

Examensarbete INES nr 356

Hållbar dagvattenhantering i Stockholms stad

En riskhanteringsanalys med avseende på långsiktig hållbarhet av
Stockholms stads dagvattenhantering i urban miljö.

Tara Mellquist

2015

Institutionen för

Naturgeografi och Ekosystemvetenskap

Lunds Universitet

Sölvegatan 12



Hållbar dagvattenhantering i Stockholms stad

En riskhanteringsanalys med avseende på långsiktig hållbarhet av
Stockholms stads dagvattenhantering i urban miljö.

Tara Mellquist

Kandidatuppsats 15 högskolepoäng vid Institutionen för
Naturgeografi och Ekosystemvetenskap
Lunds Universitet

Handledare: Anna Maria Jönsson
Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap
Lunds Universitet

Förord

Motivationen och intresset bakom denna kandidatuppsats har varit att få en större förståelse hur Stockholm stad arbetar med klimatfrågor, framförallt nederbörd i stadens urbana miljöer. Under arbetets gång har jag lärt mig mycket om vattenhanteringen i Stockholms stad men också insett komplexiteten och värdet av ett välfungerande VA-system.

Ett stort tack till min kunniga handledare Anna Maria Jönsson som bistått med bra feedback och idéer under min skrivprocess. Tack till Johan för din omtanke och att du utmanar mig. Framförallt vill jag rikta ett stort tack och varma tankar åt mina fantastiska föräldrar som alltid ställer upp och uppmuntrar i alla situationer.

Abstract

The City of Stockholm can be characterized as evolving and changing while simultaneously, the region is being affected by climate change in accordance to RCP 4.5 and RCP 8.5. According to climate scenarios one of the effects of a changing climate in the region of Stockholm is an increase in precipitation and changes in precipitation patterns. This has prompted an interest in acquiring an in-depth understanding of climate adaption measures in the City of Stockholm. The purpose of this thesis has been to investigate, from a climate change perspective, whether the municipality of Stockholm's surface runoff management is sustainable in the region's urban environment. Sustainable surface runoff management can be defined by the interplay between its capacity, the urban environment and water quality. The need for climate change adaptation is based on the level of risk the municipality faces as a result of climate change. Therefore, the probability of altered precipitation patterns, the degree of exposure facing increased precipitation and the city's vulnerability has been analyzed to determine Stockholm's climate risks. Scenarios illustrating the probability of altered precipitation patterns are based on RCP 4.5 and RCP 8.5, which indicate an increase in precipitation and extreme weather in the future. Exposure and vulnerability are increased due to urban densification caused by a rapid increase in population, as well as impacts on existing rivers and inland water bodies, technical supply systems and infrastructure. The City of Stockholm's surface runoff management consists of various forms of open surface runoff solutions and the municipality's conventional surface runoff system. As the study shows the municipality is characterized by increased climate risks, therefore it is essential the surface runoff management functions to reduce negative effects of climate change. In accordance with the Swedish Water & Wastewater Association guidelines, the sewage system in the municipality is dimensioned to manage rainfall with a return period of 10-years (based upon precipitation between years 1961-1990), which in turn results in precipitation exceeding the return period of 10-years or more unable to infiltrate Stockholm's existing surface runoff systems, causing the sewage system to flood. The reason to this is most likely the lack of measures taken to increase the capacity of the municipality's surface runoff systems or sufficiently integrating open surface runoff systems in the urban environment. To achieve sustainability of the City of Stockholm's surface runoff management further improvements are required such as increased use of height subsidence, fewer paved surfaces and more open surface runoff systems.

Keywords: Surface runoff, City of Stockholm, RCP, open surface runoff, sewage system, urban densification, paved surfaces

Sammanfattning

Stockholm stads stadsbild utvecklas och förändras samtidigt som regionen påverkas av en klimatförändring med hänsyn till RCP 4.5 och RCP 8.5. Enligt klimatscenario är en effekt av ett förändrat klimat ökad nederbörd och ett förändrat nederbördsmönster i Stockholmsregionen. Däri grundas ett intresse att få fördjupad förståelse av vilka klimatanpassningsåtgärder som implementeras i Stockholms stad. Syftet med uppsatsen har varit att undersöka om Stockholms stads dagvattenhantering är långsiktigt hållbar ur ett klimatförändringsperspektiv i urban miljö. En långsiktigt hållbar dagvattenhantering definieras av samspelet mellan kapacitet, stadsmiljö och vattenkvalitet. Behovet av klimatanpassningsåtgärder grundas i hur hög risk kommunen står inför att påverkas av en klimatförändring. Därför har scenarier för ett förändrat nederbördsmönster, exponeringsgrad inför ökad nederbörd och stadens sårbarhet analyserats för att fastställa Stockholms stads klimatrisker. Klimatscenario som illustrerar sannolikheten för ett förändrat nederbördsmönster; baserade på RCP 4.5 och RCP 8.5, indikerar en ökad nederbörd och extremväder i framtiden. Exponeringen och sårbarheten blir förhöjd då staden förtätas i samband med att befolkningsandelen ökar, samt att det sker en tydlig påverkan på existerade vattenflöden, tekniska försörjningssystem och befintlig infrastruktur. Stockholms stad dagvattenhantering utgörs av olika former av öppna dagvattenlösningar och det konventionella dagvattensystemet. Då kommunen präglas av höga klimatrisker är det viktigt att dagvattenhanteringen i kommunen är välfungerande för att minska negativa effekter vid ett förändrat klimat. I enighet med Svenskt Vattens dimensioneringsanvisningar är stadens VA-system anpassat för vattenflöden med en återkomsttid på 10 år (baserat på tidsperioden 1961 – 1990). Detta resulterar i att nederbörd som överstiger regnmängden för ett 10-årsregn eller mer inte kan omhändertas av Stockholm stads befintliga dagvattensystem, vilket kan leda till översvämningar. En bakomliggande orsak är att arbetet kring stadens dagvattenhantering främst legat på att bibehålla hög vattenkvalitet utan att öka kapaciteten av stadens dagvattenförändesystem eller i tillräckligt stor utsträckning integrera dagvattensystem i stadsmiljön. För en långsiktig hållbarhet av Stockholms stads dagvattenhantering krävs det ytterligare förbättringar i form av fler höjdsättningar, mindre andel hårdgjorda ytor och fler öppna dagvattenförändesystem.

Nyckelord: *Dagvatten, Stockholms stad, RCP, LOD, VA-system, förtätning, hårdgjorda ytor*

Innehållsförteckning

Introduktion	7
Syfte	8
Avgränsningar	8
Bakgrund	9
IPCC	9
SMHI	10
Kommuner	10
Representive Concentration Pathways	11
Material och metod	12
Analys	14
1. Problem och klimatanpassning	14
2. Risk toleransnivå och beslutsfattande kriterier	16
3. Klimatrisiker i Stockholm	17
3.1 Sannolikhet för extrem nederbörd?	17
3.2 Hur exponerat är Stockholm för ökad nederbörd?	19
3.3 Hur sårbart är Stockholm?	20
4. Dagvattenhantering	22
4.1 Vatten- & avloppssystem	23
4.2 Öppna dagvattenlösningar	23
5. Stadens konventionella dagvattensystem	25
6. Öppna dagvattenlösningar i Stockholms stad	27
6.1 Kvalitetshöjande åtgärder på allmän platsmark	27
6.2 LOD på privatmark och allmänna ytor	28
6.3 Stadens dagvattenstrategi	30
7. Kritik av dagvattenhantering i Stockholms stad	32
8. Utvärdering och uppföljning	34
Diskussion	36
Slutsats	40
Referenser	42

Inledning

Denna uppsats skrivs i en tid när klimat- och miljöfrågor i Stockholms stad är ett uppmärksammat område. Politiska partier med uttalad klimat- och miljöpolitik har efter riksvalet 2014 fått större inflytande på regeringsnivå och i Stockholms stadsfullmäktige. Stockholm är internationellt beryktat för sitt miljöarbete och klimatinsatser, och var den första staden att utses till miljöhuvudstad i Europa år 2010 och årets klimatstad år 2014 av Världsnaturfonden (WWF 2014). Stockholms stad är en kommun som uppvisar ett påbörjat klimatanpassningsarbete med etableringen av klimatpositiva stadsdelar och olika politiska program, exempelvis Stockholm stads miljöprogram 2012–2015 (Stockholms stad 2012). I miljöprogrammet ingår ett delmål som innefattar att vid förändringar i mark- och vattenområden ska dessa utformas för kommande klimatförändringar; *”Förväntade förändringar för Stockholm är exempelvis ökad och mer intensiv nederbörd, förhöjd havsvattennivå samt fler värmeböljor och längre vegetationsperiod. Stadens arbete med ekologiska underlag, grönytefaktor och hållbar dagvattenhantering utgör ett viktigt stöd i arbetet”* (Stockholms stad 2012).

En konsekvens av klimatförändringen är effekten på nederbörd, varvid Stockholms län upplever en ökad nederbörd, ett förändrat nederbördsmönster under året och mer extremväder (Stockholms stad 2013). Detta kommer med största sannolikhet ha en stor inverkan på befintlig stadsmiljö, infrastruktur och stadens vattenresurser. Följder av en ökad och mer intensiv nederbörd i urbana miljöer har uppmärksamrats av FN:s klimatpanel *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). I den femte och senaste rapporten publicerad av organisationen poängteras det att effekter av en klimatförändring påverkar alla städer med storstadsmässig karaktär; *”Urban climate change risks, vulnerabilities, and impacts are increasing across the world in urban centers of all sizes, economic conditions, and site characteristics”* (Revi et al. 2014).

Stockholms stad präglas av en befolkningstillväxt som sätter press på kommunen att bygga bostäder och förtäta staden. I takt med att stadens utbyggnad och förtätning ökar andelen hårdgjorda ytor, vilket påverkar dagvattnets naturliga infiltration och ger ett förändrat avrinningsförlopp (Stahre 2004). Hårdgjorda ytor till följd av en urbanförtätning resulterar i att större mängder vatten leds till stadens reningsverk och recipienter vilket påverkar vattenkvaliteten av renat vatten och råvattenkvaliteten i kommunens vattentäkt Mälaren (Stockholm stad 2013). Häri ligger intresset av att undersöka om Stockholm stad anpassningar till ett förändrat nederbördsmönster i stadens urbana miljöer är tillräckliga och om stadens dagvattenhantering är en hållbar ur ett klimatförändringsperspektiv.

Syfte

Enligt uppdaterade klimatscenarion och prognoser finns en överhängande sannolikhet att Stockholms stad kommer uppleva en förändring i nederbörd framöver, vilket förstärker relevansen med att undersöka hur staden arbetar med nederbördsrelaterad klimatanpassning. Syftet med uppsatsen är att undersöka om Stockholms stads dagvattenhantering i urban miljö är en långsiktigt hållbar ur ett klimatförändringsperspektiv.

