



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och  
jordbruksvetenskap

# System för lokalt omhändertagande av dagvatten

Litteraturen och praktiken

Oscar Yachnin

Kandidatarbete 15 hp, institutionen för stad och land  
Landskapsarkitektprogrammet, Ultuna  
Uppsala 2018

Titel: System för lokalt omhändertagande av dagvatten: Litteraturen och praktiken  
Engelsk titel: Systems for local best management practices: In literature and in practice  
© Oscar Yachnin  
Handledare: Bodil Dahlman, SLU, institutionen för stad och land  
Examinator: Malin Eriksson, SLU, institutionen för stad och land  
*SLU, Sveriges lantbruksuniversitet, fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap*  
Institutionen för stad och land, avdelningen för landskapsarkitektur  
Omfattning: 15 hp  
Nivå: Grundnivå G2E  
Kurs: EX0725, Projekt i landskapsarkitektur  
Landskapsarkitektprogrammet, Ultuna  
Nyckelord: dagvatten, dagvattenhantering, LOD, dagvattenstrategi, urbanisering  
Alla bilder i arbetet publiceras med erforderliga tillstånd.  
Publiceringsår: 2018  
Publiceringsort: Uppsala  
Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se/>

# Sammandrag

Genom sammanställningen av litteratur och utvärdering av dagvattenstrategin för ett befintligt exploateringsprojekt i Sala, Sverige bidrar denna uppsats till att tydliggöra behovet av lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD) för att tackla växande utmaningar associerade med urbanisering och klimatförändringar. Aktuell litteratur på sex dagvattenhanteringssystem som kan med varierande lämplighet användas på två vägsträckor i exploateringsprojektet sammanställs.

Sammanställningen kontrasteras med en kvalitativ utvärdering av dagvattenstrategin på exploateringsprojektet (bestående av en samling rapporter, utredningar och planer) och demonstrerar därigenom främst två saker: (1) hur forskningen manifesteras i praktiken och (2) längs med vilka parametrar som utvecklingen av dagvattenstrategin på exploateringsprojektet i Sala potentiellt kan ske. Slutsatser dras om att dagvattenstrategin till stor del följer den aktuella litteraturen men att detaljeringsgraden som är nödvändig för att uppnå strategins huvudsakliga mål är bristande. Med litteraturöversikten över systemen för LOD identifieras bland annat vilka hanteringssystem som bäst lämpar sig för rening av dagvattnet från fosfor och att den i rapporterna föreslagna lösningen med skelettjordar kan kompletteras med användningen av biokol som substrat.

## Abstract

Through a review of current literature and the assessment of a development project's strategy for best management practice (BMP) in Sala, Sweden this thesis illuminates the need for local BMPs in contributing to the mitigation of issues arising from urbanization and climate change. The current literature on six systems for local BMPs that are applicable in the development project in Sala are reviewed. They are consequently contrasted with the qualitative assessment of the strategy for stormwater management (consisting of reports, investigations and site plans) which serve to demonstrate two fundamental points: (1) how current literature on BMPs manifests itself in practice and (2) along which parameters the continued development of the strategy for stormwater management likely should follow. Conclusions are drawn that the strategy in large part follows current literature but that its level of detail is insufficient in achieving its goals. With the review of BMPs as a basis, the best system for removal of phosphorus is identified as well as recommending the supplement of biochar in structural soils.

# Innehåll

Introduktion .....	5
Bakgrund.....	5
Vad är dagvatten?.....	5
Urbanisering och dagvatten .....	6
Dagvattenhantering.....	7
<b>Grå dagvattenhantering</b> .....	7
<b>Grön dagvattenhantering</b> .....	7
<b>Grön dagvattenhantering och multifunktionalitet</b> .....	8
Klimatförändringar och dagvattenhantering .....	8
Exploateringsprojektet Silvervallen .....	9
Dagvattenstrategi på Silvervallen .....	10
<b>Dagvattenhantering</b> .....	10
<b>Avrinningsområdets recipient</b> .....	11
<b>Markförhållanden i Silvervallen</b> .....	11
<b>Existerande förslag på dagvattenhanteringssystem</b> .....	12
Applicerbara dagvattenhanteringssystem på Silvervallen .....	12
<b>Infiltration i grönyta</b> .....	13
<b>Infiltrationsstråk</b> .....	13
<b>Makadamdike</b> .....	14
<b>Svackdike</b> .....	14
<b>Permeabla hårdgjorda ytor</b> .....	14
<b>Skelettjord</b> .....	15
Biokol i dagvattenhanteringssystem .....	15
Syfte .....	16
Frågeställning.....	16
Avgränsning .....	16
Metod .....	17
Resultat .....	17
Utvärdering och jämförelse .....	18
Slutsatser .....	19
Diskussion .....	21
Metodreflektion.....	22
Avslutande reflektion.....	22
Referenser .....	24
Icke publicerat material .....	27

# Introduktion

Jodens befolkning, såväl som Sveriges, växer och prognoser visar på en fortsatt tillväxt med 2,5 miljarder människor till år 2050 (SCB, 2018; WPP, 2017; WUP, 2014). Urbaniseringen ökar i takt med populationsmängden och år 2050 förväntas 66 procent av jordens befolkning bo i städer (WUP, 2014). Det följer således att exploatering av grönyta och förtätning av befintlig tätort även ökar och kommer att öka ännu mer i framtiden (Foley et al. 2005). Denna förändring av markytan innebär att mindre dagvatten kan infiltrera direkt i marken och behöver därför hanteras på lämpligt sätt (Barbosa, Fernandes & David, 2012). Konsekvenserna av förändringar i klimatet utgör ytterligare faktorer i hanteringen av dagvatten. Till dessa hör exempelvis större variationer i väder med kraftigare skurar och längre torka (IPCC, 2012; Moore et al., 2016; Zellner et al., 2016). Sammantaget blir det tydligt att robusta dagvattenhanteringssystem är en essentiell del av framtidens hållbara stad.

En viktig del i lösningen är att i stor utsträckning decentralisera hanteringen av dagvattnet och hantera det så nära dess källa som möjligt (Barbosa, Fernandes & David, 2012; Wong & Brown, 2009; Zellner et al., 2016). Detta minskar behovet av stora ledningsnät, reningsverk och potentiellt stora kostnader associerade med dessa (Moore et al. 2016; Wang, Eckelman & Zimmerman, 2013). På de platser där dagvattnet kan tas om hand lokalt finns det även goda möjligheter att skapa ytterligare värden. Till dessa hör bl.a. biologisk mångfald, estetik och miljöer som gynnar mänskligt hälsa (Prudencio & Null, 2018). Lösningar av denna sort kallas ofta lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD) och är föremålet för denna uppsats.

## Bakgrund

### Vad är dagvatten?

Dagvatten definieras som det vatten som tillfälligt förekommer på markytan. Detta sker oftast som en konsekvens av nederbörd eller smältvatten men även spillvatten och framträngande grundvatten inryms i definitionen (Miljö- och samhällsbyggnadsdepartementet, 2005; SMHI, 2015).

Själva dagvattnet innebär både möjligheter och problem. Om vattnet infiltrerar direkt i marken eller leds till grönytor medför det naturlig bevattning, påfyllnad av grundvatten, uppehåll av basflöde (den del av vattenflödet som bibehålls mellan nederbörd) och rening genom filtrering av dagvattnet (Liu et al., 2014; Prudencio & Null, 2018).

Problem uppstår dock i flera led och källorna till problemen är ofta svåra att identifiera och även att vikta mot varandra. När dagvattnet rinner över hårdgjorda

ytor tar det med sig tungmetaller, oljerester, skräp, patogener, klorider och andra föroreningar som finns på dessa ytor och deponerar dem i grönytor och vattendrag. Konsekvenserna för recipienten är omfattande och kan exempelvis leda till övergödning och fiskmortalitet (Foley et al., 2005; Rauch et al., 2012; Tsihrintzis & Hamid, 1997). De tungmetaller och oljerester som finns i dagvattnet kommer främst från industrier men det är fordonstrafiken som tillför de mest toxiska tungmetallerna (Pb, Zn, Cu, Cr och Ni). I områden där vägar saltas är vägsalter en betydande källa till klorider i dagvatten och dagvattnets recipienter (Tsihrintzis & Hamid, 1997). Även om dagvattnet leds till reningsverk genom slutna system innebär det ett ineffektivt spenderande av samhällets resurser (Moore et al. 2016; Wang, Eckelman & Zimmerman, 2013).

Dagvatten kan innehålla signifikanta mängder kväve och fosfor och är i många fall en effektiv transportör av näringsämnen till både akvatiska och terrestra miljöer (Basnyat et al., 1999; Groffman et al., 2004). I dessa miljöer orsakar näringsrikt dagvatten ekologiska problem som konsekvens av övergödning. Exempel på problem inkluderar syrebrist, minskad biologisk mångfald och förgiftning. Detta har lett till att minskad övergödning ingår som ett av Sveriges 16 miljömål (Naturvårdsverket, 2018). Det finns flera källor till näringsämnen i dagvatten: atmosfären, stadsträd, gödning, byggnation, deponier och spillvattenkällor (Carey et al., 2013; Janke, Finlay & Hobbie, 2017; Smith, Tilman & Nekola, 1999).

Grundvattenpåfyllnad från dagvatten kan både vara positivt och negativt. Om påfyllnadshastigheten av grundvattnet blir för hög kan det leda till en höjning av grundvattenytan vilket i sin tur kan leda till att grundvattnet tränger fram ovanför mark och in i byggnader (Endreny & Collins, 2009). En konsekvens av detta är även att markens infiltrationskapacitet minskar och en större andel av dagvattnet måste ledas till ledningssystem. Detta är särskilt ett problem i områden med högt grundvatten (Locatelli et al. 2017).

