26). För den alternativa viktningen får alternativ Växt, Skelett och Permeabel ett lägre samlat betyg och skillnaden mellan systemen utjämnas något. Att vikta de kriterier som ansågs ha låg

respektive hög relevans mer extremt gör det därmed svårare att urskilja vilket systemalternativ som är optimalt för Studentvägen. Dock påverkas inte alternativ Växt, Skelett och Permeabel klart högre betyg än det konventionella systemet Magasin.

Att identifiera vilket systemalternativ som är bäst lämpad för hantering av dagvatten på Studentvägen är möjligt efter utfallet från multikriterieanalysen. Som redan nämnts är relevansen i den ursprungliga utvärderingen hög vilket säkerställer resultatet. Skillnad i den samlade betygsättningen mellan alternativ Växt, Skelett och Permeabel är låg för de två fallen av viktningarna. I den alternativa poängsättningen blir skillnaden mellan alternativ Permeabel och de andra två något större (Figur 4.2.24; Figur 4.2.26). Från den samlade betygsättningen i samtliga fall presterar alternativ Växt, Skelett och Permeabel klart bättre än alternativ Magasin, vilket tyder på att öppna dagvattensystem är mer fördelaktiga på Studentvägen. Detta kan indikera att en kombination av de tre systemalternativen Växt, Skelett och Permeabel är optimalt för Studentvägen. Skelett får högst samlat betyg för de båda poängsättningarna och ett likvärdigt samlat betyg med Växt för den alternativa viktningen. Därför anser jag att alternativ Skelett är bäst lämpad för Studentvägen om ett enskilt system ska väljas.

6 Slutsats

I resultatet från fallstudien kan systemalternativ Skelett pekas ut som bäst lämpad för Studentvägen. Dock visar resultatet att samtliga alternativ som innefattar en öppen dagvattenhantering är mer fördelaktigt än ett slutet konventionellt system. Därför kan en kombinerad lösningar av gröna tak, biofilter, skelettjordar och permeabel beläggning vara optimalt för dagvattenhantering på Studentvägen.

Framtagna kriterium i beslutsstödet pekas ut som relevanta och har stor potential för att öka kommunikationen mellan inblandade parter i planeringsprocessen och kan därmed främja en hållbar dagvattenhantering. Viss komplettering av kriterium kan göras men valen bedöms vara omfattande och beröra kritiska parametrar inom dagvattenhantering.

Beslutsstödet relevans vid planering av dagvatten påverkas av användarvänlighet och när stödet implementeras i processen. Om stödet implementeras när en dagvattenutredning utförts finns tillgång till kritisk indata, vilket underlättar för användaren. Samtidigt kan implementering av stödet tidigare i processen skapa goda förutsättningar för gemensam vision av vilken hantering som bör prioriteras, vilket kan användas som underlag i en dagvattenutredning.

För att beslutsstödet ska resultera i en trovärdig jämförelse av systemalternativ för dagvattenhantering bör poängsättning av kriterium baseras på väl analyserade utvärderingar av varje systemalternativ. Utvärderingen i fallstudien bedöms ha hög relevans och utfallet från studien kan därmed antas vara trovärdigt.

6.1 Rekommendationer för vidare studier

Beslutsstödet kan förbättras genom att utveckla det material som finns tillgängligt, främst med avseende på stöd till val av lämpliga system till den jämförelse som ska utföras. Även kompletterande material gällande metoder som beräknar föroreningsbelastning och fördröjningskrav kan göras. För att göra beslutsstödet mer omfattande kan även andra föroreningar än Cu, P, Zn och PAH läggas till i analysen.

Då utvärderingen är en kritisk del av beslutsstödet behöver utvärdering av andra dagvattentekniker än de som omfattas i fallstudien utföras. Speciellt med avseende på dagvattenlösningar som kan hantera större dagvattenvolymer. Utvärdering bör även göras för ett område som är på kommunal mark.

Beslutsstödet behöver även testas för andra kommuner än Uppsala kommun.

7 Referensförteckning

Alsén, H., Lindman, M. (1990). Kungörelse 03FS 1990:1. Uppsala läns författningsamling. (ISSN: 0347-1659). Uppsala.

Alm, H., Åström, A. (2014). Kommunal dagvattenhantering – juridiska och finansiella aspekter. Svenskt Vatten AB. (Rapport nr 2014-07). Stockholm.

Alm, H., Banach, A., Larm, T. (2010). Förekomst och rening av prioriterade ämnen, metaller samt vissa övriga ämnen i dagvatten. Svenskt Vatten AB. (Rapport nr 2010-06). Stockholm.

Ahlman, S. (2006). SEWSYS - Ett verktyg för att bestämma källor till dagvattenföroreningar och pröva olika åtgärder. VATTEN 62:39-48. Lund.

Andersson, J., Åkerman, S. (2016). Kostnadsberäkningar av exempellösningar för dagvatten. WRS AB. (Rapport nr 2016-0915-A). Stockholm.

Blecken, G. (2016). Kunskapssammanställning Dagvattenrening. Svenskt Vatten Utveckling (SVU). (Rapport nr 2016-05). Bromma.

Bolund, P., Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. (Ecological Economics 29 (1999) 293-301). Environmental Strategies Research Group, Natural Resource Management, Department of Systems Ecology, Stockholm University, Stockholm Environment Institute. Stockholm.