Avgränsningar

- Begreppet hållbar utveckling definieras: *"en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov"* (NE 2014).
- Uppsatsen undersöker specifikt effekter av klimatförändring i form av ökad nederbörd.
- Stockholm innefattar hela Stockholms kommun och benämns även Stockholms stad i uppsatsen.
- Med Stockholms urbana miljöer menas bebyggda områden i form av tätorter, stadsmiljöer, grönytor, industrimark och infrastruktur.
- Beslutskriterier och toleransnivån för kommunens dimensionering av vatten- och avloppssystemets (VA-system) ledningsnät baserat på Stockholms stads kommunala direktiv. Direktiven grundas på dimensioneringsanvisningar från Svenskt Vattens publikation P90 för VA-system i urbanmiljö vilket utgår från vattenflöden med en återkomsttid på 10 år.

Bakgrund

IPCC

Den forskning som finns i dagsläget visar att det med största sannolikhet pågår en global klimatförändring, detta enligt FN:s klimatpanel Intergovernmental Panel on Climate Change (Revi et al. 2014). Koncentrationen av växthusgaserna; koldioxid, metan och dikvävemonoxid (lustgas) i den globala atmosfären har ökat markant som ett resultat av mänsklig aktivitet sedan år 1750 och överskrider förindustriella värden, baserat på data från iskärnor som kan ge en bild av atmosfärens sammansättning flera tusen år bakåt i tiden (IPCC 2007). Orsaken till en pågående klimatförändring är, enligt den forskning IPCC har tagit del av, att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären har ökat, atmosfären och haven har gradvis ökat i temperatur vilket har lett till att snö och is har minskat i mängd, samtidigt som havsnivån har stigit (Revi et al. 2014). Dessutom har det skett förändringar i den globala vattencykeln och i förekomsten av extremväderförhållanden.

Baserat på ny klimatdata har bevisning för en pågående klimatförändring fortskridit sedan IPCCs förra rapport *Fourth Assessment Report (AR4)*, (IPCC 2013). I IPCCs femte och senaste rapport *Fifth Assessment Report (AR5)* går det att läsa om klimatförändringar och aspekter av dess inverkan, anpassning och sårbarhet på människan och miljö (Revi et al. 2014). I AR5 rapporten poängteras det att mänsklig påverkan är med största sannolikhet anledningen bakom en global klimatförändring; *“It is extremely likely that human influence has been the dominant cause of the observed warming since the mid-20th century”* (Revi et al. 2014). I den femte rapporten (AR5) har relevanta och aktuella studier sammanställts inom klimatforskning tillsammans med uppdaterade klimatscenarier som kallas Representative Concentration Pathways (RCP) (Stockholms stad 2013). RCP används för att illustrera hur växthuseffekten kan öka i framtiden baserat på strålningsdrivning och dess effekter. Dessutom presenteras ECP (Extended Concentration Pathways) som illustrerar klimatscenarion fram till år 2300.

I åttonde kapitel (AR5, Working Group 2) beskrivs klimatförändringar och dess inverkan på urban miljö (Revi et al. 2014). Enligt rapporten är mer än hälften av den globala populationen, och nästan all form av infrastruktur och ekonomisk aktivitet, samlad i urbana miljöer. Risker förknippade med klimatförändring i urbaniserade områden ökar, vilket rimligtvis innebär att konsekvenser av dessa risker ökar i form av exempelvis förhöjd havsnivå, stormfloder, värmeböljor, extrem nederbörd, översvämningar, ras och skred (Revi et al. 2014). Konsekvenserna har en enorm inverkan på människans hälsa och levebröd, länders ekonomi samt ekosystem. Dessutom har en förändring i klimatet en stor inverkan på länders fundamentala infrastruktur och samhällsgrunder, exempelvis vatten- och avloppssystem, elförsörjning, transport- och kommunikationssystem, samhällstjänster så som sjukvård, samt ekosystemtjänster. I kombination med att sociala, ekonomiska och ekologiska

hållbarhetsfaktorer påfrestartas av ett förändrat klimat påverkas också människor och samhällen negativt.

Vid beslutsfattande på regional- och lokalnivå anses utveckling och klimatanpassning ofta vara två skilda utmaningar (Revi et al. 2014). Sverige och Finland är de två medlemsländer i Organisationen för ekonomiskt samarbete och utveckling (OECD) som anses ha ett innovativt och integrerat klimatarbete och klimatpolitik på regional- och lokalnivå, som dessutom är statligt finansierad. Enligt OECD framstår Japan och Sydkorea som de två OECD-länder som, förutom Sverige och Finland, aktivt försöker integrera klimatfrågan inom stadsplanering på regional- och lokalnivå (OECD 2010). Detta är ovanligt i OECD länder, där normen är att stadsutveckling och klimatanpassning är åtskilda arbetsområden. I rapporten framhävs forskning som påvisar att en hållbar anpassning grundas och utvecklas positivt tillsammans med politik som aktivt kämpar mot fattigdom, matbrist och katastrofriskreducering.

SMHI

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) är en expertmyndighet under Miljödepartementet som arbetar med hydrologi och metrologi (Regeringskansliet 2009). Myndigheten tar fram prognoser, beslutsunderlag, klimatscenarier och utredningar med hjälp av avancerad teknik, statistik, beräkningsmodeller och forskning inom klimat, väder och hydrologi. På uppdrag av regeringen har ett nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning och tillhörande informationsforum; Klimatanpassningsportalen, upprättas vid SMHI (SMHI 2014). Syftet med kunskapscentrumet är att samla och tillgängliggöra relevant forskning och information kring klimatanpassning på regional, nationell och internationell nivå samt bistå som ett mötesforum för olika aktörer inom klimatanpassning.

Klimatanpassningsportalen baseras på ett samarbete mellan sjutton statliga myndigheter och Sveriges kommuner och landsting. Dessutom ingår den svenska klimatanpassningsportalen i ett samarbete med EU-klimatanpassningsportal och övriga nordiska länders klimatanpassningsportaler. Enligt SMHI ska Klimatanpassningsportalen uppdateras kontinuerligt i takt med att anpassningsarbetet fortgår och har som syfte är att agera som stöd till samhället för klimatanpassning nu och i framtiden.

Kommuner

En svensk kommun är den administrativa enhet med mest insyn inom respektive ort och med stor lokal kunskap om risk- och sårbarhet, teknisk infrastruktur, kris och beredskap samt ansvar för flera lagstiftningsområden (MSB 2014). Därför har kommuner ett stort ansvar gällande klimatanpassning eftersom de är delaktiga i flera verksamheter som behöver klimatanpassas, exempelvis avloppsanläggningar, energi- och avfallsanläggningar och vårdanläggningar (Stockholms stad, 2013). Kommuner arbetar också med krisberedskap och räddningstjänst vilket är ett viktigt element vid utarbetandet av risk- och sårbarhetsanalyser i klimatanpassning. Eftersom kommuner har det övergripande ansvaret för granskning och

godkännande av översiktsplanering, detaljplanering samt vid bygglov, har kommuner möjlighet att arbeta aktivt och integrerat med klimatanpassning i respektive ort.

Inom de lagstiftningsområden kommuner är bundna till innefattas det att upprätta vissa åtgärder som reducerar risker och ökar beredskap vid översvämningar, samt bistå invånare med relevant service (MSB 2014). Mark- och vattenanvändning samt bebyggelseplanering är en del av kommunernas ansvarsområde vilket har en stor påverkan på den lokala vattenkvaliteten och en hållbar vattenanvändning. Kommuner har det övergripande ansvaret att förse invånare med rent dricksvatten, rening av avloppsvatten och miljötillsyn vilket innefattar ett stort ansvar för nederbördrelaterade anpassningsåtgärder (Vattenmyndigheten 2014).

Representative Concentration Pathways

För att ge en större förståelse kring klimatförändringens konsekvenser kommer inledningsvis IPCCs klimatscenario som uppsatsen baseras på förklaras närmare. IPCC har tidigare beräknat scenarier baserat främst på utsläpp av växthusgaser medan nya RCP scenarion beräknas utifrån strålningsdrivning (Kjellström et al. 2014). Äldre klimatscenarier har grundas på unika socioekonomiska scenarier eller utsläppsscenarioer som utformats genom antaganden om exempelvis framtida koncentrationer av växthusgaser, utvecklingen inom världens ekonomi, globalisering, befolkningstillväxt och omställning till miljövänlig teknik. De nya klimatscenarioerna, Representative Concentration Pathways (RCP), baseras istället på antagande kring hur växthuseffekten kan öka i framtiden, baserat på kombinationer av olika faktorer; ekonomisk, teknologisk, demografisk och politisk framtida utveckling. Strålningsdrivning och dess effekter förstärks i takt med ökat växthusgasutsläpp (Kjellström et al. 2014).

RCP är beräknat för fyra olika scenarier (2.6, 4.5, 6, 8.5) där det representativa (R, representative) innebär att varje enskild RCP representerar en större uppsättning scenarier (Kjellström et al. 2014). Koncentration (C, concentration) anger styrkan och utvecklingsbanor (P, pathways) innebär att klimatscenarioet ska beskriva strålningsdrivningsnivåer och tidsloppet fram till år 2100. De RCP:er som ligger till grund för uppsatsens analys är 4.5 och 8.5 och beräknar utifrån klimatdata två olika globala klimatscenarion till år 2100. 4.5 och 8.5 representerar koncentrationen av växthusgaser i atmosfären år 2100 som resultat av strålningsdrivning. Halterna av växthusgaser uppmätt före industrialismen används som referens. Det näst lägsta värdet representerar en strålningsdrivning på 4.5W/m² år 2100 och det högsta värdet på 8.5W/m² år 2100.

Material och metod

Litteratur och källor som hänvisas till i uppsatsens baseras främst på rapporter skrivna på uppdrag av Stockholms stad, rapporter från IPCC samt information från SMHI. Övrig litteratur kommer från relevanta rapporter, artiklar och hemsidor skrivna av olika myndigheter och organisationer. Figur 2 och 3 illustrerar RCP 4.5 och 8.5 mellan 1961-2100 och visar på en beräknad förändring av årsnederbörd jämfört med en standardiserad referensperiod. Brukligt i klimatstudier är att framtida klimatmodellprojektioner jämförs med medelvärden för en längre period, en referensperiod. Standardvärden enligt internationell praxis för en referensperiod är åren 1961-1990 (Kjellström et al. 2014). Figurer 2 och 3 är hämtade från SMHIs hemsida och arkiv för klimatforskning. För tillfället är RCP beräkningar endast tillgängligt för temperatur och nederbörd. Scenarier har gjorts för alla RCP:er men RCP 4.5, det näst lägsta nivån av strålningsdrivning, och RCP 8.5, den högsta nivån av strålningsdrivning, används i denna uppsats.