Kvantiteten och kvaliteten av dagvattnet är två aspekter som beror på flera faktorer: volym, intensitet, tidigare väders påverkan på marken, lokala geografiska, meteorologiska och geologiska aspekter, markanvändning, förvaltning av marken, trafikmängd/-typ och system för dagvattenhantering. De kvalitetsavgörande källorna är i huvudsak: atmosfäriska partiklar som medföljer nederbörd, markföroreningar som förs med dagvattnet genom erosion och föroreningar på markytan som spolas med dagvattnet (Tsihrintzis & Hamid, 1997).

## Urbanisering och dagvatten

Urbanisering och förtätning av våra städer är processer som starkt påverkar dagvattnet både i byggda miljöer och omkringliggande naturmark. (Barbosa Fernandes & David, 2012; Clark & Pitt 2007; Foley et al., 2005; Liu et al., 2014; Tsihrintzis & Hamid, 1997) Exploatering av vegetationsbeksidd mark, genom nybyggnation eller förtätning, medför en ökning av hårdgjorda icke-permeabla ytor som exempelvis asfalt och byggnader. Detta resulterar i en minskad möjlighet för dagvatten att direkt infiltrera genom markytan vilket vidare leder till att dagvattnet måste hanteras genom olika system. Vattnet leds ofta via ledningsnät i marken till reningsverk eller vattendrag. Alternativt leds vattnet till närliggande permeabla ytor (ex. gräsmattor eller grusgångar), till dammar eller andra ytor där vattnet kan evaporera. Växter i urbana miljöer har en viktig funktion i dagvattenhanteringen

genom att de dels fångar upp regn och snö som då minskar volymen dagvatten som måste tas hand om på marken och dels genom att de tar upp vatten genom rötterna som sedan kan transpirera ut i atmosfären (Liu et al., 2014; Prudencio & Null, 2018; Wang, Eckelman & Zimmerman, 2013).

På de hårdgjorda ytorna i urbana miljöer ansamlas det betydande mängder föroreningar (Barbosa, Fernandes & David, 2012; Liu et al., 2014; Tsihrintzis & Hamid, 1997). Markanvändning i form av bostäder, verksamheter, industrier, vägar, skolor, parker och andra öppna ytor leder till ackumuleringen av föroreningar. Ytavrinning, erosion och infiltration, i miljöer där föroreningarna har ackumulerats, för dessa vidare till grundvatten och ytvatten. Detta kan resultera i fiskmortalitet, reducerad primärproduktion, övergödning, reducerad biodiversitet och negativa konsekvenser för mänsklig hälsa (Barbosa, Fernandes & David 2012; Basnyat et al., 1999; Finkenbine, Atwater & Mavinic, 2000; Tsihrintzis & Hamid, 1997).

## Dagvattenhantering

Dagvattenhantering är en samlingsterm för ett stort antal olika systemlösningar till de dagvattenproblem som tidigare belysts. Viktiga komponenter i ett hanteringssystem inkluderar oftast: uppsamling och transport av dagvatten, filtrering (grova partiklar och föroreningar), magasinering och recipient. Ett annat sätt att dela in hanteringen på är: lokalt omhändertagande av dagvattnet följt av fördröjning nära källan, trög avledning, samlad fördröjning och till sist recipient (Näslund et al., 2015).

### *Grå dagvattenhantering*

System som bygger på icke-permeabla ledningar refereras ofta till som grå dagvattenhanteringssystem (Prudencio & Null, 2018; Wang, Eckelman & Zimmerman, 2013). De tillhör bland de mest konventionella lösningarna och dess användning har daterats ända tillbaka till antika Mesopotamien (3500 - 2500 f.Kr.) (Barbosa, Fernandes & David, 2012). Hanteringssystemen består oftast av uppsamling och transport på icke-permeabla ytor, exempelvis vägar och rännor, och sedan vidare transport under mark via brunnar och nedgrävda ledningsrör. Vattnet förs därefter till ett reningsverk eller vattendrag (Montalto et al., 2007). Denna kedja av processer kan i många fall vara känslig för stora dagvattenvolymer och -intensiteter beroende på dess kapacitet. Översvämningar är en vanlig konsekvens av att dagvattenkapaciteten överskrids (Hood, Clausen & Warner, 2007; Wang, Eckelman & Zimmerman, 2013; Zellner et al., 2016). Gråa dagvattensystem är även kostsamma att installera, kan vara svåra att modifiera eller reparera och de kan även föra med sig föroreningar till vattendrag, om dagvattnet inte leds till ett reningsverk (Prudencio & Null, 2018).

### *Grön dagvattenhantering*

Grön dagvattenhantering, till skillnad från grå, bygger på lösningar som möjliggör hantering av dagvatten nära dess källa (Prudencio & Null, 2018; Montalto et al., 2007; Zellner et al. 2016). Systemen är ofta utformade efter platser i naturen och de processer som ligger till grund för utvecklingen och implementeringen av gröna dagvattenhanteringssystem inkluderar bl.a. magasinering, infiltration, perkolation, fördröjning, sedimentering, filtration, fyto Remediering (upptag av föroreningar av

växter), evaporation och transpiration (Liu et al., 2014; Montalto et al., 2007; Zellner et al., 2016). Ledningsrör, och andra beståndsdelar som är vanliga i grå dagvattenhanteringssystem, kan vara komponenter även i gröna system. Oftast består de dock i huvudsak av selekterade jordarter, växter, funktionsbaserad markmodellering och uppsamlingsytor så som dammar eller diken. (SVA, 2017; Zellner et al., 2016)

Magasineringssegenskaperna hos gröna dagvattenhanteringssystem är en viktig aspekt som bestäms av fler faktorer (SVA, 2017). Systemets magasineringsskapacitet beror på volymen dagvatten som kan magasineras på dess yta såväl som i dess porvolym. Även den dränerabara porvolymen och dräneringshastigheten är viktiga faktorer i bestämningen av ett systems magasineringsegenskap.

### *Grön dagvattenhantering och multifunktionalitet*

Det är vanligt att gröna system är multifunktionella och bidrar med flera olika ekosystemtjänster (Horwitz & Finlayson, 2011; Liu et al., 2014; Prudencio & Null, 2018). I en dagvattenkontext delas ekosystemtjänster ofta in i fyra kategorier: tillhandahållande (ex. akviferer och föda), reglerande (ex. grundvattenpåfyllnad och temperaturreglering), kulturella (ex. estetik och rekreation) och stödjande tjänster (ex. habitatbildning) (Prudencio & Null, 2018). Till detta går även att tillägga ekosystemtjänster som rör mänsklig hälsa (Coutts & Hahn, 2015; Horwitz & Finlayson, 2011). Mänsklig hälsa i detta sammanhang är en mycket bred och komplicerad term som både inkorporerar fysiologisk och psykologisk hälsa och synergin mellan dessa. Mer konkret visar studier på ökat välmående till följd av grönska i urban miljö (Jiang et al., 2016). Det vetenskapliga underlaget till grönområdets, och i denna kontext gröna dagvattensystems, påverkan på mänsklig hälsa är bred (Coutts & Hahn, 2015; Horwitz & Finlayson, 2011; Jiang et al., 2016). Specifik forskning på hur gröna dagvattenhanteringssystem påverkar mänsklig hälsa och möjligen skiljer sig från andra gröna element i staden har dock inte gjorts i större utsträckning (Suppakittpaisarn, Jiang & Sullivan, 2017).

## Klimatförändringar och dagvattenhantering

Globala klimatförändringar förväntas ha stora ekologiska, sociala och ekonomiska konsekvenser (IPCC, 2012; Moore et al., 2016; Prudencio & Null, 2018; Zellner et al., 2016). I Sverige förväntas temperaturer stiga med 2–7 °C, växtsäsongen förlängas med 1–2 månader, svårare sommartorka i landets södra delar, nederbördsökningar, större variation i nederbörd både inom tidsintervallen månader och år, minskad varaktighet av snötäcke och stigande medelvattenflöden (Kjellström et al., 2014). När dessa förändringar kommer att ske är svårt att precisera men projektionerna behandlar tidsintervall mellan 20 och 80 år i framtiden. Ett uträknat exempel i centrala Göteborg visar på de ekonomiska konsekvenserna av ett skyfall med 100 års återkomsttid. Skadorna beräknas uppgå till 2,7 miljarder kronor (Thorén, 2015). Det följer att förändringar i klimatet innebär tydliga utmaningar för utformningen av dagvattenhanteringssystem även om många existerande gröna dagvattenhanteringssystem (och gråa system) har i flera studier visats kunna hantera förväntade förändringar i klimatet (Moore et al., 2016).