Boverket (2010). Mångfunktionella ytor - klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö i städer och tätorter genom grönstruktur. Karlskrona.

Boverket (2014). Vad är en detaljplan. PBL Kunskapsbanken: Detaljplan – Detaljplaneinstrumentet [online]. Tillgänglig: <http://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/detaljplan/detaljplaneinstrumentet/vad-ar-detaljplan1/> (hämtad 2016-04-01)

Boverket (2015a). Kommunal fysisk planering. Boverket: Samhällsplanering – Kommunal planering [online]. Tillgänglig: <http://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/kommunal-planering/> (hämtad 2016-04-01)

Boverket (2015b). Dagvatten i den översiktliga planeringen. PBL Kunskapsbanken: Temadelar detaljplan – Dagvatten i detaljplan [online]. Tillgänglig: <http://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/detaljplan/temadelar-detaljplan/dagvatten-i-detaljplan/dagvatten-i-den-oversiktliga-planeringen/> (hämtad 2016-12-21)

Boverket (2016a). Områdesbestämmelser reglerar markanvändningen i kommunen. Boverket: Samhällsplanering – Kommunal planering [online]. Tillgänglig: <http://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/kommunal-planering/omradesbestammelser/> (hämtad 2016-12-21)

Boverket (2016b). Översiktsplanen. PBL Kunskapsbanken: Översiktsplan [online]. Tillgänglig: <http://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/oversiktsplan/oversiktsplanens-funktion/> (hämtad 2016-12-21)

Carlsson, K., Kärrman, E. (2014). Beslutsstöd inför stora investeringar inom VA - Hållbarhetsanalyser och samhällsekonomiska bedömningar. Svenskt Vatten Utveckling (SVU). (Rapport Nr 2014-13). Bromma.

Dagvattenguiden (2017). Goda dagvatten exempel [online]. Tillgänglig: <http://godaexempel.dagvattenguiden.se/> (hämtad 2017-03-28)

Dahlström D. (1979): Regional fördelning av nederbördsintensitet – en klimatologisk analys. VA-forsk. (Rapport R18:1979). Stockholm.

Ecoinvent (2017). Ecoinvent database [online]. Tillgängligt: <http://www.ecoinvent.org/>

Ellis, J. B., Deutsch, J. C., Mouchel, J. M., Scholes, L., Revitt, M. D. (2004). Multicriteria decision approaches to support sustainable drainage options for the treatment of highway and urban runoff. *Science of the Total Environment*. (Issue 334 – 335 (2004), pp. 251-260.).

Elmfors, E. (2014). Dagvattenrening i mark och dränerande hårdgjorda system. Grågröna systemlösningar för hållbara städer. Vinnova. (2012-01271) Stockholm.

Embrén, B., Alvem, B. M., Stål, Ö., Orvesten, A. (2009) Växtbäddar i Stockholm Stad - En handbok. Stockholm stad. Stockholm.

Endrén, B. et al., (2014). Dagvattenprogram för Uppsala Kommun. Uppsala Vatten och Avfall AB. Uppsala.

Erixson, T. (2016) Planbeskrivning - Detaljplan för Studentvägen. Plan och Byggnadsnämnden Uppsala Kommun. (PBN 2014-82). Uppsala.

Göteborgs stad (2016). Rapport - Dagvattenutredning Gitarrgatan. Stadsförvaltningen Göteborgs Stad. (Rapport nr. 0679). Göteborg.

Havs- och vattenmyndigheten (2016). Ramdirektivet för vatten – utgångspunkt för svensk vattenförvaltning (2000/60/EG) [online]. Tillgänglig: <https://www.havochvatten.se/hav/samordning--fakta/miljomal--direktiv/vattendirektivet.html> (hämtad 2016-11-10)

IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. Genève.

Jacobs, A., Fagerberg, J., Prima, M., Öjemark, R., Thörnelöf, S., Alm, H., Larm, T. (2009) Förslag till riktvärden för dagvattenutsläpp. Riktvärdesgruppen Regionala dagvattennätverket i Stockholms län. Stockholm.

Jia, H., Yao, H., Tang, Y., Yu, S. L., Zhen, J., Lu, Y. (2012). Development of a multi-criteria index ranking system for urban runoff best management practices (BMPs) selection. *Environ Monit Assess* (185: 7915. doi:10.1007/s10661-013-3144-0).

Kärrman, E., Asperö-Lind, M. (2009). Multikriterianaalys av scenarier för biologisk behandling av organiskt avfall. CIT Urban Water Management AB. (Rapport nr: 2009:6). Stockholm.

Larsson, M et al. (2014). Modellering av vattenflöden och föroreningsbelastning för grågröna dagvattenlösningar. Grågröna systemlösningar för hållbara städer.

Vinnova. (Rapport 2012-01271). Stockholm.

Lai, E., Lundie, S., Ashbolt, N. J. (2008). Reviews of multi-criteria decision aid for integrated sustainability assessment of urban water systems. *Urban Water Journal*. (Vol. 5, Iss 4,2008).

Lindfors, T., Bodin-Sköld, H., Larm, T. (2014). Inventering av dagvattenlösningar för urbana miljöer. Grågröna systemlösningar för hållbara städer. Vinnova. (2012-01271) Stockholm.