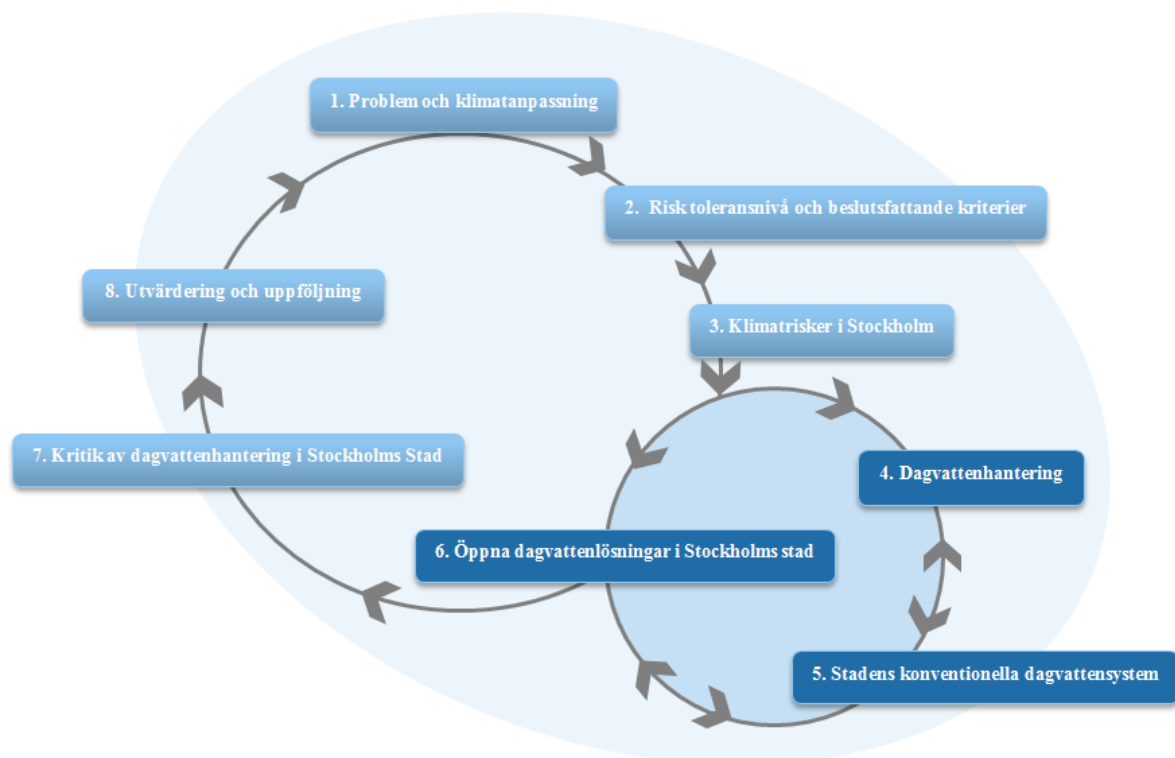
Min analys baseras på en metod för att granska risker, osäkerhet och beslutsfattande inför anpassningsåtgärder. Metoden benämns *Risk Framework metod*, härefter; ”riskhanterings ramverk” och är utvecklad av *United Kingdom Climate Impacts Programme (UKCIP)* (Willows et al. 2003). Metoden beskrivs i UKCIPs rapport; *Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making* från år 2003 och används främst för att underlätta för företag och organisationer vid utformningen av klimatanpassningsåtgärder, men har i detta fall används som inspiration till analysen vid undersökningen av klimatanpassningsåtgärder i Stockholms stad.

Ramverket som har en *top-down approach* har använts som mall för uppsatsens analysavsnitt. *Top-down approach* är ett väletablerat förhållningssätt inom klimatforskning och används för att utvärdera sannolika effekter av en klimatförändring inom specifika klimatscenarion. Detta görs genom att applicera en klimatanpassningsmetod på ett specifikt fall, för att sedan utvärdera om den givna metod faktiskt minskar de negativa effekterna av en klimatförändring (Willows et al. 2003). Metoden är uppdelad i åtta steg som har omformulerats för att direkt relatera till studiens syfte. Analysen består av följande avsnitt:

1. Problem och klimatanpassning.
2. Risk, toleransnivå och beslutsfattande kriterier.
3. Klimatrisker i Stockholm.
4. Dagvattenhantering.
5. Stadens konventionella dagvattensystem
6. Öppna dagvattenlösningar i Stockholms stad
7. Kritik av dagvattenhantering i Stockholms stad.
8. Utvärdering och uppföljning.

Genom att analysavsnittet strukturerats med ett riskhanteringsramverk underlättas undersökningen kring hur dagvattenhantering har integrerats i Stockholms urbana miljö och om dagvattenhanteringen är hållbar ur ett klimatförändringsperspektiv. Primärt etableras behovet av klimatanpassning och i det andra analysavsnittet risk, toleransnivå och beslutsfattande kriterier, se figur 1. Risk kan i kontexten definieras utifrån den sannolikhet, exponeringsgrad och sårbarhet som ökad nederbörd kan medföra.

I analysens tredje avsnitt har risker till följd av klimatförändringar belysts, detta innebär en närmare undersökning av sannolikhet, exponering och sårbarhet i Stockholms stad till följd av ökad nederbörd och extremväder. I avsnitt fyra beskrivs dagvattenhantering översiktligt och i avsnitt fem och sex beskrivs dagvattenhanterings två huvuddelar, VA-system och öppna dagvattenlösningar. Eftersom hållbar dagvattenhantering baseras på samverkan mellan öppna dagvattenanläggningar och stadens konventionella dagvattensystem är dessa avsnitt illustrerade med pilar som går åt båda håll och som en egen subgrupp i analysens riskhanterings ramverk. I det femte avsnittet beskrivs stadens VA-system närmare, systemet utgör det konventionella dagvattensystemet och i det sjätte avsnittet redogörs Stockholms stads öppna dagvattenlösningar vilket är uppbyggt av kvalitetshöjande åtgärder, LOD och stadens *dagvattenstrategi*. Analysen fortsätter i avsnitt sju med ett kritiskt inslag mot den befintliga dagvattenhanteringen och slutligen undersöks granskning och uppföljning av arbetet kring stadens dagvattenstrategi i avsnitt åtta.



Figur 1; Illustration av analysens riskhanterings ramverk, inspirerad av UKCIPs *Risk Framework metod*.

Analys

Problem och klimatanpassning

Framtidens projektioner och klimatstudier visar på att Stockholms län kan komma att uppleva en ökad nederbörd och mer extremväder (Stensen et al. 2010). Extremväder kan beskrivas som en regnmängd som väsentligt överskrider den normala mängd nederbörd, över en specifik tidsperiod (Östlund et al. 2011). Enligt SMHI kommer en pågående klimatförändring få en inverkan på Stockholm och dess regionala klimat (Stensen et al. 2010). RCP 4.5 och RCP 8.5 utgör klimatscenarierna i uppsatsen och är beräknade för Stockholms län, vilket innefattar bland annat Stockholms stad, och beskrivs närmare i analysens tredje avsnitt *Klimatrisker i Stockholm*. Enligt klimatscenarier kommer Stockholms län uppleva en ökad nederbörd och ökad temperatur.

I Stockholms stad har nederbördsmängden i nutid uppmätts till ca 550 mm/år (Stockholms stad 2013b). Ungefär 450-500 mm/år av denna nederbörd benämns som dagvatten eftersom nederbörden rinner av hårdgjorda ytor, medan resterande nederbörd avdunstar. Som tidigare konstaterat kommer ett förändrat klimat påverka nederbörden och en successiv nederbördsökning fram till år 2100. Detta kommer att ha en inverkan på befintlig stadsmiljö och på dagvattenhanteringen eftersom intensiva regn förutspås bli vanligare och större. Enligt Länsstyrelsen i Stockholm förväntas mängden dygnsnederbörd med en återkomsttid på 100 år öka med 20 % i slutet av seklet i jämförelse med referensperioden 1961-1990 (Östlund et al. 2011).

Kommunen kommer i framtiden uppleva förändringar i korttidsnederbörden, i slutet på seklet kan andelen längre regn (varaktighet på mer än 30-minuter) öka i mindre grad medan kortare regn (varaktighet på kortare än 30-minuter) förväntas öka med 10-20 % (MSB 2013). Dessutom förutspås korta, intensiva regn med en återkomsttid på 10 år öka med 23 % fram till år 2071-2100. Stockholms stad har konstaterat i sin rapport *Riskbild: Klimatförändringar och Stockholms stads sårbarhet* att i nuvarande sekel är översvämningsrisken en konsekvens av ökad nederbörd, medan en ökad havsnivå med största sannolikhet ökar risken för översvämmingar i nästa sekel (Stockholms stad 2013c).

Ett kort och intensivt regn kan vara påfrestande och medföra konsekvenser på en stad med utpräglad stadsbebyggelse (Stockholms stad 2013c). Kort och intensivt regn ökar risken för översvämmingar och vattnets möjlighet till avrinning, ökad nederbörd kan ha en negativ inverkan på städer eftersom dessa sällan har dimensionerat ledningsnät och dagvattensystem för att hantera vattenmängderna. Dessutom ökar översvämningsrisken med mängden hårdgjorda ytor, lågt liggande och instängda områden, och områden med brist på grönytor.

Ett kort och intensivt regn med stora konsekvenser drabbade Stockholms län sommaren 2014 när ett kraftigt åskoväder drog in över regionen (SvD 2014). I Åkersberga, strax utanför

Stockholm, uppmättes en nederbördsmängd på 70 mm under en halvtimme, jämförelsevis är den genomsnittliga nederbörden per månad i Stockholm ca 50 mm, enligt tidsperioden 1961-1990 (SMHI 2014b). Om 50 mm regn eller mer faller under en timme, alternativt 1 mm per minut, betraktas nederbörden som ett skyfall. Skyfallet i Stockholmsområdet hade stora konsekvenser på infrastruktur och byggnader då vattenmängder trängde in i flera tunnelbanestationer och orsakade stopp för Stockholms lokaltrafik och regional tågtrafik vid Stockholms centralstation. Ovädret resulterade inte bara i ett skyfall utan också starka vindar som fick en passagerarfärja att slitas loss från Stockholms stadsgårdskaj och i fler sjöräddningar av privatpersoner i småbåtar uti Stockholmskärgård.

Stockholms stad påverkas onekligen av klimatförändring, för att hantera negativa konsekvenser av den nuvarande och en framtida klimatförändring kan olika former av klimatanpassningsåtgärder inrättas i samhället (Stockholms stad 2013). Problematiken i en stad med många hårdgjorda ytor och underdimensionerat dagvattenförändesystem är att vid ökad nederbörd och extremväder försvåras vattnets förmåga till avrinning och infiltration. Därför är det viktigt för Stockholms stad att klimatanpassa dagvattenhanteringen i stadens exploaterade områden för att undvika översvämningar, en negativ inverkan på råvatten kvalitet och skador på befintlig bebyggelse och infrastruktur.

Risk toleransnivå och beslutsfattande kriterier

De beslutsfattande kriterier uppsatsen utgår från är Stockholms befintliga kommunala direktiv angående ledningsnätets dimensioneringar. Direktiven baseras på Svenskt Vattens anvisningar som anges i Svenskt Vattens publikation *Dimensionering av allmänna avloppsledning - P90* som utkom år 2004 (Svenskt Vatten 2014).

De beräkningar som VA-systemet är uppbyggt kring baseras på specifika dimensionsanvisningar från P90 för urbanmiljö. Enligt publiceringen ska VA-systemet dimensioneras efter vattenflöden med en återkomsttid på 10 år (Boverket 2010). Det är alltså vattenflöden med en återkomsttid på 10 år (baserat på tidsperioden 1961 – 1990) som utgör grunden för risk och toleransnivån i uppsatsen. Stockholms stad är huvudman för de allmänna vatten- och avloppssystemen och Stockholm Vatten AB (Stockholm Vatten) äger och sköter stadens vatten- och avloppssystem. Stockholms stad har implementerat dessa dimensioneringsanvisningar som således är ett krav vid byggandet av nya ledningssystem och vid restaureringen av befintliga ledningssystem.