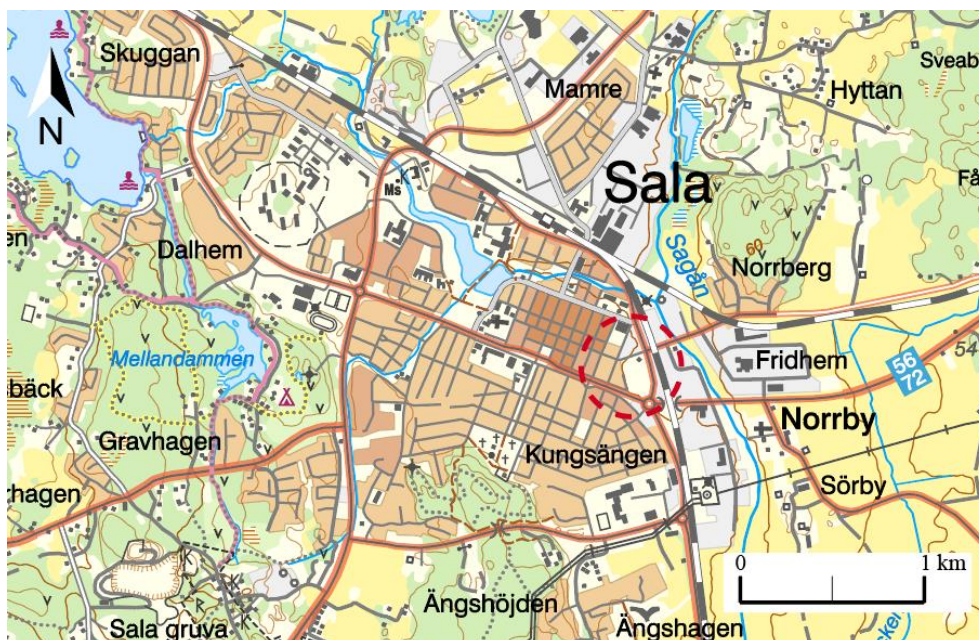
## Exploateringsprojektet Silvervallen

Silvervallen och intilliggande Östra Kvarteret i Sala ska exploateras och är första etappen i ett större exploateringsprojekt. Detaljplanen har vunnit laga kraft och utredningar rörande geologin, hydrologin och dagvattenhantering på området har genomförts (Sala Kommun, 2017).

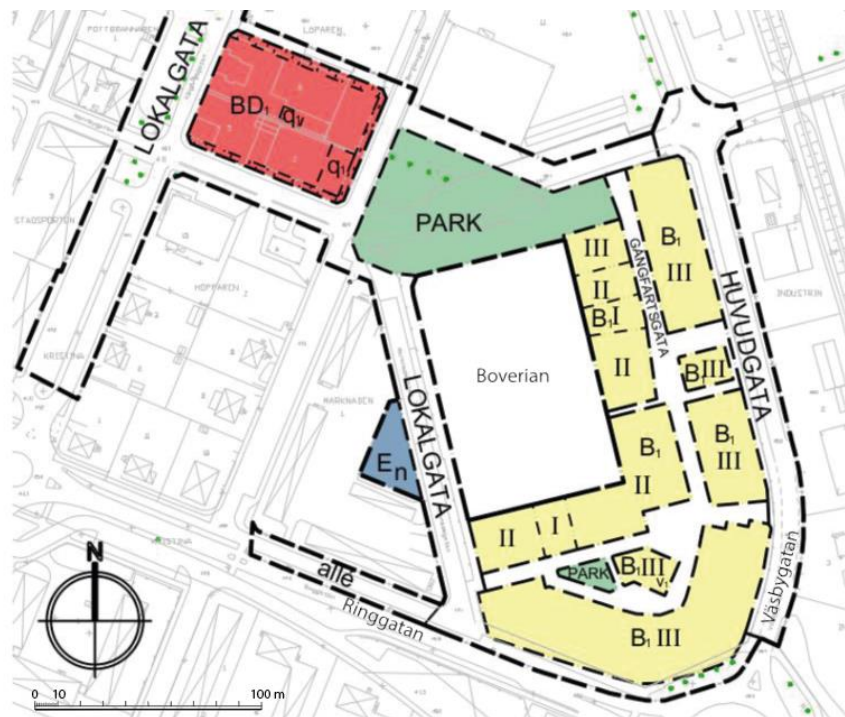
Planområdet ligger öster om centrala Sala (figur 1 och 2) och förväntas bli en förlängning av centrum och en påbyggnad på rutnätsstaden. Salas översiktsplan har tagits i beaktning och i Silvervallen efterlyser detaljplanen kvartersbebyggelse med portiker och småstadsgator enligt principen för riksintresset Sala Bergstad. Kvarteren ska innehålla bostäder med möjlighet till icke störande verksamhet i markplan, handel med begränsade varutransporter och kontor i markplan. Gator med småstadskaraktär utformad efter gångfart ska beaktas i gestaltningen av infarterna till fastigheterna. Förslaget inkluderar 20 bostäder i stadsgårdar och 10 mindre flerfamiljshus vilket ger utrymme för ca 100 bostäder. Mitt i planområdet är bostadskomplexet Boverian planerat, projekterat och vid publicering av denna uppsats under konstruktion.

Den del av Silvervallen som denna uppsats främst behandlar är ytorna längs med Ringgatan och Väsbygatan. Dessa omger Silvervallen i söder och i öster respektive.

Underlag till en dagvattenstrategi har tagits fram och sammanfattas till stor del i rapporten *Östra Kvarteret och Silvervallen Dagvattenhantering* (Näslund et al., 2016). Denna bygger på och kompletteras av flera rapporter och utredningar som bland annat behandlar de geotekniska förhållandena och risker med transport av farligt gods. I denna uppsats definieras dagvattenstrategi som den kollektiva samlingen utredningar och rapporter som i någon mån behandlar dagvattenhantering.



Figur 1. Översiktskarta. Silvervallen och Östra Kvarteret inringade. Bildkälla: modifierad från Lantmäteriet 2018.



Figur 2. Förenklad detaljplan som visar Ringgatan och Väsbygatan i planområdets södra och respektive västra del. Bildkälla: modifierad från Sala kommun.

## Dagvattenstrategi på Silvervallen

Den aktuella dagvattenstrategin för Silvervallen formuleras i rapporten *Östra Kvarteret och Silvervallen Dagvattenhantering* (Karlsson, 2016) som är en djupare områdesspecificering och ett komplement till rapporten *Dagvattenberäkningar och Åtgärdsförslag* (Näslund et al., 2015). Dessa rapporter kompletteras ytterligare av ett flertal geotekniska utredningar som sammanfattas i *Översiktligt PM Geoteknik samt kompletteringar* (Håkansson, 2016). En riskanalys över transport av farligt gods och bensinstationer har gjorts (Lydmark & Axelsson, 2016) vilken påverkar utformningen dagvattenhanteringen på området samt en VA-utredning (Karlsson, 2016). Dagvattenhantering diskuteras även i detaljplanen (Sala kommun, 2017).

### *Dagvattenhantering*

Dagvattenhanteringen i Silvervallen är komplicerad med avseende på befintlig dagvattenhantering och de geologiska förutsättningarna på platsen. Det gråa ledningsnätet är redan hårt belastat och exploateringen kommer att innebära ökade icke-permeabla ytor vars vatten inte kommer att kunna ledas till ledningsnätet (Näslund et al., 2015). I planprogrammet listas ett antal punkter som rör dagvattenhanteringen i Silvervallen (Sala kommun, 2017). I första hand ska dagvatten tas om hand inom fastigheterna och i andra hand ska det fördröjas innan det släpps på ledningsnätet. När vattnet släpps på ledningsnätet ska det även vara rent. För att uppnå dessa punkter ska andelen hårdgjorda ytor minimeras, dagvattenhanteringen ska synliggöras, dagvattnet ska infiltrera i permeabla ytor, det ska fördröjas på gröna tak, torra dammar och öppna rännilar, plantering av grönytor ska prioriteras och gångfartsgatan närmast husen ska ingå i fördröjningsåtgärderna.

Dagvattenhanteringen i området som är i direkt anslutning till Boverian är redan projekterat och dagvattnet kommer att ledas och ansluta till ledningsnätet i Långgatan (Karlsson, 2016).

Dagvattenflödet beräknas öka med 30% efter färdig bebyggelse (Näslund et al., 2015). Med klimatfaktor inräknat blir det en ökning med 70%.

#### *Avrinningsområdets recipient*

Planområdet ingår i ett större avrinningsområde med den nära belägna Sagån som recipient. Sagån ansluter till Oxvfjärden och resten av Mälaren. Markanvändningen på området bedöms inverka negativt på recipienten (Karlsson, 2016).

Enligt Vatteninformationssystem Sverige (VISS) klassificeras den ekologiska statusen på Sagån som otillfredsställande (VISS, 2018). Rapporten *Dagvattenberäkningar och Åtgärdsförslag* har fastställt att det råder övergödda och syrefattiga förhållanden med förekomst av kiselalger (bioindikator) och otillfredsställande bottenfauna i vattendraget (Näslund et al., 2015). God ekologisk status beräknas kunna vara möjlig att uppnå 2021 om alla möjliga och rimliga åtgärder vidtas (Karlsson, 2016).

Förekomsten av bromerad difenyleter, tungmetallerna kvicksilver och bly resulterar i kemisk status ”Uppnår ej god” enligt VISS (VISS, 2018). En del av föroreningarna kommer från tätorten (1%) men merparten har sin källa i jordbruket där den huvudsakliga föroreningen är fosfor. I dagvattenutredningen över planområdet uttrycks det att dagvattenhanteringen må endast vara en mindre del av det övergripande problemet men är den del som kommunen har störst möjlighet att påverka (Näslund et al., 2015).

I rapporten *Dagvattenberäkningar och Åtgärdsförslag* dras slutsatsen att åtgärder för rening av fosfor och kväve bör täcka ett stort avrinningsområde för att kunna avskilja större mängder föroreningar (Näslund et al., 2015).