Martin, C., Ruperd, Y., Legret, M. (2006). Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices. *European Journal of Operational Research*. (181, pp. 338-349).

Miljöförvaltningen (2013). Miljöförvaltningens riktlinjer och riktvärden för utsläpp av förorenat vatten till recipient och dagvatten. Göteborgs Stad. (R 2013: 10. ISBN nr: 1401-2448). Göteborg.

Naturvårdsverket (2012). Sammanställd information om ekosystemtjänster. Naturvårdsverket. (No. Ärendenr: NV-00841-12). Stockholm.

Naturvårdsverket (2015). Miljö kvalitetsnormer [online]. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Miljokvalitetsnormer/> (hämtad 2016-10-25).

Nilsson, S. Å., Persson, I. (1990) *Investeringsbedömning*. Liber (Upplaga 3:4 ISBN 91-38-61769-2) BTJ Tryck AB. Lund.

Pérez, M. G. R., Rey, E. (2013). A multi-criteria approach to compare urban renewal scenarios for an existing neighborhood. Case study in Lausanne (Switzerland). *Building and Environment*. (65 (2013) 58-70).

Regeringskansliet (2003). En svensk strategi för hållbar utveckling - ekonomisk, social och miljömässig [online]. Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/rattsdokument/skrivelse/2004/04/skr.-200304129/> (hämtad 2017-03-28)

Regeringskansliet (2005). Allmänna vattentjänster (2005/06:78) [online]. Tillgänglig: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/proposition/allmannavattentjanster_GT0378 (hämtad 2017-03-28)

Regeringskansliet (2007). Sverige inför klimatförändringar - hot och möjligheter (SOU 2007:60) [online]. Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/rattsdokument/statens-offentliga-utredningar/2007/10/sou-200760-/> (hämtad 2016-12-10)

Regeringskansliet (2010). Plan och Bygglag (2010:900) [online]. Tillgänglig: http://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-bygglag-2010900_sfs-2010-900 (hämtad 2017-03-28)

Rosén, L., Back, P. E., Söderqvist, T., Soutokorva, Å., Brodd, P., Grahn, L. (2009). *Multikriterieanalys för hållbar efterbehandling - Metodutveckling och exempel på tillämpning. Hållbar Sanering*. Naturvårdsverket. (Rapport 5891). Stockholm.

Stahre, P. (2004). *En långsiktigt hållbar dagvattenhantering: Planering och exempel*, Svenskt Vatten AB. (ISBN: 91-85159-17-4). Stockholm.

Starka (2016). Marksten - Uni-ecoloc [online]. Tillgänglig: <http://www.starka.se/artikel/?id=809> (hämtad 2017-03-28)

Statistiska centralbyrån (2016). Urbanisering - från land till stad [online]. Tillgänglig: http://www.scb.se/sv_/Hitta-statistik/Artiklar/Urbanisering--fran-land-till-stad/ (hämtad 2016-11-13).

Stockholm stad (2015). Dagvattenstrategi - Stockholms väg till en hållbar dagvattenhantering [online]. Tillgänglig: http://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/vp/Stockholms_dagvattenstrategi_2015-03-09.pdf (hämtad 2017-03-28)

Stockholm vatten och avfall (2017). Vatten och avlopp - Avloppsvatten - Dagvatten [online]. Tillgänglig: <http://www.stockholmvattenochavfall.se/vatten-och-avlopp/avloppsvatten/dagvatten/> (hämtad 2017-03-28)

StormTac (2015). About the model. StormTac Storm water solutions [online]. Tillgänglig: <http://www.stormtac.com/Model.php> (hämtad 2017-02-21)

StormTac Data (2017). StormTac Data [online]. Tillgänglig: <http://www.stormtac.com/StormTacData.php> (hämtad 2017-01-30)

Stålheim, J., Filipsson, I. (2016). Dagvattenutredning PM - Studentvägen Uppsala. Structor. (Uppdragsnummer 1396). Uppsala.

Svenskt Vatten AB (2004). Publikation P90. Dimensionering av allmänna avloppsledningar. (No. ISSN nr: 1651-4987). Stockholm.

Svenskt Vatten AB (2016). Publikation P110. Avledning av dag- drän- och spillvatten - Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem (No. ISSN nr: 1651-4947). Stockholm.

Svenskt Vatten AB (2011). Publikation P105: Hållbar dag- och dränvattenhantering – råd vid planering och utförande. Stockholm.

Svenskt Vatten AB (2007). Klimatförändringarnas inverkan på allmänna avloppssystem - Underlagsrapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen (No. ISSN nr: 1651-6893). Stockholm.

Tegelberg, L., Svensson, G. (2013). Utvärdering av Svenskt Vattens rekommenderade sammanvägda avrinningskoefficienter. Svenskt Vatten Utveckling (SVU). (Nr. 2013-05). Stockholm.

Viacon (2016a). Dagvatten och fördröjningsmagasin - Av plats och korrosionsförstärkt stål [online]. Tillgänglig: http://www.viacon.se/wp-content/uploads/2015/10/dagvatter_fordrojning.pdf (hämtad 2016-11-13)

Viacon (2016b). Produkter - Pecor dräneringsrör [online]. Tillgänglig: <http://www.viacon.se/produkter/#pecor-dran> (hämtad 2016-11-13)

VegTech (2016a) Grönt tak & gårdar [online]. Tillgänglig: <http://www.vegtech.se/grona-tak---gardar/> (hämtad 2016-11-13).