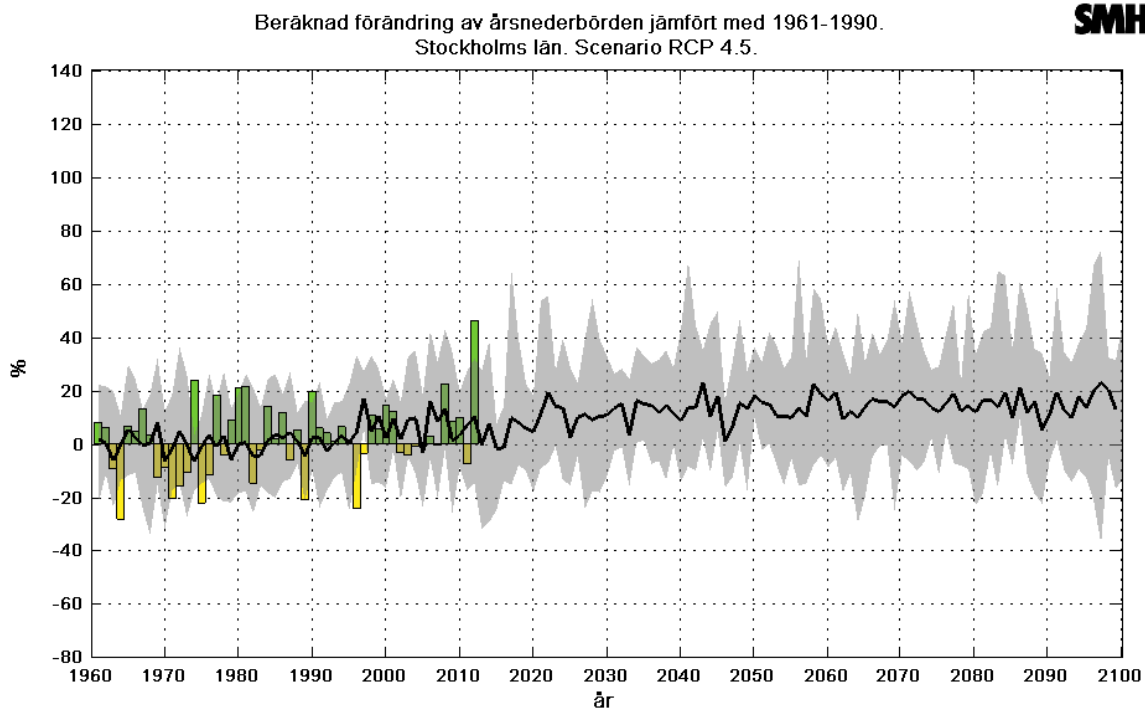
Klimatrisker i Stockholm

Sannolikhet för extrem nederbörd?

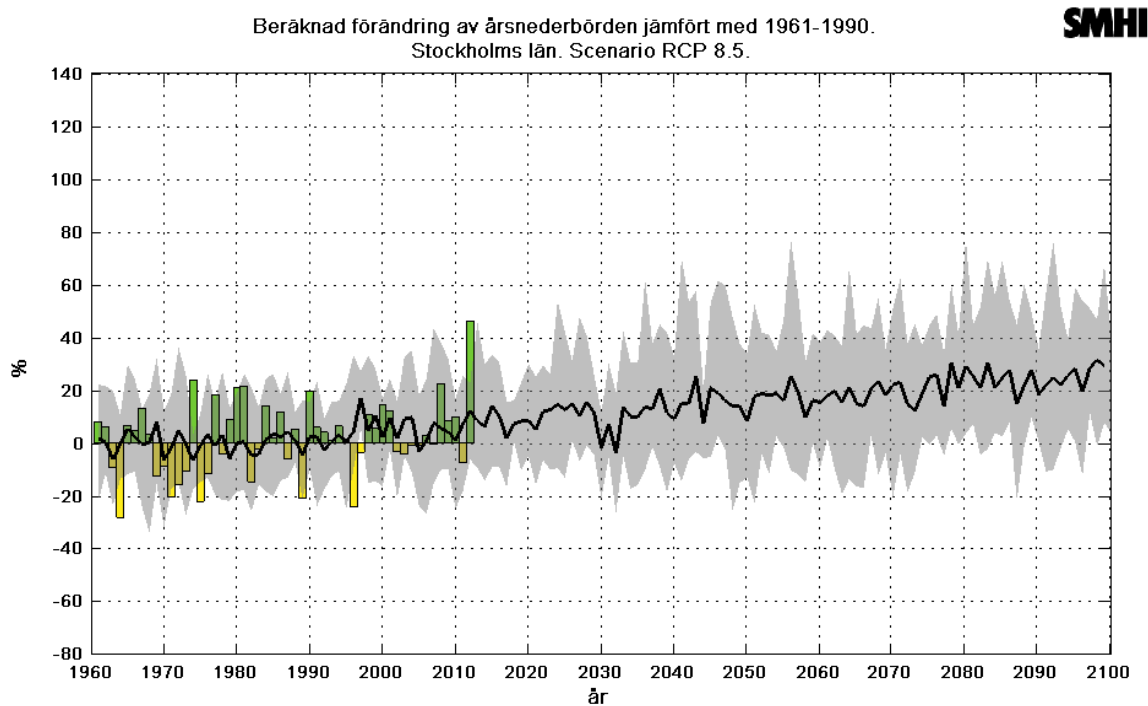
RCP 4.5 utgår från att koldioxidutsläpp med största sannolikhet kommer öka fram till år 2040 och förändrade konsumtionsmönster (Kjellström et al. 2014). Globalt kommer en starkare klimatpolitik etablerats med omfattande skogsplanteringsprogram samt lägre arealbehov för jordbruksproduktion bland annat till följd av större skördar. Scenariot prognostiserar en lägre energiintensitet som kulminerar vid år 2040. Den globala befolkningen år 2100 är något under 9 miljarder.

Med RCP 8.5 prognostiseras ingen vidareutveckling av klimatpolitiken. Atmosfärens koldioxidkoncentration kommer vara tre gånger högre år 2100 än i dagsläget samtidigt som metangasutsläpp ökar kraftigt (Kjellström et al. 2014). Ur ett globalt perspektiv är människan i stort beroende av fossila bränslen, energiintensiteten är hög och teknikutvecklingen kring energieffektivitet utvecklas i långsam takt. Samtidigt ökar den globala befolkningen till 12 miljarder och konkurrensen kring betes- och odlingsmark för jordbruksproduktion ökar dramatiskt.

Figurerna illustrerar tre olika scenarier varav figur 2 och 3 är SMHIs beräknade nederbördsscenarier, figur 2 har sammanställts för scenario RCP 4.5 och figur 3 för scenario 8.5 (Kjellström et al. 2014). Den beräknade årsnederbörden (%) i Stockholms län är sammanställt för åren 1961-2100 och visar på en förändring i nederbörd i jämförelse med referensperioden 1961-1990. Det grå fältet visar på variationsbredden mellan det högsta och lägsta värdet för enskilda klimatscenarion. En ensemble kan beskrivas som en samling av data från olika klimatmodeller, och den svarta linjen representerar medianvärdet av modellerna. Staplarna i diagrammen är data från tidigare observationer, gula staplar illustrerar nederbörd som beräknats som mindre än den genomsnittliga nederbörden medan de gröna staplar illustrerar nederbörd som är större än den genomsnittliga nederbördsmängden.



Figur 2; beräknad förändring av årsnederbörd jämfört med 1961-1990 för Stockholms län. Scenario RCP 4.5.
Källa: öppet material på SMHI.se



Figur 3; beräknad förändring av årsnederbörd jämfört med 1961-1990 för Stockholms län. Scenario RCP 8.5.
Källa: öppet material på SMHI.se

Enligt båda RCP:erna kommer Stockholmsområdet uppleva en ökad nederbörd, se figur 2 och 3. RCP 4.5 visar på en ökning på ungefär 17 % nederbörd mellan åren 1961-2100, medan RCP scenario 8.5 visar på en ökning runt 30 %, vilket visar att nederbörden varierar kraftigt beroende på scenario (Stockholms stad 2013). Klimatscenariot RCP 4.5 beräknar att medeltemperaturen i Stockholm län kommer öka med strax under 2,5°C och RCP 8.5 beräknar att temperaturen ökar med ett medianvärde på cirka 4.5°C fram till år 2100. Som mest beräknar RCP 8.5 att den genomsnittliga årstemperaturen kan öka med cirka 7° C till seklets slut (SMHI 2014c). Enligt dessa prognoser kan framtidens klimatscenario förenklat beskrivas med att säsongsmedel under sommarmånaderna karaktäriseras av minskad nederbörd, i jämförelse med den genomsnittliga nederbördsmängden per år (årsmedelnederbörden) för länet. Minskad nederbörd i kombination med ökad temperatur kan öka risken för torra, minskad avdunstning och vattenbrist samt ha en påverkan på råvattenkvalitet och tillrinningen till vattendrag. Säsongsmedel under vintermånaderna kan förutspås den största ökningen av nederbörd och med en förväntad temperaturökning kan vinterhalvåret karaktäriseras som varmare, blötare och mindre snörik i jämförelse med årsmedelnederbörden för länet.

Hur exponerat är Stockholm för ökad nederbörd?

Andelen hårdgjorda ytor i tät bebyggelse har stor inverkan på hur nederbörd påverkar området, genom exempelvis avrinning (Boverket 2010). Enligt Stockholm Vatten är ytavrinningen från hårdgjorda ytor tio gånger större än från en grönyta, exempelvis parker, gräsytor, gröna tak etc. I en urban miljö är det därför essentiellt att det finns ett system som tar hand om vattenmängderna. Framförallt är det viktigt i en stad med kuperad stadsmiljö eftersom vatten naturligt ansamlas i topografiska sänkor.

Enligt en artikel publicerad av Statistiska centralbyrån, pågår det för nuvarande en tydlig förtätning av Stockholm (SCB 2013). Inom Stockholms tätort har befolkningen ökat med ca 300 000 personer från år 1980 till 2100. Enligt Stockholm stad är antalet invånare i kommunen 897 700 år 2014 (Stockholms stad 2014). En stor befolkningsökning i Stockholm kräver förtätning och mer bostäder, exempel på detta är omvandlingsområdena Hammarby sjöstad och Norra Djurgårdsstaden där kommunen har valt att förvandla gamla förorenad industrimark till moderna bostadsområden (Stockholms stad 2010).

Ökad nederbörd påverkar också existerande vattenflöden, exempelvis sjöar och vattendrag (Östlund et al. 2011). En ökad nederbörd kan förändra vattenflöden genom ett ändrat nederbördsmönster och förändring av avdunstning vilket påverkar medel- och höga flöden. Klimatdata för Stockholms län visar att vattenflöden kommer påverkas av ökad vattentillförsel under vinterhalvåret medan vårflo den blir lägre och kommer tidigare på året. Till följd av ett mildare klimat minskar snömängden vilket leder till lägre flöden och en högre avdunstning under sommarhalvåret. De vattendrag och flöden som är exponerade för effekter av en klimatförändring i Stockholms stad är Tyresån, Bällstaån och vattenståndet i Mälaren,

där områden kring Tyresån och Mälaren har fastställts med betydande översvämningsrisk (MSB 2013).