#### *Markförhållanden i Silvervallen*

Den dominerande jordarten på området är ett mäktigt lager sättningsbenägen och till viss del överkonsoliderad lera vilket innebär att byggnaderna på området kommer att behöva stödpålas (Håkansson, 2016). För övrig mark innebär detta större problem och mer krävande lösningar. Marken, som idag är mycket platt, kommer att behöva höjas för dagvattenhanterings funktion, för att lutningar mot det redan projekterade Boverian ska bli lämpliga, för att hantera extrema regn och för att kunna anlägga VA-ledningar med självfall (Karlsson, 2016). Höjning av marken innebär tillsatts av en betydande massa på redan instabil lera. Enligt planer ska marken höjas med 0,5–1 m (Håkansson, 2016; Karlsson, 2016). Sättningsberäkningar är gjorda för markhöjning på 0,5–1 m och visar på sättningar i storleksordningen 5–25 cm. I den geotekniska utredningen föreslås att sättningsegenskaper bör utforskas närmare för att optimera förstärkningsåtgärderna.

Grundvattennivån är belägen nära markytan. Utredningar gjordes i mars och provtagningar visade en nivå på 0,3 m under markytan. Med tanke på vilken tid på året som utredningen gjordes är det troligt att grundvattnet kan komma att tränga upp ovanför marknivå under årstider som generellt har högre grundvattenstånd (Karlsson, 2016).

### *Existerande förslag på dagvattenhanteringssystem*

I rapporten *Dagvattenberäkningar och åtgärdsförslag* (Näslund et al., 2015) presenteras kommundäckande förslag för dagvattenhantering samt ett antal åtgärder för specifika områden. Ringgatan bedöms ha goda förutsättningar för bra dagvattenhantering i rapporten och att åtgärdsförslaget är även tillämpligt på flera gator inom Östra kvarteret och Silvervallen. Ringgatan är i dagsläget en relativt bred gata (25 m) med en grönremsa som skiljer GC- och bilväg. Körbredden ska minskas och täckdiken ska anläggas på båda sidor om vägen. Närmast husen ska det anläggas en stenlagd rad som kan leda dagvatten (Karlsson, 2016). I denna grönremsa planeras ett trädstråk och det föreslås att denna även kan utvecklas till ett avvattnings-/infiltrationsstråk. För att på enklast sätt lyckas med detta föreslås det att vägytorna lutats mot grönremsan (med 2,5 %) där vattnet har möjlighet att infiltrera. Detta gör att både vägen och grönremsan fördröjer dagvattnet innan det har möjlighet att vidare hanteras. Perkolationskapaciteten bedöms vara dålig med tanke på grundvattennivån och leran i marken (Håkansson, 2016). Detta innebär att ledningsrör bör installeras i botten på grönremsan för att dränera bort vatten vid behov. Vid kraftiga regn bedöms den rimliga dagvattenhanteringskapaciteten i grönremsan överskridas och en plan för att bredda vattnet till dagvattenhanteringen i gatan bör inrättas. För att gynna infiltration, tillfällig magasinering och för att skapa goda förutsättningar för växter kan skelettjordar med fördel användas enligt rapporterna.

I rapporten *Östra Kvarteret och Silvervallen Dagvattenutredning* ges förslag på dagvattenlösningar på Ringgatan såväl som Väsbygatan. Väsbygatan är smalare än Ringgatan (16,5 m) och liknande dagvattenlösningar föreslås för denna: skelettjord med dränerande dagvattenledningar (Karlsson, 2016). Längs med vägens västra trottoar finns oxlar planterade och fortsatta utredningar föreslås för att undersöka lämpligheten av denna yta som infiltrationsstråk.

Det transporteras farligt gods på Väsbygatan (och genom rondellen där Ringgatan och Väsbygatan möts) vilket ska tas hänsyn till i planeringen. Den riskanalys som har utförts på Silvervallen föreslår ett antal riskreducerande åtgärder (Lydmark & Axelsson, 2016). Vid rondellen bör det enligt analysen finnas ett dike som minskar risken för att eventuellt läckage av brandfarligt ämne rinner in på planområdet. Diket kan även reducera storleken på en pölbrand samt att avåkande fordon når planområdet. De planerade trädraderna längs med Ringgatan och Väsbygatan har riskreducerande funktion. Turbulensen som genereras vid träden gör att koncentrationen av giftiga gaser och ej antända gasmoln till viss grad minskar (Lydmark & Axelsson, 2016).

## **Applicerbara dagvattenhanteringssystem på Silvervallen**

En översikt över sex typer av dagvattenhanteringssystem som gemensamt har målsättningen att bland annat hantera dagvattnet nära dess källa och minimera behovet av gråa system förklaras nedan. Med hänsyn till de begränsningar och möjligheter som dagvattenstrategin för Silvervallen visar så finns det potential att applicera en eller flera system i kombination på området. Även referensexempel (ej redovisade) informerar vilka hanteringssystem som litteraturoversikten behandlar (Dagvattenguiden, 2018).

### *Infiltration i grönyta*

Detta relativt enkla hanteringssystem bygger på att dagvattnet tillåts infiltrera genom grönytor och naturmark och kan utformas på många olika sätt beroende på förutsättningar i systemets närområde. Jordsammansättningen är av stor vikt för systemet då den avgör magasineringens volym och dräneringshastighet som vidare får konsekvenser för valet av växter (Liu et al., 2014). I denna mån bör växterna anpassas efter det växttillgängliga vattnet i marken och de fluktuationer i markvattenmängd som kan uppstå i ytan. Jorden som är högst upp i jordprofilen består lämpligen mestadels av sand under vilket ett lager av grovkornigare material säkerställer effektiv dränering. En alltför effektiv dränering riskerar att resultera i en torr jord som inte gynnar växtligheten (och därmed även får konsekvenser för dräneringskapacitet) och bevattningsåtgärder kan behöva implementeras (SVA, 2017). I kontrast är det möjligt att det understa jordlagret i den befintliga marken har låg perkolationskapacitet. Då detta är fallet behövs åtgärder för att kunna fördröja vattnet på grönytan och därmed låta det långsamt infiltrera och evaporera. Detta kan uppnås genom att skapa skålförmåningar i marken där vattnet kan koncentreras (SVA, 2017).

Grönytors reningsförmåga av partikelbundna föroreningar är god och kan variera mellan 60 och 95% rening av dagvattnet (Monteiro, 2017; SVA, 2017). Även lösta föroreningar kan renas. Grönytans växtlighet kan exempelvis ta upp näringsämnen och sedimentpartiklar i dagvattnet (Glaister, 2017). Grundvattenbildning kan vara effektiv genom grönytor. Systemet är även multifunktionellt och kan utöver hanteringen av dagvattnet bidra med grönska i stadsmiljön och de ekosystemtjänster som det medför. Användning av ytan kan påverka valet av jordsammansättningen och växtlighet och dessa bör tas i beaktning under projektering. Anläggningskostnaderna är ofta låga för denna dagvattenhanteringsmetod (SVA, 2017).

Systemet är ytkrävande i förhållande till dess effektivitet och det finns risk för att infiltrationskapaciteten försämras över tid (SVA, 2017). Denna försämring beror bland annat på hur ytan används och vilka växter som klär den och hur väl rotade de är. I fall där grönytan tar emot dagvatten med höga koncentrationer av föroreningar kan ackumuleringen av dessa ämnen i ytan göra att den inte blir lämplig för rekreationsändamål (SVA 2017). Filtreringsförmåga av N, P och sediment är en funktion av dagvattenflöde, gräsdensitet, växtval samt partikelstorlek och -densitet. Vid höga lutningar är även erosion en faktor (Pan et al., 2017; Deletic & Fletcher, 2006).

### *Infiltrationsstråk*

Infiltrationsstråk är vanliga sätt att fördröja, avleda och filtrera dagvatten på och liknar infiltrationsytor beskrivna ovan. Enligt Stockholm Vatten och Avfall (2017) utformas ett stråk lämpligen som ett dike med sluttande slänter (högst 10% lutning) och en bottenbred på 0,5 m. I längdled rekommenderas en lutning på 1%. För långa infiltrationsstråk kan terrassering vara lämpligt. För att dagvattnet ska ledas till stråket rekommenderas att stråkets övre kant höjdsätts 5 cm under omkringliggande marknivå och är 1 m djupt (SVA, 2017). Forskning på föroreningsfiltreringen av infiltrationsstråk är omfattande och visar på stor kapacitet att rena större partiklar och näringsämnen (Abu-Zreig et al., 2003; Magette et al., 1989; Pinho et al., 2008).

En vanlig komponent i infiltrationsstråk är ett dräneringsrör i botten som kopplar till dagvattennätet. Dräneringsrör kan vara lämpliga då marken under stråket har

låg perkolationskapacitet. Stråkets ytbehov kan beräknas som 10% av den hårdgjorda avrinningsarean (SVA, 2017).

### *Makadamdike*

På områden med begränsad yta för dagvattenhantering kan en förenklad version av infiltrationsytor/-stråk användas. De är vanligen utformade som infiltrationsstråk med ledningsrör i botten men består främst av olika fraktioner av makadam. Stockholm Vatten och Avfall (2017) rekommenderar ett minsta anläggningsdjup på 0,5 m och ett ytbehov på 5–10% av den hårdgjorda avrinningsarean. En nackdel med denna lösning är främst dess begränsade reningsförmåga. Få studier har gjorts som studerar reningsförmågan men den kan regleras genom vilken storlek på fraktionen av makadam som används. Mindre fraktion innebär bättre reningseffekt. En större fraktionsstorlek bestämmer stråkets infiltrationskapacitet och den fördröjande volymen. Det blir således en avvägning mellan reningsförmåga och infiltrationskapacitet och fördröjningsvolym (SVA, 2017).