VegTech (2016b) Kokosnät - erosionsnät [online]. Tillgänglig:

<http://www.vegtech.se/vattenmiljoer/kokosnat---erosionsnat/> (hämtad 2016-11-13)

VISS (2017a). Åtgärdskategori - Biofilter [online]. Tillgänglig:
<http://viss.lansstyrelsen.se/Measures/EditMeasureType.aspx?measureTypeEUID=VISSMEASUR ETYPE000790> (hämtad 2017-03-28)

VISS (2017b). Åtgärdskategori - Dagvattenbrunn [online]. Tillgänglig:
<http://viss.lansstyrelsen.se/Measures/EditMeasureType.aspx?measureTypeEUID=VISSMEASUR ETYPE000799> (hämtad 2017-03-28)

VISS (2017c). Åtgärdskategori - Infiltrationsmagasin [online].
<https://viss.lansstyrelsen.se/Measures/EditMeasureType.aspx?measureTypeEUID=VISSMEASUR ETYPE000788> Tillgänglig: (hämtad 2017-03-28)

VISS (2017d). Åtgärdskategori - Permeabel vägbeläggning [online]. Tillgänglig:
<http://viss.lansstyrelsen.se/Measures/EditMeasureType.aspx?measureTypeEUID=VISSMEASUR ETYPE000801> (hämtad 2017-03-28)

VISS (2017e). Vattenförekomst - Fyrisån [online]. Tillgänglig:
<https://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterEUID=SE663992-160212> (hämtad 2017-03-28)

White, M., Smith, A., Humphryes, K., Pahl, S., Snelling, D., Depledge, M. (2010). Blue space: The importance of water for preference, affect, and restorativeness ratings of natural and built scenes. *Journal of Environmental Psychology*. (No. Volume 30, Issue 4. Pages 482-493).

Woods-Ballard, B. et al. (2015). *The SuDS Manual*. CIRIA. London.

Young, K. D., Younos, T., Dymond, R. L., Kibler, D. F., Lee, D. H. (2010). Application of the Analytic Hierarchy Process for Selecting and Modeling Stormwater Best Management Practices. *Journal och Contemporary Water Research & Education*. (Issue 146. P. 50-63).

8 Bilagor

A Instruktioner för användande av beslutsstöd

Följande instruktioner angående användning finns tillgängligt i beslutsstödet.

För att använda beslutsstödet utför följande steg:
1. Sammanställ förutsättningar i området Bra underlag kan vara dagvattenutredning, planbeskrivning, strategi för dagvattenhantering i kommunen. Fastställ vilka fördröjnings och reningskrav som är lämpliga i området.
2. Sammanställ indata Designa lämpliga system för din jämförelse utifrån områdets förutsättningar. Se flik "Systemalternativ" Definiera areor för marktyper i området före och efter exploatering. Se flik "Fördöjningskrav" Uppskatta föroreningsbelastning för området. Se flik "Föroreningsbelastning"
3. Utvärdera och poängsätt varje systemalternativ efter utvärderingskriterium (Se flik "Multikriterieanalys" och "Utvärderingsunderlag")
4. Vikta utvärderingskriterium under samråd med aktörer inblandade i planeringen (Se flik "Multikriterieanalys") Samla förslagsvis representanter från förvaltningar, nämnder från kommunen samt fastighetsägare och utomstående dagvattenexperter. Utför viktning under ett möte där alla representanter kan närvara och framföra sina åsikter gällande hanteringen.
5. Dra slutsatser kring vilket system som är lämpligt i området från betygsättning (Se flik "Multikriterieanalys")

KRAV PÅ BAKGRUNDSINFORMATION
Förutsättningar i området:
Fördöjningskrav efter exploatering
Reningskrav av utgående dagvatten
Status av aktuell recipient
Hantering av dagvatten innan exploatering
Markförhållanden i området
Grundvattenförhållanden i området
Exploaterings inverkan på marktyper i området
Önskemål på intressanta system för dagvattenhantering
Indata för beslutsstödet
Areor före och efter exploatering i [ha]
Vattenvolymer [dm ³] för vattenvolymer som ska hanteras i respektive systemalternativ.
Föroreningsbelastning i [kg] för intressanta föroreningar.
Dimensioner för anläggning i [m ²] eller [m ³] för respektive systemalternativ.
Kostnad för anläggning [kr/dim], livslängd [år] och årlig kostnad för drift [kr/dim] för respektive system.
Lämplig ränta i [%] för annuitetsberäkningar.
Utsläpp av koldioxid [kg CO ₂ -ekv] för respektive system.

B Beräkningar fördröjningskrav

För att beräkna fördröjningskrav i beslutsstödet anges följande instruktioner och tabeller. För att utföra beräkningar krävs data över markytor före och efter exploatering samt att betingelser anges enligt instruktionerna. I bilagan anges data och beräkningar för Studentvägen.