Enligt karteringar utförda av MSB på Tyresån och omkringliggande områden påvisas en stor risk för översvämningsrisk av en kommunal bro i närheten av Drevviken och ett obebyggt område vid Magelungen med ett 50 årsflöde (återkomsttid) (MSB 2013). Störst risk att översvämmas är strandområden vid Drevviken och Magelungen vid höga vattenflöden, samt vid 100- och 200 årsflöden.

Översvämningsrisken av Mälaren och omkringliggande områden är i framtiden överhängande (Östlund et al. 2011). Denna risk kan dock påverkas till stor del genom ombyggnation av Slussen, vilket är en förutsättning för att motverka risken av översvämningsrisk fram till slutet av seklet. Utan att åtgärder i form av ombyggnation eller reglering implementeras vid Slussen är det projicerat att återkomsttiden för 100-årsflöden, vid år 2100, är mindre än 40 år. Vilket innebär att ett maxflöde som inträffar statistiskt sätt en gång per 100 år istället återkommer efter 40 år. För att sätta framtids scenariot i perspektiv kan det jämföras med sannolikheten på 1 % per år att det i dagsläget sker ett 100-årsflöde (Stensen et al. 2010).

Hur sårbart är Stockholm?

En klimatförändring påverkar flera aspekter av ett samhälle genom att den utmanar grundläggande funktioner så som befintlig bebyggelse, infrastruktur, servicetjänster samt vård och omsorg. Konsekvenserna av en klimatförändring är dess påverkan på Sveriges tekniska försörjningssystem, infrastruktur, bebyggelse och invånarens hälsa (Stockholms stad 2013). Även samhällstjänster kan komma att påverkas och effekter av en klimatförändring kan ha en betydande inverkan på flera samhällsfunktioner, exempelvis vård och omsorg.

Tekniska försörjningssystem som påverkas av ökad nederbörd är dricksvatten- och avloppssystemet. I Stockholms stad ansvarar Stockholm Vatten med att förse invånare med rent dricksvatten och att rena avloppsvatten i stadens reningsverk (Stockholms stad 2013). Ökad nederbörd påverkar dricksvattenförsörjningen genom att försämra råvattenkvaliteten och ha en negativ inverkan på de tekniska distributions- och reningssystem som används i dricksvattensystemet (Östlund et al. 2011). Dessutom har en ökad nederbörd och högre temperatur inverkan på mängden humus (delvis nedbrutet organiskt material) och vattenfärg, på halten av näringsämnen, alger och mikroorganismer i råvattnet vilket påverkar reningsgraden. Risken att kemiska föroreningar lagrade i marken urlakas ökar vid extrema skyfall, vilket har en inverkan på råvattenkvaliteten.

SMHI påpekar i sin publikation *En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem*, att avloppssystemet kan komma att påverkas kraftigt vid ett förändrat nederbördsmönster (Olsson et al. 2010). Korta intensiva regn ökar risken för bräddningar och långvariga regn ökar risken för översvämningsrisk. Bräddningar kan beskrivas som nödutsläpp av orenat spill- och dagvatten i en recipient (Stockholms stad 2013) Dessutom finns det

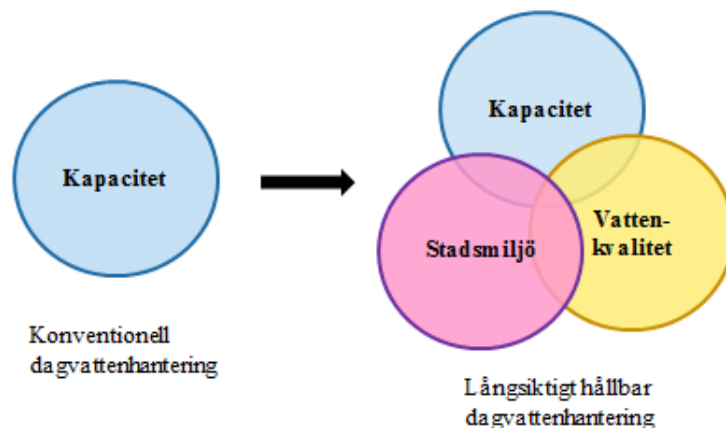
ytterligare en problematik i ett förändrat nederbördsmönster under året, vilket är då långvariga regn faller på redan vattenmättad mark under perioder med låg avdunstning (Olsson et al. 2010). All form av nederbörd som inte kan infiltrera marken måste avledas på ett hållbart sätt.

Infrastruktur och bebyggelse är på olika sätt sårbart vid ökad nederbörd (Östlund et al. 2011). Vägar påverkas av nederbörd i alla dess former, ökad nederbörd kan leda till bortspolning och översvämning av vägar och i kombination med antalet nollgenomgångar påverka vägars konstruktion och kvalitet. Nollgenomgångar innebär antalet dagar i följd temperaturen passerar 0°C, alltså att temperaturen har varit både över och under 0°C. Ökad nederbörd påverkar också risken för ras, skred och erosion vilket också kan resultera i bortspolning av vägar samt ha en negativ inverkan på de geotekniska förhållandena under byggnader och infrastruktur.

Enligt Stockholms stads rapport *Riskbild: Klimatförändringar och Stockholms stads sårbarhet* framgår det att Stockholms stad geografiska läge gör staden sårbar mot översvämningar (Stockholms stad 2013). Faktorer som påverkar översvämningar är nederbörd, höjdförhållanden, möjlighet till avrinning och områdets dagvatten hantering. Områden som riskerar att påverkas av översvämningar är topografiska sänkor med många hårdgjorda ytor, vilket är en stadsmiljö som karaktäriserar Stockholms stads urbana miljö.

Dagvattenhantering

Begreppet hållbar samhällsutveckling lanserades i och med Rio-deklarationen och Agenda 21 i början på 1990-talet (Stahre 2004). Begreppet innebär att vid planering av åtgärder ska tekniska, ekonomiska och sociala faktorer ingå i hållbar dagvattenhantering. Begreppet dagvatten definieras på följande vis; *Ytavrinnande regn- och smältvatten från exploaterade områden som når recipient eller reningsverk via hårdgjorda ytor, genomsläpplig mark, diken och/eller Va-anläggning. I exploaterade områden ingår inte åkermark och skogsmark.* (Stockholms stad 2013b). Vid planering av konventionella dagvattensystem är kapacitet och optimering av dagvattensystemet primärt. Tekniska och ekonomiska värderingar styr hur dagvattensystem konstrueras för att få önskad vattenavrinning till lägsta totalkostnad för dagvattenanläggningen, systemets drift och underhåll. Exempel på konventionella dagvattensystem är kommuners VA-system och ledningsnät som tidigt etablerades i städernas stadsplanering. Vid långsiktigt hållbar dagvattenhantering har planering kring dagvatten vidareutvecklats från att endast innefatta dagvattensystemens kapacitet och transportförmåga till krav ställda på vattenkvalitet, vattnets föroreningshalt och på senare år också intresset för att integrera öppna dagvattensystem i stadsmiljö, se figur 4.



Figur 4; Illustration av utvecklingen mot en mer hållbar dagvattenhantering, inspirerad av figur i Peter Stahres bok *En långsiktigt hållbar dagvattenhantering, planering och exempel* (2004).

Peter Stahre påpekar i sin bok *En långsiktigt hållbar dagvattenhantering, planering och exempel* (2004) att begreppet långsiktigt hållbar dagvattenhantering inte handlar om en dagvattenanläggnings tekniska utformning, utan att hållbarheten grundas i hur anläggningen planeras och realiserar. Stahre menar på att öppna dagvattenanläggningar inte alltid är det långsiktigt hållbara alternativet, utan att det ibland kan det långsiktigt hållbara alternativet vara konventionella dagvattenledningar i VA-system.

Vatten- & avloppssystem

I Sverige är färskvatten ingen bristande resurs eftersom sjöar utgör hela nio procent av landytan (Svenskt Vatten 2014b). I landets högst befolkade område Stockholm, är vattenanvändningen inte mer än ungefär tre procent av det genomsnittliga flödet ur vattentäkten Mälaren. Generellt kan det konstateras att det finns gott om vatten i hela landet, med ett få undantag, men att vattenkvaliteten kan variera vilket då kräver rening i vattenverk. Dricksvattnet i Sverige produceras i vattenverk och utvinns från vattentäkter med grundvatten och ytvatten. Ytvatten utgör hälften av råvattnet som omvandlas till dricksvatten, resterande dricksvatten är fördelat lika mellan äkta och konstgjort grundvatten. Ytvatten tas från sjöar och vattendrag, äkta grundvatten hämtas ur bergssprickor och i jordens permeabla jordlager medan konstgjort grundvatten är ytvatten filtrerat genom en grusås och förvarat i ett befintligt grundvattenmagasin.

Avloppsvatten är det vatten som leds bort i det kommunala avloppssystemet i form av spillvatten, dagvatten och dräneringsvatten (Svenskt Vatten 2014b). Spillvatten kommer från hushåll, serviceinrättningar och industrier, dagvatten utgörs av ytligt avrinnande regnvatten och smältvatten, och dräneringsvatten kommer från marken runt husgrunder och annan mark som dräneras. Enligt Svenskt Vatten bor ca 8.5 miljoner svenskar i tätorter som är kopplat till ett kommunalt avloppssystem där avloppsvattnet renas i en av Sveriges 2000 avloppsreningsverk. Utanför tätorter, t.ex. i glesbygd, har boende egen vattenrening.

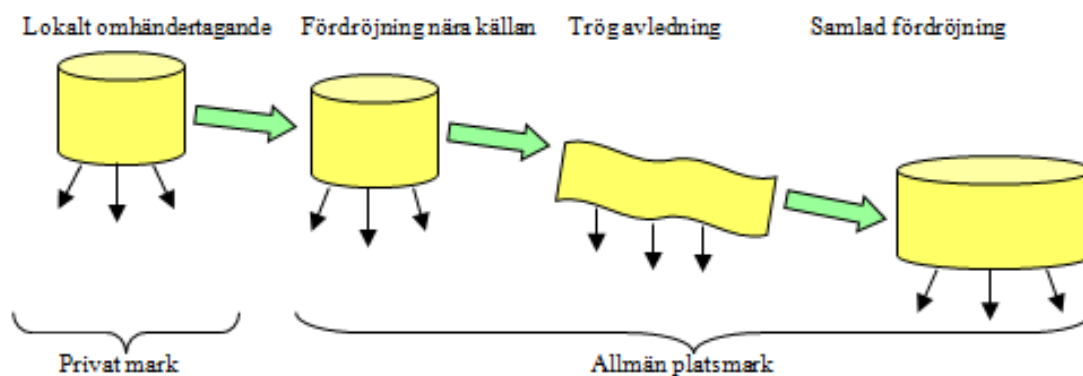
Beroende på hur det kommunala avloppssystemet är konstruerat kan avloppsvattnet transporteras i en eller flera ledningar, i så kallade kombinerade och separerade avloppssystem (Svenskt Vatten 2014b). I äldre städer tenderar ledningsnätet bestå utav kombinerade system där både spillvatten och dagvatten leds bort. Ny bebyggelse har ofta separerade system, där ledningsnätet är uppdelat för spillvatten och för dagvatten, vilket minskar trycket på reningsverk. Rening av avloppsvattnet görs oftast i tre steg innan vatten bedöms som rent och släpps ut i vattentäkter eller dricksvattensystem. Vattnet genomgår en mekanisk, biologisk och kemisk rening för att minska mängden specifika ämnen i avloppsvattnet som inte bör släppas ut i naturen. Med reningsprocessen vill man minska mängden organiskt biologiskt nedbrytbart material i vatten, växtnäringsämnen som fosfor och kväve, sjukdomsframkallande mikroorganismer som virus, bakterier och parasiter, och partiklar från hushåll i form av exempelvis matrester och toalettpapper (Svenskt Vatten 2014b).