### *Svackdike*

Svackdiken (även kallade skåldike eller biofilterdike) kan även beskrivas som förenklade infiltrationsstråk (SVA, 2017). Ofta placeras de i naturmark i anslutning till hårdgjorda ytor där det finns behov av att avleda dagvatten. De är höjdsatta på liknande sätt som infiltrationsstråk och implementeras ofta på platser där den underliggande marken har god perkolationskapacitet. Dräneringsrör i botten på diket kan även vara en komponent. Enligt Stockholm Vatten och Avlopp (2017) är ytbehovet ca. 10% av avrinningsytan och det minsta anläggningsdjupet bör vara 0,5 m. Svackdiken är ofta dimensionerade för att hantera höga dagvattenflöden. För att undvika erosionsskador i svackdiken bör en högsta flödes hastighet vara ca. 1 m/s. Detta kan regleras genom lutning av diket i längdled samt genom dämmen. Det går även att utforma svackdiken med strypt utlopp. Dessa behöver då ha en breddfunktion som leder bort de vattenmängder som överskrider diket kapacitet till närliggande diken eller ledningsnät (SVA, 2017).

Svackdikens reningsförmåga uppgår till 20–25 % av totalhalten suspenderat material och 20 % av metallföreningar (SVA, 2017).

### *Permeabla hårdgjorda ytor*

Ett sätt att utnyttja hårdgjorda ytor (exempelvis parkeringsplatser eller GC-vägar) till dagvattenhantering är att använda permeabel beläggning. Utformning ser ofta olika ut. Ytlaget kan bestå av genomsläpplig asfalt, armerat gräs eller stenläggning med breda fogar. Under ytlaget rekommenderar Stockholm Vatten och Avlopp (2017) att ett förstärkningslager av makadam läggs följt av ett bärlager av grövre makadam. Dräneringsrör i botten är även en möjlighet. Detta system möjliggör fördröjning, evaporation, transpiration (i viss mån), filtrering, sedimentation och magasinering av dagvatten i områden med permeabla ytor (Drake, Bradford & Van Seters, 2014; Niu et al., 2016; SVA, 2017). Niu et al. visade att 80-99% av suspenderade grova partiklar kunde filtreras av markmaterial bestående av tegel, grov sand och grus. Samma studie visade på en reningsförmåga på 9-72% av fosfor och organiska föreningar i dagvattnet (Niu et al., 2016). Enligt Stockholm Vatten och Avlopp (2017) lämpar sig inte detta system på ytor med kraftig lutning. Ytterligare en nackdel är underhållskostnaderna för systemet i samband med att

den permeabla ytan sätts igen och behöver då rengöras (SVA, 2017; Thorsell & Granath, 2016).

Ytbehovet enligt Stockholm Vatten och Avlopp är ca. 30–70 % av det hårdgjorda avrinningsområdet och det minsta anläggningsdjupet bör vara 0,5 m (SVA, 2017).

### *Skelettjord*

Ofta är den urbana miljöns underbyggnad kompakt vilket kan förhindra vatten och växters rötter från att röra sig genom marken (Bühler et al., 2017). En kreativ lösning på detta problem är så kallade skelettjordar. Det finns ett antal olika varianter men gemensamt för dem är att de består till störst del av grov makadam. Detta skapar en jord med hög hållfasthet och porositet. Hållfastheten gör att ytan ovanför skelettjorden kan användas till ändamål som involverar tunga laster, exempelvis vägar med lastbilstrafik, och den höga porositeten gör det möjligt för trädets rötter att växa där det annars inte hade varit möjligt (Bühler et al., 2017; Grabosky & Bassuk, 2016). Utöver dessa egenskaper gör skelettjordars höga porositet att de kan användas som dagvattenmagasin (SVA, 2017). De har även en föroreningsfiltrerande och -sedimenterande förmåga vars effekt är beroende på vilka fraktioner som används i jorden (Bartens et al., 2009; Page, Winston & Hunt, 2015; SVA, 2017). Page, Winston & Hunt visade att 80% av dagvattnet som passerade en vanlig skelettjord renades på NO<sub>2,3</sub>-N. Tillsammans med ytterligare en skelettjord visade de starka reningsförmågor av andra kväveföreningar, fosfor, suspenderade material, koppar, bly och zink (Page, Winston & Hunt, 2015).

De två huvudsakliga varianterna är luftig skelettjord och vanlig skelettjord (SVA, 2017). Den luftiga varianten har, som namnet tyder, en stor andel luft mellan det grova makadammet (vanligen 30%) och lämpar sig därför väl som dagvattenmagasin. Den vanliga varianten består även av grov makadam men mellan den grova fraktionen spolas jord med mindre fraktioner in vilket ger en porvolym som ofta är ca. 10 %.

Ytbehovet enligt Stockholm Vatten och Avlopp (2017) är ca. 5–20 % av det hårdgjorda avrinningsområdet och det minsta anläggningsdjupet bör vara 0,5 m. Den vattenmagasinerande volymen är ca. 33% av den totala jordvolymen om biokol används (se avsnitt om biokol nedan) (Dagvattenguiden, 2018; SVA, 2017).

Under 2015 anlades skelettjord längs med ett mittstråk på Valhallavägen i Stockholm (Dagvattenguiden, 2018). Mittstråket innehåller bilparkering, gräsmatta, GC-väg och en 100-årig lindallé. I skelettjorden användes biokol för att rena dagvatten, gynna mikroliv och lagra växttillgänglig näring.

## Biokol i dagvattenhanteringssystem

Biokol är ett kolbaserat material som både kan vara en restprodukt vid förbränning av biomassa eller en produkt som är skapad med avsikt att användas som jordförbättringsmedel (Mohanty et al., 2018). Biokol har hög porositet, låg densitet i förhållande till andra jordartssammansättningar (reduktion med upp till 7,6%), god vattenmagasinerande förmåga, god hydraulisk konduktivitet, kan filtrera och lagra föroreningar och bidrar med näringsämnen till växter (Mohanty et al., 2018; Kuoppamäki & Lähvavirta, 2016; Omondi et al., 2016). Dessa fördelar gör att materialet lämpar sig väl som substrat i diverse dagvattenhanteringssystem (Mohanty et al., 2018; Dagvattenguiden, 2018). Att växter som planteras i

biokolhaltiga jordar gynnas av substratet gör att växternas förmåga att bidra till hanteringen av dagvatten ökar vilket i sin tur gör att biokol gynnar dagvattenhantering även i förlängning. De mekanismer som bidrar till växternas välstånd är inte tydligt klarlagda och fortsatta studier i denna riktning har rekommenderats (Mohanty et al., 2018). Uppföljningsstudier på den praktiska tillämpningen behövs för validering av tekniken. Studier pågår på den biokolberikade skelettjorden på Valhallavägen som enligt Björn Embrem, medverkande i Dagvattenguiden, kommer att vara färdiga innan 2020 (Embrem, 2018).

## Syfte

De dokument som ligger till grund för utformningen av dagvattenhanteringen på exploateringsprojektet Silvervallen och kollektivt utgör en dagvattenstrategi utvärderas kvalitativt med syftet att belysa den praktiska problematiken som nödvändiggör LOD. Som teoretisk grund till utvärderingen sammanställs det aktuella vetenskapsläget för ett antal applicerbara system för LOD. Litteratursammanställningen ämnas även vara en fristående översikt över system för LOD och ska ge en inblick i det aktuella forskningsläget. Sammantaget syftar uppsatsen till att ge vägledning i det fortsatta arbetet med dagvattenstrategin på exploateringsprojektet Silvervallen och att demonstrera kopplingen mellan den aktuella vetenskapliga litteraturen och dess praktiska tillämpning.

## Frågeställning

Hur väl anpassad är dagvattenhanteringsstrategin på exploateringsprojektet Silvervallen efter de lokala och regionala behoven kopplade till hantering av dagvatten och det aktuella vetenskapsläget för applicerbara dagvattenhanteringssystem?

## Avgränsning

Ett begränsat antal dagvattenhanteringssystem undersöks i litteraturöversikten. Vilka som ingår baseras på exempel som liknar exploateringsprojektet Silvervallen och på de system som dagvattenstrategin över området föreslår. Utvärderingen av dagvattenstrategin på Silvervallen begränsas främst till Ringgatan och Väsbygatan och den grönremsa som separerar en bilväg och en GC-väg. Dessa stråk demonstrerar problematiken på planområdet och vilken roll utformningen av dagvattenhanteringen kan ha med hänsyn till problematiken. Rekommendationerna som ges på det fortsatta arbetet med dagvattenhanteringen på Silvervallen tar inte explicit hänsyn till de ekonomiska begränsningar som finns inom exploateringsprojektet. Rekommendationernas ekonomiska rimlighet baseras på referensexempel och på de system som dagvattenutredningen över området föreslår.

Dagvattenstrategin föreslår implementeringen av flera olika hanteringssystem varav regnbäddar är en av dessa. Den vetenskapliga litteraturen på regnbäddar är omfattande relativt flera andra dagvattenhanteringssystem och används med fördel i flera existerande anläggningar. Denna uppsats kommer inte att behandla detta



system pga. dess komplexitet och till förmån för ett bredare perspektiv som inkluderar flera system.

## Metod

För att kvalitativt utvärdera dagvattenstrategin på Silvervallen erhöles rapporter, utredningar och planer för området. De delar som behandlade dagvattenhantering i generell mening och de i rapporterna föreslagna systemen för dagvattenhantering sammanfattades i text och tabell. Sammanfattningen jämfördes sedan med en litteratursammanställning som bygger på material som erhöles från *Web of Science*, SLU:s sökmotor *Primo* och *Googles* huvudsakliga sökmotor och *Google Scholar* (Johansson, 2016). De huvudsakliga sökorden som användes var: review, stormwater, management, urbanization, urbanisation, green, lokalt omhändertagande och dagvattenhantering. För att litteraturoversikten skulle behandla aktuell vetenskap användes artiklar med citeringar till de artiklar som hittades med sökningarna i databaserna (Johansson, 1991).