För att uppskatta fördröjningskrav utför följande steg:			
1. Välj önskad regnvaraktighet (tr), återkomsttid (T) och klimatfaktor (fc).		tr	Regnvaraktighet
2. Avläs konstanter för återkomsttid (a/b), konstant för regnvaraktighet (c) och nederbördsfaktor (Z) enligt tabeller och figurer.		T	Återkomsttid för nederbörd
3. Dimensionerad regnintensitet (i(tr,Z)) beräknas för området.		a,b	Konstant vid återkomsttid
4. Ange andel av avrinningsytor (Area) före och efter exploatering.		c	Konstant vid regnvaraktighet
5. Dimensionerat inflöde (Qdim) beräknas för före och efter exploatering.		Z	Regional nederbördsfaktor
6. Maximalt utflöde (Qut) beräknas för området. Hansyn tas till att ledningsnät får vara fyllt till 95 % vid maxflöde.		fc	Klimatfaktor
7. Erforderlig utjämningsvolym (Vd) beräknas.		i(tr,Z)	Dimensionerad regnintensitet
		φ	Avrinningskoefficient
		Area	Specifik avrinningsyta
		Qdim	Dimensionerat inflöde
		Qut	Maximalt utflöde
		Vd	Erforderlig utjämningsvolym
Samtliga ekvationer för beräkningar presenteras i flik "Beräkningar".			

T [År]	a	b
1	5,38	0,272
2	7,53	0,293
5	11,63	0,309
10	16,12	0,314

tr [min]	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
c	3,62	2,96	2,41	2,06	1,81	1,62	1,47	1,35	1,25	1,17	1,1
tr [h]	1	1,5	2	3	4	6	8	12	16	20	24
c	1,1	0,821	0,667	0,499	0,405	0,303	0,246	0,184	0,149	0,127	0,112

Baserat på Svenskt Vatten, Publikation P90 (2004): Dimensionering av allmänna avloppsledningar.

Betingelser									
tr [min]	T [år]	a	b	c	Z	fc	i(tr,Z) [l/s ha]	RV [mm]	
10	10	16,12	0,314	3,62	21	1,15	229	20	

Före exploatering					
Yta	φ	Area [ha]	Qdim [l/s]	Udim [m³]	
Grönyta	0,1	2,716	62	54	
Permeabel	0,2	0,000	0	0	
Sand / Grus	0,2	0,000	0	0	
Plattor	0,7	0,000	0	0	
Väg / Parkering	0,8	0,239	44	38	
Hårdgjord	0,8	1,352	247	216	
Tak	0,9	1,002	206	180	
		5,309	559	489	

Efter exploatering					Fördrojningskrav	
Yta	φ	Area [ha]	Qdim [l/s]	Udim [m³]	Qut [l/s]	Vd [m³]
Grönyta	0,1	2,366	54	47	587	77
Permeabel	0,2	0,000	0	0		
Sand / Grus	0,2	0,000	0	0		
Plattor	0,7	0,000	0	0		
Väg / Parkering	0,8	0,238	44	38		
Hårdgjord	0,8	1,374	251	220		
Tak	0,9	1,331	274	240		
		5,309	623	545		
			716	627		

Med hänsyn till klimatfaktor

φ enligt Svenskt Vatten PX (2000):

C Beräkningar systemalternativ

Samtliga beräkningar för dimensionering av systemalternativ presenteras i denna bilaga. I tabell nedan anges materialåtgång, livslängd och leverantör för respektive system.

Systemalternativ	Material	Materialåtgång	Leverantör	Livslängd
Magasin Polyetenrör <i>TrenchCoat</i> 33 m	Polyeten Stål Varmförzinkning	0,1 m ³ 5,5 m ³ 5,5 m ³	Viacon	100 år
Växt Grönt tak 3 000 m ² Biofilter 114 m ² Dräneringsrör Pecor 114 m	Sedumtak VT-filt Kokosduk Sand-silt Makadam Jord Geotextil Polyeten	3 000 m ² 50 kg/m ² 3 000 m ² 1,2 kg/m ² 120 m ² 42 m ³ 42 m ³ 24 m ³ 400 m ² 7,5 m ³	VegTech VegTech VegTech Viacon Viacon	100 år 20 år 100 år
Skelett Skelettjord 494 m ² Dräneringsrör Pecor 494 m	Bergkross Biokol Geotextil Polyeten	420 m ³ 55 m ³ 1500 m ² 31 m ³	 Viacon Viacon	20 år 100 år
Permeabel Permeabel beläggning 513 m ² <i>Uni-Ecoloc</i> Dränerande lager Dräneringsrör Pecor 513 m	Betongsten Fogmaterial Bergkross Sättmaterial Geotextil Polyeten	46 m ³ 5 m ³ 298 m ³ 15 m ³ 1 558 m ² 33 m ³	Starka Starka Viacon Viacon	100 år 15 år 100 år

För att beräkna materialåtgången används effektiv volym och dimensioner för systemalternativen. Beräkningarna har innefattat volymer och areor för systemens olika delar med hänsyn till det rådande materialet.