Öppna dagvattenlösningar

Begreppet ”öppna dagvattenlösningar” används som ett samlingsnamn för olika anläggningar som tar hand om vatten genom omhändertagande, fördröjning och magasinering i öppna eller delvis öppna system (Stahre 2004). Principen bakom öppna dagvattenlösningar är att systemen eller installationerna är konstruerade på så vis att de efterliknar naturens sätt att ta

hand om regn och snö genom att få vattnet att avdunsta, fördröjas och infiltreras i marken, även i stadsmiljö.

Öppna dagvattenlösningar kan utföras i fyra olika etapper, se figur 5, och olika typer av tekniska utformningar kan användas i flera av etapperna (Stahre 2004). Primärt talar man om *lokalt omhändertagande* av dagvatten (LOD) på privat mark som sedan rinner vidare till så kallad *fördröjning nära källan* som sker på allmän mark. Därefter leds vattnet via en form av *trög avledning* för att slutligen nå en källa för *samlad fördröjning*, även detta sker på allmän mark.



Figur 5; Illustration av kategorier av öppna dagvattenlösningar, inspirerad av figur i Peter Stahres bok *En långsiktigt hållbar dagvattenhantering, planering och exempel* (2004).

Lokalt omhändertagande av dagvatten är en kollektiv benämning av olika åtgärder som implementeras för att fördröja eller minska avrinningen av dagvatten från privat mark innan det transporteras vidare till det allmänna dagvattensystemet (Stahre 2004). Exempel på tekniska utformningar som används inom lokalt omhändertagande av dagvatten är; gröna tak, infiltration på gräsytor, genomsläppliga beläggningar, infiltration i stenfyllning (perkolation), dammar, uppsamling och återanvändning av takvatten för bevattning, WC-spolning etc. Med begreppet fördröjning nära källan menas det att dagvatten fördröjs eller minskas, med hjälp av olika typer av anläggningar, i den så kallade övre delen av det allmänna dagvattensystemet. (Stahre 2004). Olika typer av tekniska utformningar kan vara genomsläppliga beläggningar, infiltration på gräsytor och i stenfyllning, tillfällig uppdämning av dagvatten på speciellt anlagda översvämningssytor, dammar och våtmarker. Nästa steg i dagvattenhanteringen är trög avledning som innebär olika former av avledningssystem som bidrar till långsam transport av dagvatten från de övre delarna av avrinningsområdet (Stahre 2004). Exempel på detta är svackdiken, kanaler, bäckar och diken. Dagvattnets sista etapp är i en samlad fördröjning som används för att minska eller fördröja avrinningen i olika former av anläggningar från större upptagningsområden, exempelvis dammar, våtmarksområden eller sjöar (Stahre 2004).

Stadens konventionella dagvattensystem

Stockholm stads konventionella dagvattensystem är en del av stadens VA-system vilket innefattar ledningsnät, reningsverk och vattentäcker (Stockholm Vatten 2011). Dagvattenhanteringen i staden utgörs utav VA-systemet, dagvattenanläggningar och olika tekniska lösningar som konstruerats för att ta hand om ytligt avrinnande regnvatten och smältvatten. Hantering av dagvatten etableras i Stockholmsområdet redan på 1860-talet, och ursprungligen med spill- och dagvattenledningar kombinerade och konstruerade på så vis att vattnet mynnade ut i närliggande recipient, alltså en mottagande sjö, vattendrag, grundvatten eller i kustvatten (Stockholms stad 2013). Tidigare har dagvattenhantering setts som ett nödvändigt inslag i stadsplaneringen för att dränera staden och leda bort överflödigt vatten som annars kunde orsaka fukt- och mögelskador på befintlig bebyggelse (Svenskt Vatten 2014). Men på 1930-talet skedde en utveckling inom vattenområdet och ett reningsverk byggdes i Stockholm där avloppsvattnet, både spill- och dagvattnet, kunde renas innan vattnet nåde en lämplig recipient.

Ledningsnätet i Stockholmsområdet var fram till 1950-talet konstruerat som kombinerade ledningar (Stockholms stad 2013). År 1963 kom en vattendom som innebar att visa delar av det kombinerade ledningsnätet skulle göras om till separata system, så kallat duplikatsystem. Anledning var att avlasta reningsverk från ett överskott av dagvatten och på så minska bräddningar då flöden var höga. En åtgärdsplan infördes år 1983 som fastslog att ca 10 % av stadens kombinerade ledningsnät skulle dupliceras, för att avlasta reningsverken. Men i en åtgärdsplan från år 1994 kritiserades ombyggnationen för att vara för kostsam, vilket resulterade i att staden tog till andra åtgärder för att hantera dagvattnet.

Ledningsnätet som hanterar dagvattnet i Stockholms stad är i dagsläget uppmätt till ca 300 mil (Stockholm Vatten 2011). Halva systemet är ett så kallat kombinerat system som hanterar spill- och dagvatten i samma ledning och transporterar avloppsvattnet till ett reningsverk (Stockholms stad 2013). Den andra halvan av ledningsnätet är konstruerat som ett duplikatsystem som avleder dagvattnet i en separat ledning till en närliggande recipient. Stadens ledningsnät ägs och förvaltas av det kommunalägda bolaget Stockholm Vatten. I dagsläget installeras duplicerade ledningsnät i bebyggelse endast vid nybyggnationer och ombyggnationer. Tyvärr innebär duplicerade ledningsnät en belastning av föroreningar på recipienter, eftersom dagvattnet transporterar föroreningar från hårdgjorda ytor till vattentäckerna.

I en pågående och framtida klimatförändring upplever Stockholms stad förändringar i korttidsnederbörden (MSB 2013). Enligt nya klimatscenarier kommer andelen längre regn minska i Stockholms stad medan andelen kortare regn öka med 10-20 % fram till år 2100. Dessutom förutspås korta 10-års regn öka med 23 % fram till år 2071-2100. Konsekvenserna av en förändrad nederbördvariation och ökad nederbörd har enorm inverkan på Stockholms VA-system, eftersom ökad vattenmängd till reningsverk påverkar reningsgraden och för att

ledningsnäten inte är dimensionerade att ta emot mer än en vattenmängd med 10-års återkomsttid, baserat på tidsperioden 1961-1990.

Då befintligt ledningsnät inte längre uppfyller kommunens beslutskriterier och toleransnivå, baserat på dimensionering att hantera regn med 10-års återkomsttid, krävs det åtgärder för att avlasta stadens ledningsnät. En klimatanpassningsåtgärd som Stockholm stad har implementerat och fortsätter att utveckla är öppna dagvattenlösningar och en dagvattenstrategi för staden (Stockholms stad 2013).

Öppna dagvattenlösningar i Stockholms stad

Öppna dagvattenlösningar, både kvalitetshöjande åtgärder och LOD, i kombination med stadens konventionella dagvattensystem används för att hantera stadens dagvatten och en ökad mängd avrinningsvatten som resultat av en klimatförändring. Både kvalitetshöjande åtgärder och LOD bidrar till ökad vattenkvalitet men särskiljs då kvalitetshöjande åtgärder integreras på allmän platsmark och LOD kan tillämpas på både privatmark och allmänna ytor (Stockholm Vatten 2010). LOD anläggningar uppmuntras av Stockholm Vatten och kommunen till privata och kommersiella fastighetsägare, stadsplanerare och entreprenörer (Stockholms stad 2002). Genom att konstruera olika former av LOD minskar belastningen på det allmänna ledningsnätet och råvattenkvaliteten i recipienter. Stockholm Vatten införde år 2000 en ny VA-taxa vilket stimulerar införandet av LOD. Kostnaden för hantering av dagvatten hade tidigare ingått i den så kallade ”rörliga avgiften” i VA-taxan, men för fastighetsägare som implementerade LOD kan hela eller delar av dagvattenavgiften slopas.

Kvalitetshöjande åtgärder på allmän platsmark

Stockholm Vatten ansvarar för delar av dagvattenföringen och har utfört flera undersökningar kring dagvattenföroreningar, rening och dess fördröjning (Stockholm Vatten 2010). Dagvattenhantering som fokuserar på råvattnets kvalitet genom rening och fördröjning av vattnet benämns som kvalitetshöjande åtgärder. Staden har sedan början på 2000-talet implementerat kvalitetshöjande åtgärder som används på Stockholms allmänna ytor. Ofta transporterar dagvattnet föroreningar i form av partiklar från hårdgjorda ytor, exempelvis från vägar. För att öka vattenkvaliteten kan vattnet ledas genom dagvattenanläggningar som använder sig av sedimentering eller filtrering. I det duplicerade ledningsnätet är dagvattensystem konstruerade på så vis att fördröjning och rening av dagvattnet kombineras i det vattenavförandesystemet. Exempel på den formen av dagvattensystem är; avsättningsmagasin, dammar, våtmarker, skärmbassänger och en rad perkolations- respektive infiltrationsanläggningar (Stockholms stad 2013). Andra anläggningar som används för att hantera dagvatten i både det duplicerade och kombinerade ledningsnätet är pumpstationer och utjämningsmagasin.

Anläggandet och konstruktionen av dagvattensystem integreras ofta in i andra infrastruktur- och byggprojekt vilket har resulterat i att det inte finns en komplett sammanställning av dagvattensystemen i Stockholm stad (Stockholms stad 2013). Nedan finns exempel på olika dagvattensystem i staden och vart de är anlagda (Stockholm Vatten 2010):

- Norra Länken vid S:t Eriksplan, Eriksdal och vid Årstabergsvägen: Avsättningsmagasin för rening av trafikdagvatten.
- Essingeleden, Blommensberg: Lamelloljeavskiljare för rening av trafikdagvatten.
- S:t Erikområdet, Kungsholmen: Perkolationsanläggning i ledningsgraven.
- Älvsjövägen och S:t Erikområdet: Filterinsatser i dagvattenbrunnar

- Årstafältet: Översilningsytor, damm och beväxt markbädd.
- Bergslagsvägen och Magelungsvägen: Diken (vegetationsklätt dräneringsstråk).
- Trehörningen, Årstaviken och Flaten: Sjöförlagda skärmbassänger.
- Hammarby Sjöstad: Skelettjord, trafikdagvatten i stadsmiljö.