En informell telefonintervju genomfördes med Sofia Eskilsson på Institutionen för Stad och Land på Sveriges Lantbruksuniversitet Ultuna däri Stockholm Vatten och Avlopps litteratur om olika dagvattenhanteringssystem rekommenderades (Ejvegård, 2009; Eskilsson, 2018). Den kvalitativa jämförelsen av dagvattenstrategin och litteratursammanställningen sammanfattades i text och kompletterades av en kvantitativ jämförelse av de olika dagvattenhanteringssystemens reningsförmåga, relativa magasineringsegenskaper och ytbehov enligt Stockholm Vatten och Avlopp (SVA, 2017). Systemens relativa magasineringsegenskaper baserades på dess ytvattenmagasin, porvolym och dränerbara porositet.

Referensexempel studerades (ej redovisade) med syftet att understödja valet av undersökta dagvattenhanteringssystem. För att hitta relevanta referensexempel användes hemsidan [godaexempel.dagvattenguiden.se](http://godaexempel.dagvattenguiden.se). Den hittades genom *Googles* huvudsökmotor och rekommenderades även av Eskilsson. Denna hemsida refererar till exempel där dagvattenhanteringen fungerar särskilt bra enligt Sigtuna Vatten & Rening AB, Täby kommun, Stockholm Vatten, VA-guiden AB, WRS AB och Stockholm läns landsting. Kompletterande exempel hittades dels genom författarens lokala kännedom av Uppsala och dels genom sökning i *Googles* huvudsakliga sökmotor med sökorden.

## Resultat

En sammanfattning av huvudprinciperna för dagvattenstrategin på Ringgatan och Väsbygatan presenteras inledningsvis. Huvudprinciperna för strategin och hur de

föreslås implementeras på området ställs därefter i kontrast till litteraturöversikten. Slutsatser dras baserat på litteraturöversikten och sammantaget utvärderas dagvattenstrategin. Avslutningsvis sammanfattas de applicerbara dagvattenhanteringssystemens förmåga att rena dagvatten från föroreningar, dess magasineringsegenskaper, ytbehov och kvaliteter utöver dagvattenhantering och ger därmed vägledning i valet av dagvattenhanteringssystem på Ringgatan och Väsbygatan (tabell 1 och 2).

## Utvärdering och jämförelse

Dagvattenstrategin på Silvervallen och mer specifikt på Ringgatan och Väsbygatan underbyggs av flera utredningar och rapporter. I dessa ges förslag på fortsatta utredningar över lokala sättningsrisker och mer detaljerade dagvattenhanteringsförslag (Karlsson, 2016; Håkansson, 2016). Den befintliga dagvattenstrategin är således inte färdigutvecklad. De huvudsakliga aspekterna som den befintliga strategin behandlar är: (1) rening av dagvatten till gynlandet av recipienter och (2) begränsa belastningen på det befintliga ledningsnätet/hantera dagvattnet lokalt.

Enligt sammanfattningen av rapporterna och utredningarna ska ovanstående aspekter behandlas i huvudsak genom:

- » Stenlagda rader längs med husen som bildar infiltrationsstråk.
- » Hustak som lutar mot gårdarna för att leda vatten till infiltrationstråk och för att minska dagvattenvolymer som leds till gatan.
- » Trädstråk längs med gatorna som görs om till trädbevuxna infiltrationsstråk.
- » Gatorna som ansluter till infiltrationsstråken ska lutas med 2,5% för att gynna fördröjning och evaporation av dagvatten.
- » Ledningsrör i botten på infiltrationsytor och -stråk för att undvika översvämningar.
- » Skelettjordar.
- » Infiltration genom permeabla material på hårdgjorda ytor.

De applicerbara dagvattenhanteringssystemen som utnyttjas i den befintliga dagvattenstrategin inkluderar infiltrationsstråk, infiltration i grönyta, skelettjord samt permeabla hårdgjorda ytor. De system som behandlas i litteraturöversikten i denna uppsats men som inte ingår i dagvattenstrategin är makadamdike, svackdike och biokol som substrat. Det som den aktuella litteraturen på samtliga dagvattenhanteringssystemen visar och som inte behandlas i dagvattenstrategin är:

- » Biokol som substrat (ex. i skelettjordar) (Mohanty et al., 2018; Kuoppamäkie & Lähvävirta, 2016; Omondi et al., 2016).
- » Ökad grundvattenpåfyllnad som kan leda till grundvattengenomträngning i byggnader och ovan markytan (Endreny & Collins, 2009; Locatelli et al., 2017).
- » Behov av rengöring av permeabla hårdgjorda ytor. (SVA, 2017)
- » Hur släntlutningar i och omkring dagvattenhanteringssystemen påverkar systemens erosionskänslighet (Pan et al., 2017; Deletic & Fletcher, 2006; SVA, 2017).

- » Vikten av lämpligt markuppfyllnadsmaterial för att minimera sättningsrisker (Omondi et al., 2016).
- » De föreslagna dagvattenhanteringssystemens relativa bidrag med ekosystemtjänster och avvägning mellan dem baserat på detta. (Prudencio & Null, 2018; SVA, 2017).
- » Växtval till gynnandet av dagvattenhantering (Liu et al. 2014; Prudencio & Null, 2018; Wang, Eckelman & Zimmermann, 2013).

I övrigt diskuteras inte utformningen av dagvattenhanteringssystemet på Ringgatan och Väsbygatan i förhållande till de estetiska riktlinjerna som efterfrågas i områdets detaljplan (Sala Kommun, 2016).

De två huvudsakliga aspekterna av dagvattenstrategin som identifierades ovan; rening av dagvattnet och begränsa belastningen på det befintliga ledningsnätet/hantera dagvattnet lokalt, kvantifieras inte i strategin. I tabell 1 (nedan) och tabell 2 (sida 20) sammanfattas den aktuella litteraturens både kvantitativa, såväl som kvalitativa, data över de applicerbara dagvattenhanteringssystemen. Dessa inkluderar systemens magasineringsegenskaper, andel av dagvattens totala föroreningshalt som renas, relativ magasinering förmåga, ytbehov och kvaliteter utöver dagvattenhantering.

*Tabell 1. Magasineringsegenskaper för dagvattenhanteringssystem som är dimensionerade för 20 mm magasinvolym (Stockholm Vatten och Avlopp, 2017). En rangordning presenteras i tabell 2 på sidan 20.*

	Ytvattenmagasin [mm]	Poröst lager [mm]	Dränerbar porositet [%]
Infiltration i grönyta	63	225	16
Infiltrationsstråk	205	500	15
Makadamdike	0	1000	30
Svackdike	200	0	0
Permeabla hårdgjorda ytor	0	150	30
Skelettjord	0	1000	20

## Slutsatser

Efter kvalitativ utvärdering av dagvattenstrategin på grönremsan på Ringgatan och Väsbygatan bedöms den befintliga strategins principer ta hänsyn till mycket av vad den aktuella litteraturen som sammanfattas i denna text visar. Hanteringen av dagvattnet lokalt ges uppmärksamhet och förslag på hur detta ska ske diskuteras i detalj i dagvattenstrategin. Denna uppsats visar dock att det finns utrymme för utveckling av strategin, utöver de fortsatta utredningarna som strategin förordar. Ett exempel på detta är användningen av biokol som substrat i skelettjordar såväl som i växtbäddar och grönytor av olika slag som skulle kunna användas till förmån för växters hälsa. Detta skulle gynna de ekosystemtjänster som rik växtlighet bidrar med. Även biokolets låga massa, relativt andra substrat, kan minska sättningsrisker.

Dagvattenstrategin lyfter även fram att dagvattnet ska vara rent innan det släpps på det befintliga ledningsnätet och/eller till recipienten. Vad rent innebär explicit och hur detta ska uppnås diskuteras i mindre detalj. De applicerbara dagvattensystemens reningsförmåga kartläggs i denna uppsats och visar att

Tabell 2. Kvantitativa och kvalitativa aspekter av sex dagvattenhanteringssystem.