Referenssystem Magasin

$$V_{\text{olym cylinder}} = (\text{radien}^2 \cdot \text{längd} \cdot \pi)$$

$$F_{\text{ödröjningsrör}} [m^3] = (1 \text{ m}^2 \cdot 6 \text{ m} \cdot \pi) \cdot 4 = 75 [m^3]$$

$$F_{\text{ördelningsrör}} [m^3] = (1,2 \text{ m}^2 \cdot 9 \text{ m} \cdot \pi) = 50 [m^3]$$

Alternativ Växt

Gröna tak

$$U = 14 \text{ mm} \cdot 3270 \text{ m}^2 + 20 \text{ mm} \cdot \text{Area}_{\text{hård}} \cdot \varphi_{\text{hård}} + 20 \text{ mm} \cdot \text{Area}_{\text{parkering}} \cdot \varphi_{\text{parkering}}$$

$$= 14 \text{ mm} \cdot 3270 \text{ m}^2 + 20 \text{ mm} \cdot 220 \text{ m}^2 \cdot 0,8 + 20 \text{ mm} \cdot 0 \text{ m}^2 \cdot 0,8 = 57 \text{ m}^3$$

Lager	Djup [m]	Effektiv volym [%]	Födröjningsvolym [m ³ /m ²]
Sedumtak	0,03	20	0,006
VT-filt	0,01	0	0
Totalt	0,04		0,006

Biofilter

Lager	Djup [m]	Effektiv volym [%]	Födröjningsvolym [m ³ /m ²]
Växtlager	0,2	100	0,2
Sand-Silt	0,5	30	0,15
Makadam	0,5	30	0,15
Totalt	1,2		0,5

$$Krav \text{ på yta } [m^2] = \frac{57 \text{ m}^3}{0,5 \text{ m}} = 114 \text{ m}^2$$

Alternativ Skelett

Lager	Djup [m]	Effektiv volym [%]	Födröjningsvolym [m ³ /m ²]
Överbyggnad	-	-	-
Bärlager	0,2	30	0,06
Skelettjord	0,8	12	0,096
Totalt	1		0,156

$$Krav \text{ på yta } [m^2] = \frac{77 \text{ m}^3}{0,156 \text{ m}} = 494 \text{ m}^2$$

Alternativ Permeabel

Lager	Djup [m]	Effektiv volym [%]	Födröjningsvolym [m ³ /m ²]
Slitlager	0,1	10	0,01
Sättsand	0,03	40	0,012
Bärlager	0,07	6	0,0042
Förstärkningslager	0,5	30	0,15
Totalt	0,6		0,15

$$Krav \text{ på yta } [m^2] = \frac{77 \text{ m}^3}{0,15 \text{ m}} = 513 \text{ m}^2$$

D Beräkningar föroreningsbelastning och reningseffekt

För att uppskatta föroreningsbelastning och reningseffekt i beslutsstödet anges följande instruktioner och tabeller. För att utföra beräkningar krävs vattenvolymer av dagvatten i varje systemalternativ under ett år samt total vattenvolym över hårdgjord yta efter exploatering.

För att uppskatta föroreningsbelastning och reningsgrader utför följande steg:	
1.	Ange areor [dm ²] och vattenvolymer [dm ³] för total hårdgjord yta och respektive systemalternativ.
2.	Ange bidrag [kg] för önskade föroreningar.
3.	Utsläpp i [µg/l] beräknas för varje önskad förorening.
4.	Utsläpp från respektive system [kg] beräknas utan hänsyn till rening i systemet.
5.	Ange reningsgrader för respektive system från tabell över reningsgrader för olika typer av anläggningar.
6.	Utsläpp med hänsyn till rening för respektive system beräknas i [kg] och [µg/l].
7.	Reningseffekt för respektive systemalternativ beräknas.

Kommentar	
För area total hårdgjord kan yta efter exploatering i "Fördröjningskrav" användas eller given vattenvolym i SEWSYS.	
Vattenvolym avser volym från den totala ytan under ett år samt den volym som behandlas i systemalternativet under ett år.	
Antingen från uppskattning med SEWSYS eller från tabell med StormTac data enligt områdestyp nedan.	
För att få en uppskattning gällande utsläppets omfattning jämför resultat mot angivna riktvärden.	
Använd tabell med StormTac data nedan.	
Reningseffekten tar hänsyn till procentuell skillnad mellan referenssystem och systemalternativ.	

1	area [dm ²]	vattenvolym [dm ³]	
Total hårdgjord yta		759460000	Från SEWSYS
	29431200	672751939	Från "Fördröjningskrav"
Referens: Magasin		28105000	
Alt 1: Växtbäddar		20805000	
Alt 1: Gröna tak		7300000	
Alt 1: Totalt		28105000	
Alt 2: Skelettjordar		28105000	
Alt 3: Permeabel		28105000	

"Från SEWSYS" används i fallstudie

	2	3		
bidrag:	total [kg]	Utsläpp [µg/l]	Riktvärde [µg/l]	
Cu	3,127	4,117	9	40
Zn	13,109	17,261	60	125
Pb	236,600	311,537	3	15
Cd	23,360	30,759	0,3	0,5
P	11,680	15,379	100	250
N	15,574	20,507	1250	3000
PAH	3380,630	4451,360	1000	7500

* Riktvärdesgruppen för Stockholm stad / Miljöförvaltningen Göteborgs stad

4	Utsläpp från system [kg]	Ref	Alt 1: bädd	Alt 1: tak	Alt 2	Alt 3
	Cu	0,116	0,086	0,030	0,116	0,116
	Zn	0,485	0,359	0,126	0,485	0,485
	Pb	8,756	6,482	2,274	8,756	8,756
	Cd	0,864	0,640	0,225	0,864	0,864
	P	0,432	0,320	0,112	0,432	0,432
	N	0,576	0,427	0,150	0,576	0,576
	PAH	125,105	92,611	32,495	125,105	125,105