LOD på privatmark och allmänna ytor

Gatu- och fastighetsnämnden, Miljö- och hälsoskyddsmyndigheten, Stadsbyggnadsnämnden och Stockholm Vatten beslöt år 1994 om en övergripande LOD-policy som innefattade att: ”dagvatten i första hand ska hanteras genom infiltration och fördröjning vid källan innan samlad avledning” (Stockholms stad 2013b). Målet med policyn var att minska belastning på stadens reningsverk och ledningsnät samt bibehålla en god vattenbalans, genom att fördröja eller infiltrera dagvatten med låga eller måttliga föroreningshalter. Undantag av fördröjning eller infiltration gäller då marken kan innehålla föroreningar som kan skada mottagande recipient, då recipienten eller grundvatten är skyddsvärt eller då infiltrerat vatten kan leda till skada av exempelvis bebyggelse. Policyn togs med i stadens första dagvattenstrategi år 2002.

Genom att implementera lokalt omhändertagande av dagvatten minskar mängden föroreningar i recipienter och även belastningen på ledningsnätet (Stockholms stad 2013b). Stockholm stad uppmuntrar också lokalt omhändertagande av vatten till villaägare, fastighetsförvaltare, byggare och stadsplanerare (Stockholms stad 2002). Tanken är att LOD ska vara en naturlig och självklar del i stadsplanering och ny bebyggelse, och att fastighetsägare och villaägare ska kunna ta hand om avrinnande nederbörd på egen mark. Även i befintlig bebyggelse kan LOD integreras i bostadsmiljön på gräsytor och gator. I september år 2000 infördes en ny typ av VA-taxa med mål att uppmuntra villaägare och fastighetsägare att ta hand om sitt eget dagvatten. Taxan baseras på mängden vatten som rinner ut i det allmänna ledningsnätet och mängden vatten villaägare och fastighetsägare tar hand om själv.

Stockholms stad har vid konstruktion av LOD-anläggningar tidigare valt att utgå från Svenskt Vattens anvisningar för utförande och dimensionering, VAV P46 *Lokalt omhändertagande av dagvatten LOD* från 1983 (Stockholm Vatten 2009). LOD-anläggningar som dimensioneras utifrån VAV P46 har ofta dimensioneras för regn med en återkomsttid om 2 år. P105 *Hållbar dag- och dränvattenhantering* från år 2011 har nu ersatt VAV P46.

Infiltration, perkolation och lokal fördröjning utgör det lokala omhändertagandet av dagvattnet, vilket förminskar eller eliminerar behovet av vattnets bortledning (Stockholm Vatten 2009). Vid konstruerandet av en LOD-anläggning kan dessa metoder även kombineras. I Stockholm Vatten:s publikation från år 2009 *Projekteringsanvisningar för VA-ledningar – koncept* definieras begreppet infiltration som vatten vilket omhändertas genom att det infiltrerar någon form av grönyta. Vid perkolation av dagvattnet leds det direkt ut i marken via en ledning, med exempelvis perkolationsledningar och anlagda stenfyllningar (perkolationmagasin). Lokal fördröjning av dagvatten på allmän mark kan göras i exempelvis ett utjämningsmagasin eller avsättningsmagasin. På privat mark (eller på

kvartersmark) är utkastare, rännalar och dammar lämpliga alternativ till omhändertagande innan dagvattnet förs vidare till det allmänna ledningsnätet.

Exempel på LOD anläggningar (Stockholms stad 2002 & Stockholms stad 2010b):

- Hammarby Sjöstad: Rännalar med infiltrationsmöjligheter.
- S:t Eriksområdet: Underjordiska stenkistor och andra perkolationsmagasin.
- Ericssons kontor, Kristineberg, Hammarby sjöstad och Norra Djurgårdsstaden: ”gröna tak” (sedumväxter)
- Norra Djurgårdsstaden: Trädgröpar med fördröjning och magasinering av dagvatten för bevattning av träd.
- IBM i Kista: Befintligt alkärr nyttjas för LOD i kontorshus anlagt 1974. Vattnet perkolerar ned i dammbotten. Bräddning vid högflöden.
- Nacka: Dagvattendamm på 7,5 ha vid Långsjön med inbyggt rensningssystem. Anlagd 1995.
- SAS i Frösundavik: Takvattnet leds till en geometriskt utformad damm utanför personalmatsalen. Dammen på 2800 m² ingår i ett avancerat system för värmeutjämning i byggnaden. Byggår 1987.
- Skarpnäck: Högexploaterat bostadsområde med utjämningsmagasin i form av perkolationsbrunnar, anslutna till ett stort magasin i ledningsgrav längs huvudgata.
- Kungsholmen: lokalt omhändertagande av dagvatten i perkolationsanläggning från nybyggt bostadsområde.
- Johanneshov, Grynkvarnsparken: fördröjningsmagasin och infiltration av dagvatten från bostadsområde.

Stadens dagvattenstrategi

År 2002 publicerades en *dagvattenstrategi* med mål att begränsa föroreningsbelastningen på recipienter och år 2013 publicerades ett utkast av en uppdaterad dagvattenstrategi som syftade till att utveckla en hållbar dagvattenhantering (Stockholms stad 2013b). Det är ett formellt utkast som ersatt den äldre versionen och antagits av Stockholm Vatten:s styrelse och flera av Stockholms stads nämnder, eftersom den kommer med största sannolikhet antas i kommunfullmäktige under år 2015. Bakgrunden till den nya dagvattenstrategin är en förändrad lagstiftning och omstrukturering i stadens interna organisation vilket kräver en revidering av den första dagvattenstrategin och omarbetning av ansvar kring dagvattenfrågan. Ansvaret för arbetet kring Stockholms stads dagvattenhantering och genomförandet av dagvattenstrategin delas av flera aktörer, i huvudsak Stockholm Vatten, stadens nämnder och bolagsstyrelser samt fastighetsägare.

Den nya dagvattenstrategin fokuserar framförallt på att utveckla den nuvarande dagvattenhanteringen till att bli mer långsiktigt hållbar (Stockholms stad 2013b). Dagvattenstrategin gäller framförallt vid nybyggnation i staden eftersom det finns störst möjligheter att arbeta fram goda lösningar, men också vid all ombyggnation och vid åtgärder i stadens befintliga miljö. Precis som i den föregående strategin ingår arbetet kring vattenkvalitet och vattnets föroreningshalt, s.k. kvalitetshöjandeåtgärder, men ett nytt inslag är aspekten kring klimatförändringar och hur staden ska hantera de utmaningar som uppstår till följd av detta samtidigt som Stockholm förtätas. Dagvattenstrategin belyser också aspekter av dagvatten som nyttiggörande resurs. Det kan konstateras att dagvattenhantering har varit en naturlig del i Stockholm stads stadsplanering, då avrinningsvattnet tidigare förts bort i stadens VA-system, men på senare tid uppmärksammas som klimatanpassning mot extrema vattenflöden.

En global klimatförändring medför en ökad nederbörd, en konsekvens Stockholm stad måste hantera för att undvika skador på infrastruktur och befintlig stadsbebyggelse (Stockholms stad 2013b). Ett sätt att hantera detta på är genom implementerandet av stadens nya reviderade dagvattenstrategi. Däri konkretiseras fyra delmål som ska hjälpa Stockholm stad att uppnå en hållbar dagvattenhantering. Delmålen är uppdelat i; *Förbättrad vattenkvalitet i stadens vatten, Robust och klimatanpassad dagvattenhantering, Resurs och värdeskapande för staden och Miljömässigt och kostnadseffektivt genomförande.*

Delmålet gällande robust och klimatanpassad dagvattenhantering innefattar specifika åtgärder och principer för att utveckla Stockholms stads dagvattenhantering till långsiktigt hållbar. För att uppnå delmålet krävs det att; *”Dagvattenhanteringen ska vara anpassad efter förändrade klimatförhållanden med ökad årsnederbörd, intensivare nederbördstillfällen och höjda vattennivåer i sjöar, kustvatten och vattendrag”* (Stockholms stad 2013b). Staden har satt upp olika principer som ska fungera som riktlinjer för aktörer att uppnå delmålet, dessa principer innefattar till stor del öppna dagvattenlösningar och fysiska anpassningar i befintlig- och planerad bebyggelse. För att nå delmålet att göra Stockholm stad till en robust och

klimatepassad stad krävs det att kommunen, enligt den första principen, ökar mängden genomsläppliga ytor och områden med hög infiltrationskapacitet, på så sätt kan ett förändrat nederbördsmonster med intensiv och extrem nederbörd hanteras på ett naturligt sätt. Andra fördelar med infiltration är att stadens grundvattennivå upprätthålls, samtidigt som belastningen på stadens VA-system minskar.

Den andra principen framhåller att genom integrering av öppna dagvattenlösningar, i form av yttlig avledning och fördröjning på kvartersmark och allmän platsmark, kan flödestoppar minskas (Stockholms stad 2013b). Dock måste dessa dagvattenförändresystem klimatanpassas i sin dimensionering för att skapa en robust dagvattenhantering.

Enligt den tredje principen måste klimatanpassningsåtgärder i form av dagvattensystem integreras i befintlig bebyggelse och beaktas i planerad bebyggelse (Stockholms stad 2013b). Detta innebär bortledning av större vattenmängder och åtgärder mot höjda vattennivåer i stadens vattenområden för att minimera potentiella skador vid exempelvis översvämningar. Dagvattensystemen måste anpassas efter större och intensiv nederbörd vilket innefattar dimensionering och höjdsättning.

Slutligen poängteras det i den fjärde principen att staden måste identifiera sekundära avrinningsvägar och översvämningssytor för dagvatten (Stockholms stad 2013b). Detta ska göras för befintlig och planerad bebyggelse som en del i stadens klimatanpassning och kan på så vis användas av staden för att fastställa en rimlig skyddsnivå mot förväntade översvämningar.

Kritik av dagvattenhantering i Stockholms stad.

Norra Djurgårdsstaden och Hammarby Sjöstad är tydliga exempel på hur Stockholms stad förtätas och försöker tillgodose stadens bostadsbehov, samtidigt som staden försöker göra stadsdelens klimat- och miljömässigt hållbar (Wangel 2013). Lägenhetspriser i Stockholm kan tveklöst beskrivas som höga, då det genomsnittliga kvadratmeterpriset för september-november år 2013 var enligt Mäklarstatistik 66 000 kr i Stockholms innerstad (Flam 2014). I det nybyggda bostadsområdet Norra Djurgårdsstaden är det genomsnittliga kvadratmeterpriset 60 000 kr, vilket är en prisskillnad som inte skiljer sig markant från Stockholms innerstad. Enligt Wangel resulterar den höga bostadskostnaden i Norra Djurgårdsstaden att området inte är tillgängligt för flera samhällsklasser, utan snarare bidrar till en ökad segregation (Wangel 2013).