Kvantitativa aspekter		Kvalitativa aspekter			
Andel av dagvattnets totala föroreningshalt som rensas (beroende på typ av förorening och systemets utformning)	Relativ magasineringsförmåga för anläggningstyper dimensionerade för 20 mm magasinvolym (1 år högsta relativa förmåga och 6 år minst) (Stockholm Vatten och Avlopp, 2017)	Ytbehov [% av icke-permeabel yta] (Stockholm Vatten och Avlopp, 2017)	Kvaliteter utöver dagvattenhantering	Övriga noteringar	
Infiltration i grönyta	60–95% (Monteiro et al. 2017; Stockholm Vatten och Avlopp, 2017).	4	10%	- Tillhandahållande, reglerande, kulturella och stödjande ekosystemtjänster (Liu et al. 2014).	- Erosionsrisker vid höga humingar (Stockholm Vatten och Avlopp, 2017).
Infiltrationsstråk	12–89% (Abu-Zeis, M. et al., 2003; Masetto et al. 1989; Pijpko, A.P. et al., 2008)	2	~10%	- Tillhandahållande, reglerande, kulturella och stödjande ekosystemtjänster (Liu et al. 2014).	
Maksamdiike	Få studier. Troligen begränsad (Stockholm Vatten och Avlopp, 2017).	1	5–10%		
Svackdiike	20–25% av totalhalten suspenderat material och 20% av metallföreningar (Stockholm Vatten och Avlopp, 2017).	6	~10%	- Tillhandahållande och reglerande ekosystemtjänster (Liu et al. 2014).	- Implementeras ofta på jordar med god perkolationskapacitet.
Permeabla hårdgjorda ytor	9–99% (Niu et al., 2016)	5	30–70%	- Tillhandahållande och reglerande ekosystemtjänster.	- Lämpar sig ej på ytor med kraftig huming (Stockholm Vatten och Avlopp, 2017). - Behov av rengöring av igensatt yta. (Stockholm Vatten och Avlopp, 2017).
Skelettfjord	<80% (Page et al., 2015).	3	5–20%	- Bättre växtbäsa med konsakvenser för estetisk biologisk mångfald bland annat.	- Skelettfjord med biokol (forskning pågår).

samtliga system (med undantag för makadamdike) har förmåga att rena dagvatten från flera olika föroreningar med upp till 99% effektivitet i vissa system (tabell 2). Reningsförmågan är dock starkt beroende på systemets utformning och typ av förorening (Liu et al., 2014). Fosfor identifieras i dagvattenstrategin som en huvudsaklig förorening på Silvervallen. För att rena dagvattnet på fosfor kan infiltration i grönyta användas för maximal effekt. (Deletic & Fletcher, 2006; SVA, 2017). Denna förorening har visats leda till övergödning av både de lokala och regionala vattendragen (VISS, 2018). Att dagvattenstrategin behandlar denna problematik visar på ett geografiskt förhållningssätt som sträcker sig utanför planområdets gränser.

## Diskussion

Syftet med denna uppsats var att: (1) undersöka och belysa behovet av LOD, (2) sammanställa aktuell litteratur på sex dagvattenhanteringssystem, (3) kvalitativt utvärdera dagvattenstrategin för exploateringsprojektet Silvervallen, (4) jämföra litteratursammanställningen med utvärderingen för att ge vägledning i det fortsatta arbetet med dagvattenstrategin och (5) med hjälp av ovanstående punkter visa hur den aktuella litteraturen på dagvattenhantering manifesteras i praktiken.

Uppsatsen har med stöd i aktuell och validerad forskning visat att det finns ett stort behov av dagvattenlösningar som bygger på LOD för att lösa problem som uppkommer som konsekvens av urbanisering och klimatförändringar. Litteratursammanställningen och utvärderingen av dagvattenstrategin för Silvervallen har i sin tur visat dagvattenlösningarnas potential och dess applicerbarhet i praktiken. Sammantaget har resultatet gett en bredare grund till den fortsatta utvecklingen av dagvattenstrategin för Silvervallen. Detta har gjorts genom att sammanställa och kontrastera både kvantitativa data på dagvattensystemens reningsförmåga, magasineringsegenskaper och ytbehov och systemens kvalitativa egenskaper som exempelvis dess påverkan på mänsklig hälsa. Slutsatser kan därefter dras om att en vidare utveckling av dagvattenstrategin är nödvändig för att uppfylla de behov som läggs fram i dagvattenstrategins stödjande dokument och att det finns litteratur om system för LOD som kan användas i detta syfte. Biokol som substrat, framförallt i skelettjordar, har i denna uppsats identifierats som en konkret potentiell utveckling av Ringgatans och Väsbygatans dagvattenhantering. En möjlig anledning till att biokol inte diskuteras i dagvattenstrategin är att uppföljningsstudier på tekniken inte fanns då strategin upprättades.

Sammanställningen av litteraturen över dagvattenhantering och mer specifikt över dagvattenhanteringssystemen, som sedan har använts till utvärderingen av det praktiska exemplet i Silvervallen, har i viss mån allmän applicerbarhet. De specifika problemen på Ringgatan och Väsbygatan med högt grundvatten, artesiskt tryck, sättningsrisker och behov av att höja marknivån nödvändiggör en platsspecifik lösning. Liknande exploateringsprojekt kan dock troligen få användning av tillvägagångssättet i Silvervallens dagvattenstrategi. Även den

fördjupade kunskapen som denna uppsats har sammanställt och demonstrerat applicerbarhet på kan troligen vara av användning i liknande projekt.

## Metodreflektion

För att få bättre reliabilitet i litteraturöversikten och resten av uppsatsen hade mer formella intervjuer, med ett större antal sakkunniga, troligen varit värdefullt. Det hade med stor sannolikhet även gett en tydligare bild av vad som är vedertaget inom dagvattenhantering och vilka områden inom fältet som är av mest intresse att utforska i nuläget.

För utvärdering av dagvattenstrategin hade en jämförelse med andra dagvattenstrategier varit ett bra sätt att tydliggöra potentiella tillkortakommanden.

Ytterligare en alternativ metod som möjligen hade bidragit med värdefull kunskap är explorativ gestaltning. Genom att kombinera denna metod med uträkningar på flödesmängder, magasineringssystemer och dylikt hade det gett tydligare vägledning i vilket eller vilka dagvattenhanteringssystem som var rimliga och lämpade sig bättre på Ringgatan och Väsbygatan.

Den geografiska avgränsningen var ett försök att begränsa variablerna i utvärderingen men det som denna uppsats visar är att det är svårt att begränsa dagvattenhanteringssystem till mindre ytor då de är starkt beroende av omkringliggande mark. Detta blir tydligt genom att utformningen måste anpassas efter avrinningsområdet, vilka föroreningar som finns i olika delar av avrinningsområdet, Boverians dagvattenhantering, estetiska preferenser i översiktsplanen, byggnadstyper på och omkring planområdet och klimatförändringar. Vilka aspekter av dagvattenhanteringssystemen som undersöktes hade kunnat begränsas ytterligare. Det hade resulterat i en mindre bred uppsats med mer väl underbyggda slutsatser. Reningsförmåga hade exempelvis kunnat vara det huvudsakliga fokuset. För att validera slutsatserna hade även diskussion med sakkunniga genererat säkrare resultat.

## Avslutande reflektion

Det är viktigt att poängtera att dagvattenhantering är ett brett fält och att det finns många fler systemlösningar än de som har studerats i denna text som lämpligen skulle kunna implementeras på Ringgatan och Väsbygatan. Regnbäddar är en av dessa. De slutsatser som dras häri baseras endast på de sex dagvattensystemen i texten och är därmed inte tillräckligt övergripande för att ge definitiva rekommendationer till en färdig dagvattenstrategi. Slutsatserna visar dock hur delar av den befintliga dagvattenstrategin kan utvecklas med stöd i litteraturen och hur litteraturen informerar en dagvattenstrategi.

Det är även intressant att diskutera med vilken detaljeringsgrad som en dagvattenstrategi bör utvecklas. Det är möjligt att det är lämpligast att detaljer, som exempelvis dagvattensystemets reningseffektivitet eller magasineringsegenskaper, behandlas i projekteringsskedet pga. den spetskompetens som behövs för att ta beslut om LOD. Samtidigt är det viktigt att i planeringsskedet ha kunskap om vad som är möjligt att åstadkomma med LOD. Med denna kunskap kan lämpliga resurser läggas på ett områdes dagvattenhantering. I detta sammanhang är det även

intressant att diskutera hur standardiserat ett system för LOD kan vara. Detta arbete har visat att ett stort antal platsspecifika variabler påverkar både analysen av ett områdes behov (med hänvisning till exempelvis sättningsrisker eller lämplig gestaltning) och beslutstagandet av vilka systemlösningar som är lämpliga på platsen och tillgodoser dessa behov. Vilka delar av dagvattensystemen och av dagvattenstrategin som kan standardiseras blir således en bred fråga och skulle kunna undersökas i framtida studier.

# Referenser

- Abu-Zreig, M. et al., 2003. Phosphorus removal in vegetated filter strips. *Journal of Environmental Quality*, 32(2), pp.613–9. Barbosa, Fernandes & David, 2012. Key issues for sustainable urban stormwater management. *Water Research*, 46(20), pp.6787–6798
- Basnyat, P. et al., 1999. Relationships between landscape characteristics and nonpoint source pollution inputs to coastal estuaries. *Environmental Management*, 23(4), pp.539–549.
- Bartens, J. et al., 2009. Transpiration and Root Development of Urban Trees in Structural Soil Stormwater Reservoirs. *Environmental Management*, 44(4), pp.646–657.
- Bühler, O.M. et al., 2017. Tree development in structural soil – an empirical below-ground in-situ study of urban trees in Copenhagen, Denmark. *Plant and Soil*, 413(1-2), pp.29–44
- Carey et al., 2013. Evaluating nutrient impacts in urban watersheds: Challenges and research opportunities. *Environmental Pollution*, 173, pp.138–149.
- Clark, S.E. & Pitt, R., 2007. Influencing factors and a proposed evaluation methodology for predicting groundwater contamination potential from stormwater infiltration activities. *Water environment research: a research publication of the Water Environment Federation*, 79(1), pp.29–36
- Coutts, C. & Hahn, M., 2015. Green Infrastructure, Ecosystem Services, and Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(8), p.9768.
- Dagvattenguiden, 2018. *Goda Dagvattenexempel*. Tillgänglig: <http://godaexempel.dagvattenguiden.se/> [2018-04-20]
- Deletic & Fletcher, 2006. Performance of grass filters used for stormwater treatment—a field and modelling study. *Journal of Hydrology*, 317(3), pp.261–275.
- Drake, Bradford & Van Seters, 2014. Stormwater quality of spring–summer–fall effluent from three partial-infiltration permeable pavement systems and conventional asphalt pavement. *Journal of Environmental Management*, 139, pp.69–79.
- Ejvegård, R., 2009. *Vetenskaplig metod* 4. uppl., Lund: Studentlitteratur. ss. 47–52.
- Endreny & Collins, 2009. Implications of bioretention basin spatial arrangements on stormwater recharge and groundwater mounding. *Ecological Engineering*, 35(5), pp.670–677.
- Finkenbine, J.K., Atwater, J.W. & Mavinic, D.S., 2000. Stream health after urbanization. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 36(5), pp.1149–1160
- Foley et al., 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), pp.570–574.
- Grabosky & Bassuk, 2016. Seventeen years’ growth of street trees in structural soil compared with a tree lawn in New York City. *Urban Forestry & Urban Greening*, 16, pp.103–109.
- Glaister, B. et al., 2017. Interactions between design, plant growth and the treatment performance of stormwater biofilters. *Ecological Engineering*, 105, p.21.
- Groffman, P.M. et al., 2004. Nitrogen Fluxes and Retention in Urban Watershed Ecosystems. *Ecosystems*, 7(4), pp.393–403.