5	Reningsgrad [%]	Ref	Alt 1: bädd	Alt 1: tak	Alt 2	Alt 3
	Cu	60	65	-100	90	75
	Zn	60	85	20	90	95
	Pb	75	80	65	45	70
	Cd	60	85	20	60	70
	P	65	65	-220	55	65
	N	15	40	-120	28	75
	PAH	60	85	-332	75	75

6	Utsläpp efter rening [µg/l]	Ref	Alt 1: bädd	Alt 1: tak	Alt 1: tot	Alt 2	Alt 3
	Cu	1,647	1,441	8,235	3,206	0,412	1,029
	Zn	6,904	2,589	13,809	5,503	1,726	0,863
	Pb	77,884	62,307	109,038	74,445	171,345	93,461
	Cd	12,303	4,614	24,607	9,807	12,303	9,228
	P	5,383	5,383	49,214	16,767	6,921	5,383
	N	17,431	12,304	45,115	20,826	14,765	5,127
	PAH	1780,544	667,704	19229,876	5489,047	1112,840	1112,840

7	Reningseffekt [%]	Alt 1: bädd	Alt 1: tak	Alt 1: tot	Alt 2	Alt 3
	Cu	-14	80	49	-300	-60
	Zn	-167	50	-25	-300	-700
	Pb	-25	29	-5	55	17
	Cd	-167	50	-25	0	-33
	P	0	89	68	22	0
	N	-42	61	16	-18	-240
	PAH	-167	91	68	-60	-60

E Data för beräkningar koldioxidutsläpp

För beräkningar av kriterium "utsläpp koldioxid" har följande data använts. Denna sammanställning har utförts av Nadia Al-Ayish på RISE CBI. Referensdata för CO2-ekvivalenter som använts kommer från databasen Ecoinvent.

Material	densitet	enhet	kg CO2-ekv	referens	dataset
polyetenrör	941 kg/m3	1 kg	2,460897608	ecoinvent	polyethylene high density+extrusion plastic film
geotextil	165 g/m2	1 kg	2,64	ecoinvent	fleece (polyethylene)
stål, (ej legerad, conv)	7800 kg/m3	1 kg	2,16	ecoinvent	unalloyed steel+ drawing of pipes
stål, (låglegerad, ljusbåg)	7800 kg/m3	1 kg	0,389	ecoinvent	low-alloyed, electric arc
varmförzinkning	7140 kg/m3	1 m2	0,07	ecoinvent	Zinc coat, pieces, adjustment per micro-m {RER}
varmförzinkning	7140 kg/m3	1 m3	71110		
betong	2350 kg/m3	1 m3	360,42	ecoinvent	concrete, normal
fogsand	1450 kg/m3	1 kg	0,00174	ecoinvent	sand, SE
makadam	1400 kg/m3	1 kg	0,00239	ecoinvent	crushed aggregates, SE
bergkross	1700 kg/m3	1 kg	0,00239	ecoinvent	crushed aggregates, SE
sand	1450 kg/m3	1 kg	0,00174	ecoinvent	sand, SE
biokol	160 kg/m3	1 kg	1,51300	ecoinvent	1 kg Charcoal {GLO} production Alloc Rec, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, recycled content - unit)
kokosduk	400 g/m2	1 kg	5,6129	ecoinvent	Textile, jute {GLO} market for Alloc Rec, U
sand-silt	1500 kg/m3		0,00174	ecoinvent	sand, SE
jord	1400 kg/m3		0,00174	ecoinvent	sand, SE
schaktning excavator c 4		1 m3	0,3493644	Stripple 2001	3,98 MJ olja/m3
Diesel		1 MJ	0,08778	ecoinvent	35,1 MJ/L (stripple)
Lastbil 33t last	100%tur 0%retur	1 kgkm	5,62578E-05	NTM	
grönt tak 1 (närmast vegtech)		1 m2	15,83	Chenani et al	

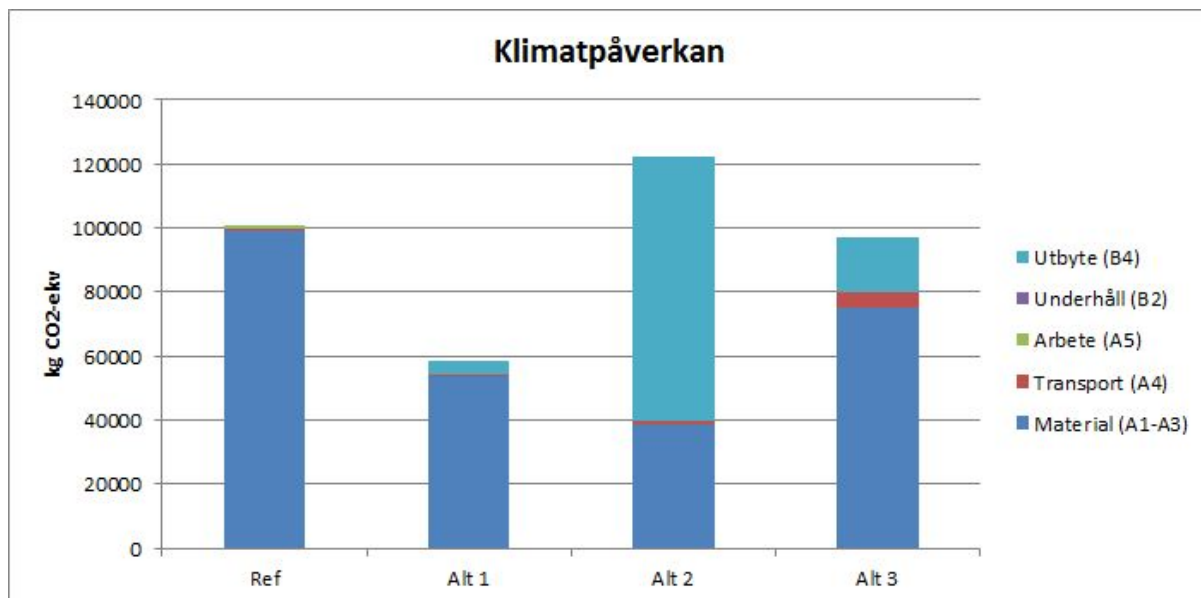
System	Livslängd	Material	Leverantör	Materialåtgång	Enhet	kg CO2-ekv material
Ref						
Polyetenrör <i>TrenchCoat</i> 33 m	100 år	Polyeten	Viacon	0,109	m³	252
		Stål		5,77	m³	97 416
		Varmförzinkning		0,0184	m³	1308
					Totalt	98 976
Alt 1						
Grönt tak 3000 m²	100 år	Sedumtak	VegTech	3 000	m²	47 490
		VT-filt	VegTech	3 000	m²	
Biofilter 120 m²	20 år	Kokosduk	VegTech	120	m²	269
		Sand-silt		42	m³	102
		Makadam		42	m³	141
		Jord		24	m³	58
		Geotextil	Viacon	400	m²	174
Dräneringsrör <i>Pecor</i> 120 m	100 år	Polyeten	Viacon	2,4	m³	5 558
					Totalt	53 793
Alt 2						
Skelettjord 494 m²	20 år	Bergkross		420	m³	1706
		Biokol		55	m³	13 314
		Geotextil	Viacon	1500	m²	654
Dräneringsrör <i>Pecor</i> 494 m	100 år	Polyeten	Viacon	9,88	m³	22 879
					totalt	38 554
Alt 3						
Permeabel beläggning 513 m²	100 år	Betong	Starka	46	m³	16 579
<i>Uni-Ecoloc</i>		Fogsand	Starka	5	m³	13
Dränerande lager	15 år	Bergkross		298	m³	1 211
		Sand		15	m³	38

		Geotextil	Viacon	1558	m ²	679
Dräneringsrör <i>Pecor</i> 1225 m	100 år	Polyeten	Viacon	24,5	m ³	56 735
					Totalt	75 254

Transport- avstånd [km]	Transport	kg CO2-ekv transport	Antal utbyten	kg CO2-ekv utbyte	Arbete	mängd [m3]	kg CO2-ekv arbete
200		1	0	0	Schaktning	4 158	1 453
200		506	0	0			
200		1	0	0			
600		509		0		4 158	1 453
			0	0	Schaktning	137	48
			0	0			
			5	1 347			
20	Lastbil 33t	71	5	865			
20	Lastbil 33t	66	5	1 033			
20	Lastbil 33t	38	5	481			
200		3	5	887			
200		25	0	0			
460		203		4 613		137	48
20	Lastbil 33t	803	5	12 549	Schaktning	494	173
			5	66 572			
200		3	5	3284			
200		105	0	0			
420		911		82 405		494	173
600	Lastbil 33t	3727	0	0	Schaktning	553	193
20	Lastbil 33t	8	0	0			
20	Lastbil 33t	570	7	11872			

20	Lastbil 33t	24	7	415			
200		3	7	4548			
200		259	0	0			
1 060		4 591		16 835		553	193

System	Total kg CO2-ekv
Ref	100 938
Alt 1	58 657
Alt 2	122 043
Alt 3	96 874



F Samtlig data för investering och driftkostnad

Nedan följer samtlig data för beräkning av kriterier "Investering" och "driftkostnad" för respektive systemalternativ.

	kostnad anläggning	anläggning dimension	anläggningskostnad [kr]	livslängd [år]	ränta [%]	annuitet [kr/år]	Utvärdering [%]
födröjningsmagasin	8 500 kr	116 m ³	986 462	100	4	40256	0
genomsläpplig beläggning	3 000 kr	364 m ³	1 092 690	15	4	98 278	+144
skelettjord	8 000 kr	494 m ³	3 952 000	20	4	290 795	+622
gröna tak	350 kr	3 270 m ²	1 144 500	100	4	46 705	+16
biofilter	3 500 kr	137 m ³	4 788 00	20	4	35 231	-12
total växt			1623300			81 936	+104

Nedan följer samtlig data för beräkning av driftkostnad för respektive systemalternativ.

	anläggning dimension	årlig kostnad drift [kr/dim]	driftkostnad [kr/år]	Utvärdering [%]
födröjningsmagasin	116 m ³	250	29 014	0
genomsläpplig beläggning	364 m ³	35	12 748	-56
skelettjord	494 m ³	45	22 230	-23
gröna tak	3 270 m ²	-	0	0
biofilter	137 m ³	25	2 850	-90
total växt			2 850	-90