- Hamel, Daly & Fletcher, 2013. Source-control stormwater management for mitigating the impacts of urbanisation on baseflow: A review. *Journal of Hydrology*, pp. *Journal of Hydrology*.
- Holme, I.M., Solvang, B.K. & Nilsson, B., 1991. *Forskningsmetodik: om kvalitativa och kvantitativa metoder*, Lund: Studentlitteratur
- Hood, M.J., Clausen, J.C. & Warner, G.S., 2007. Comparison of Stormwater Lag Times for Low Impact and Traditional Residential Development 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 43(4), pp.1036–1046.
- Horwitz, P. & Finlayson, C.M., 2011. Wetlands as Settings for Human Health: Incorporating Ecosystem Services and Health Impact Assessment into Water Resource Management. *BioScience*, 61(9), pp.678–688.
- Håkansson, H., 2016. *Översiktligt PM Geoteknik samt förslag på kompletteringar*. Uppsala: Bjerking AB (uppdragsnr. 16U29860)
- IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp
- Janke, B.D., Finlay, J.C. & Hobbie, S.E., 2017. Trees and Streets as Drivers of Urban Stormwater Nutrient Pollution. *Environmental science & technology*, 51(17), pp.9569–9579.
- Jiang, B. et al., 2016. A Dose-Response Curve Describing the Relationship Between Urban Tree Cover Density and Self-Reported Stress Recovery. *Environment and Behavior*, 48(4), pp.607–629.
- Johansson, L.-G., 2016. *Philosophy of science for scientists*, Cham: Springer. ss. 81-88.
- Karlsson, C.S. 2016. *Östra Kvarteret och Silvervallen, Dagvattenutredning*. Uppsala: WSP Sverige AB. (uppdragsnr. 10237311)
- Karlsson, C.S. 2016. *Östra Kvarteret och Silvervallen, VA-utredning*. Uppsala: WSP Sverige AB. (uppdragsnr. 10238269)
- Kjellström, E. et al., 2014. *Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget*. SMHI (Klimatologi nr 9).
- Kuoppamäki & Lehvävirta, 2016. Mitigating nutrient leaching from green roofs with biochar. *Landscape and Urban Planning*, 152, pp.39–48.
- Liu, J. et al., 2014. Review and Research Needs of Bioretention Used for the Treatment of Urban Stormwater. *Water*, 6(4), pp.1069–1099.
- Locatelli et al., 2017. Hydrologic impact of urbanization with extensive stormwater infiltration. *Journal of Hydrology*, 544, pp.524–537.
- Lydmark, S. & Axelsson, C., 2016. *Risikanalyt med avseende på bensinstationer och transport av farligt gods på väg och järnväg vid Silvervallen, Sala Kommun*. Uppsala, Göteborg, Stockholm: Geosigma AB. (uppdragsnr. 604436)
- Magette, W.L. et al., 1989. Nutrient and sediment removal by vegetated filter strips. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 32(2), pp.663–667.
- Miljö- och samhällsbyggnadsdepartementet (2005). *Allmänna Vattentjänster*. Sveriges Regering prop. (2005/06:78) s. 44
- Mohanty et al., 2018. Plenty of room for carbon on the ground: Potential applications of biochar for stormwater treatment. *Science of the Total Environment*, 625, pp.1644–1658
- Montalto et al., 2007. Rapid assessment of the cost-effectiveness of low impact development for CSO control. *Landscape and Urban Planning*, 82(3), pp.117–131.

- Monteiro, J.A., 2017. Ecosystem services from turfgrass landscapes. *Urban Forestry & Urban Greening*, 26, pp.151–157.
- Moore, T. et al., 2016. Stormwater management and climate change: vulnerability and capacity for adaptation in urban and suburban contexts. *Climatic Change*, 138(3), pp.491–504.
- Naturvårdsverket, 2018. *Sverige Miljömål*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal> [2018-04-20]
- Niu, Z.-G. et al., 2016. Stormwater infiltration and surface runoff pollution reduction performance of permeable pavement layers. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(3), pp.2576–2587.
- Näslund, M et al. 2015. *Dagvattenberäkningar och Åtgärdsförslag Sala Kommun*. Stockholm: WSP Sverige AB. (uppdragsnr. 10216154)
- Page, J., Winston, R. & Hunt, W., 2015. Soils beneath suspended pavements: An opportunity for stormwater control and treatment. *Ecological Engineering*, 82, pp.40–48.
- Pan et al., 2017. Dynamics of runoff and sediment trapping performance of vegetative filter strips: Run-on experiments and modeling. *Science of the Total Environment*, 593-594, pp.54–64.
- Payne et al., 2018. Which species? A decision-support tool to guide plant selection in stormwater biofilters. *Advances in Water Resources*, 113, pp.86–99.
- Pinho, A.P. et al., 2008. Contaminant Retention Potential of Forested Filter Strips Established as SMZs in the Piedmont of Georgia 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 44(6), pp.1564–1577
- Prudencio L. & Null S.E., 2018. Stormwater management and ecosystem services: a review. *Environmental Research Letters*, Volume 13, Number 3, 033002 DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa81a>
- Omondi et al., 2016. Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. *Geoderma*, 274, pp.28–34.
- Rauch et al., 2012. Stormwater in urban areas. *Water Research*, 46(20), p.6588.
- Roy, A. et al., 2008. Impediments and Solutions to Sustainable, Watershed-Scale Urban Stormwater Management: Lessons from Australia and the United States. *Environmental Management*, 42(2), pp.344–359.
- Sala Kommun, 2017. *Detaljplan för Del av Östra kvarteret och Silvervallen*. Sala: Samhällsbyggnadskontoret. (diariennr. 2015/232)
- SCB (2018). *Befolkningsstatistik*. Tillgänglig: <http://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/befolkning/befolkningens-sammansattning/befolkningsstatistik>. [2018-05-10]
- Shaw D. & Schmidt R., 2003. *Plants for Stormwater Design: Species Selection for the Upper Midwest Minnesota Pollution Control Agency*.
- SMHI (Sverige Meteorologiska och Hydrologiska Institut) (2015). *Hydrologiska ord och begrepp*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologiska-begrepp-1.29125> [2018-04-20]
- Smith, Tilman & Nekola, 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100(1), pp.179–196.
- SVA (Stockholm Vatten och Avlopp), 2017. *Anläggningar för kvartersmark*. Tillgänglig: <http://www.stockholmvattenochavfall.se/dagvatten/tekniska-losningar2/anlaggningar-for-kvartersmark/i-mark/> [2018-04-03]
- Suppakittpaisarn, P., Jiang, X. & Sullivan, W., 2017. Green Infrastructure, Green Stormwater Infrastructure, and Human Health: A Review. *Current Landscape Ecology Reports*, 2(4), pp.96–110.

- Thorén, H. 2015. *Ris kartläggning av skyfallssimulering centrala Göteborg*. Göteborg: Ramböll.
- Thorsell, A. & Granath, M., 2016. *Infiltrationsförsök genomsläpplig asfalt*. WRS AB.
- Tsihrintzis, V. & Hamid, A., 1997. Modeling and Management of Urban Stormwater Runoff Quality: A Review. *Water Resources Management*, 11(2), pp.136–164.
- VISS (Vatteninformationssystem Sverige) (2018). *Sagån: Hjävaströmmen, Sagån*. Tillgänglig: <http://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterMSCD=WA79517849> [2018-05-04]
- Wang, R., Eckelman, M.J. & Zimmerman, J.B., 2013. Consequential environmental and economic life cycle assessment of green and gray stormwater infrastructures for combined sewer systems. *Environmental science & technology*, 47(19), pp.11189–98.
- Wong, T.H.F. & Brown, R.R., 2009. The water sensitive city: principles for practice. *Water & Science Technology*, 60(3), pp. 673-682.
- Zellner et al., 2016. Exploring the effects of green infrastructure placement on neighborhood-level flooding via spatially explicit simulations. *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, pp.116–128.
- Åstebøl, Hvitved-Jacobsen & Simonsen, 2004. Sustainable stormwater management at Fornebu—from an airport to an industrial and residential area of the city of Oslo, Norway. *Science of the Total Environment*, 334, pp.239–249.
- WPP (World Population Prospects) (2017). United Nations, Department of Economics and Social Affairs, Population Division. *World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables*. Working Paper No. ESA/P/WP/248
- WUP (World Urbanization Prospects) (2014). United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2014 revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352)*

## Icke publicerat material

- Embrem, B. 2018. Dagvattenguiden. epost [2018-05-17]
- Eskildotter, S. 2018. LARK/MSA. Sveriges Lantbruksuniversitet Ultuna, Institutionen Stad och Land. telefonsamtal [2018-04-20]