Hantering av dagvattnet har länge varit en naturlig del i stadsplaneringen och på senare tid har fler öppna dagvattenförande system implementerats som klimatanpassningsåtgärder (MSB 2013). Dock är Stockholms äldre dagvattenförande system dimensionerade efter regn med en återkomsttid på 2 år och som mest 10 år baserat på tidsperioden 1961-1990 (Stockholms stad 2013). I naturmark är beräkningsmetoder istället baserat på vattenflöden med 50 års återkomsttid, vilket kan ha en stor inverkan på dagvattenhanteringen för infrastrukturbyggen som sker i gränslandet mellan urbanmiljö och naturområden. Det kan alltså konstateras att Stockholm har ett integrerat dagvattensystem i kommunen. Men baserat på framtida klimatscenarion är Stockholms stads dagvattenhantering hållbar på lång sikt?

Utvecklingschef Per Forsling på branschorganisationen Fastighetsägarna kritiserar VA-systemet och den låga VA-taxan i Stockholms stad (Fastighetsägarna 2014). Han menar på att Stockholms stad har den lägsta VA-taxan i Sverige, baserat på en taxeundersökning för hela landet som Fastighetsägarna genomför varje år. Jämförelsevis har Tanum kommun landets dyraste VA-taxa, där exempelvis taxan för ett typiskt flerbostadshus är fem gånger högre än i Stockholm. Kritik riktas mot att Stockholms stads VA-system visar på brister med att leda bort stora nederbördsmängder, samtidigt som taxan är låg och har minskat med 16 % mellan åren 2003-2014. Forsling kommenterar att bristerna i dagvattenhantering grundas på dåligt underhåll av VA-ledningarna. Samtidigt poängterar han att en förtätning av Stockholm urbana miljö bidrar till en ökad problematik kring dagvattnets avrinning, eftersom tidigare infiltrationsytor så som gräsmattor eller grusgångar omvandlas till hårdgjorda ytor. Forsling menar på att ett bristande underhåll av VA-ledningarna kan leda till en underhållsskuld vilket kan bli väldigt kostsam för staden att sedan återuppbygga.

SMHI påpekar i sin studie *En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem* att Stockholm, med växande befolkningsmängd och expansion av staden, hamnar i konflikt med klimatanpassning (Olsson et al. 2010). I enighet med Stockholms stads *Vision 2030* ska det byggas 140 000 nya bostäder till år 2030, vilket kommer resultera i fler hårdgjorda ytor och färre grönytor i staden. Detta kommer att leda till färre infiltrationsytor i

staden vilket ökar stadens sårbarhet. Dessutom kommer en större befolkningsmängd leda till en större mängd avloppsvatten som måste renas och ökade resurser till detta. Därför är det av största vikt att Stockholms stad omedelbart ser över stadens konventionella dagvattensystem och öppna dagvattenförande system.

Utvärdering och uppföljning

Ur vissa aspekter arbetar Stockholms stad aktivt med granskning och uppföljning av stadens klimatanpassningsarbete (Stockholms stad 2013b). Ett exempel på detta är den nyskrivna och reviderade dagvattenstrategin med fyra konkreta delmål som ska vidareutveckla kommunens dagvattenhantering till mer hållbar. Delmålen innefattar åtgärder för förbättrad vattenkvalitet, klimatanpassad dagvattenhantering, att dagvattnet används som en värdeskapande resurs för staden samt är genomfört på ett miljömässigt och kostnadseffektivt sätt. Utveckling av både nya, innovativa öppna dagvattenförande system och det klassiska, konventionella dagvattensystemet ses som en del i arbetet mot en hållbar dagvattenhantering i staden.

En granskning av stadens klimatarbete pågår för nuvarande vilket är tydligt i de protokoll som förts vid Stockholms stadsfullmäktiges sammanträde den 16 juni 2014. Här framgår det att kommunfullmäktige beslutar att kommunstyrelsen får i uppdrag att ta fram en handlingsplan för klimatanpassning tillsammans med berörda nämnder (se Kommunfullmäktiges utlåtande 2014:55) och att rapporterna Klimatförändring och Stockholms stad, *Del 1; Inventering av Stockholms stads klimatanpassningsarbete* och *Del 2; Riskbild: Klimatförändringar och Stockholms stads sårbarhet*, godkänts och ska genomföras.

Kommunstyrelsen har alltså fått i uppdrag att ta fram en handlingsplan för klimatanpassning tillsammans med berörda nämnder och styrelser (Stockholms stad, 2013). Med detta som grund utarbetar kommunstyrelsen i Stockholms stad ett klimatanpassningsarbete i samarbete med exploateringsnämnden, stadsbyggnadsnämnden, trafik- och renhållningsnämnden, miljö- och hälsoskyddsnämnden, Stockholm Vatten, Stockholms Hamnar AB samt 4C Strategies, vilket framgår i den första klimatanpassningsrapporten *Del 1; Inventering av Stockholms stads klimatanpassningsarbete*.

Stockholms stad och Stockholm Vatten hävdar att de arbetar aktivt med uppföljning och granskning av stadens klimatarbete, vilket innefattar dagvattenfrågor, och kan illustreras genom att den för tillfället omvärderas och med försök till förbättringar. Exempelvis håller Stockholm Vatten på att utreda åtgärder för att motverka problem med framtida översvämningar och bräddningar av ledningsnäten utifrån tidsperspektiven 1-10 år och inom överskådlig tid 10-30 år (Stockholms stad 2013). Stockholm Vatten:s styrelse har fastställt att dimensionering och höjdsättning av nya system ska ta i beaktning ”klimatanpassade dimensioneringsparametrar”, vilket innefattar det prognostiserade regionala klimatet om 100 år. Dessutom har bolaget tillsammans med exploateringar kommit fram till att nederbördsberäkningar, i samband med konstruering av dagvattensystem, ska utgå från en klimatfaktor på 1,2. Beräkningar av klimatfaktorer utgår från temperatur, nederbörd och vind. En klimatfaktor på 1,2 innebär att Stockholm Vatten utgår från en nederbördsökning på 20 % jämfört med idag.

Det framgår i dagvattenstrategin att Stockholms stad har som ambition att klimatanpassa dagvattensystem vid om- och nybyggnation i staden (Stockholms stad 2013b). Detta innebär

att dagvattensystemen ska bli mer robusta och anpassade för ett förändrat vattenflöde. Dessa åtgärder görs genom att dagvattnet i största mån inte är ledningsburet utan att dagvattnet leds genom öppna system med ytlig avledning, fördröjning, olika typer av samlad fördröjning och gröna inslag. Den nya dagvattenstrategin som har utarbetats fokuserar på denna form av klimatanpassad dagvattenhantering och är på så vis en utvärdering och uppföljning av den första dagvattenstrategin från år 2002. Det framgår inte i den nya dagvattenstrategin hur staden ska följa upp och utvärdera arbetet kring dagvattenhantering.

Avslutningsvis kan det konstateras att Stockholms stad arbetar med utvärdering och uppföljning av stadens klimatanpassning genom Stockholms miljöprogram 2012-2015 (Stockholms stad 2012). I miljöprogrammet ingår delmålet; *4.4 Vid förändringar i mark- och vattenområden ska dessa utformas för kommande klimatförändringar* och är mest relevant gällande hållbar dagvattenhantering i urban miljö. Delmålet innefattar fyra klimatanpassningar av befintlig och ny stadsbebyggelse, ökad dimensionering av dagvattensystem och utveckling av stadens grönytor. Delmålet berör främst Stockholm Vatten, stadsbyggnadsnämnden, trafiknämnden, miljö- och hälsoskyddsnämnden och exploateringsnämnden. Ansvaret för uppföljning av delmålet på Miljö- och hälsoskyddsnämnden i samarbete med Stadsbyggnadsnämnden och Exploateringsnämnden, dock ligger det övergripande uppföljningsansvaret för miljöprogrammet på kommunstyrelsen. Vid utvärdering och uppföljning av delmålen ska nämnderna och kommunstyrelse upprätta ett nämndmål, indikatorer och/ eller aktiviteter som syftar till att uppfylla delmålet ur miljöprogrammet. Indikatorerna används för att mäta delmålet i respektive nämnd och styrelses budget och verksamhetsplan.

Diskussion

I IPCC femte Assessment Report diskuteras sociala och miljömässiga faktorer som påverkas av en klimatförändring och hur dessa faktorer inverkar på bland annat rent dricksvatten och avloppssystem (Revi et al. 2014). Rapporten tar upp hur medel- och höginkomst länder, vilket innefattar Sverige, med utbyggda VA-system har minimerat risken för förorenat vatten från dagvatten och spillvatten vilket möjliggör för länderna att tillgodose invånare med rent dricksvatten dygnet runt. Samtidigt belyser forskare bakom rapporten att vattenresurser i medel- och höginkomstländer sannolikt kommer påverkas av allvarliga effekter till följd av klimatförändringen. Dock kan flera av dessa länder, genom höjd skatt och VA-taxa, bygga ut sitt VA-system och därför inte drabbas lika hårt av effekterna från en klimatförändring som låginkomst länder, där invånare ofta saknar toaletter, rinnande vatten och enkla dagvattenledningar.

I Stockholm, precis som i stora delar av Sverige, är vatten en naturresurs som finns i överflöd (Svenskt Vatten 2014). Invånare i Stockholm förses med rent, friskt vatten och har sedan mitten på 1800-talet kunna stoltsera med ett välfungerade vatten- och avloppssystem med integrerade reningsverk. Rent vatten är essentiellt i ett fungerande samhälle och obegränsad tillgång till rent vatten ger invånare en enorm frihet och blir på många sätt fundamentet i ett modernt samhälle. Med denna frihet följer en hälsosam befolkning eftersom exempelvis vattenburen smittspridning och uttorkning elimineras och sanitet och hygien förbättras. Befolkningen slipper lägga tid på att hitta rent vatten och energi kan istället läggas på tillväxt och utveckling.

Stockholms miljöprogram 2012-2015, den nya VA-taxan och stadens dagvattenstrategi är tydliga exempel på hur Stockholms stad aktivt arbetar med klimat- och miljöfrågor (Stockholms stad 2013c). Dessutom har Stockholm stad belönats för sitt miljöarbete och klimatinsatser då kommunen var den första europeiska stad att utses till miljöhuvudstad år 2010 av Europeiska kommissionen och årets klimatstad år 2014 av Världsnaturfonden (Stockholms stad 2010c & WWF, 2014). Priset för Europas miljöhuvudstad grundades på att Stockholm hade under året arbetat med miljöfrågor på ett sådant vis att staden var ett föredöme till andra Europeiska städer. En vidareutveckling av motiveringen till priset var att; *”staden har ett integrerat förvaltningssystem som garanterar att miljöaspekterna beaktas i budget, driftplanering, rapportering och övervakning, att staden har minskat koldioxidutsläppen med 25 procent per invånare sedan 1990 och att staden har fastställt målet att vara fossilbränslefritt 2050”* (Stockholms stad 2010c).

Stockholm tilldelades priset Sveriges klimatstad år 2014 av Världsnaturfonden och grundas på att Stockholm aktivt arbetar med klimatfrågor och uppvisar ambitiösa planer och åtgärder gällande förnybar energi (WWF 2014). Världsnaturfonden motiverade priset med att Stockholm kan agera förebild till andra städer när det gäller klimatfrågor då staden med

sannolikhet kommer nå sitt klimatmål år 2015, vilket innebär att staden ska ha minskat sitt utsläpp av koldioxid med 44 procent jämfört med 1990, samt nå delmålet att invånare inte ska släppa ut mer än 3 ton växthusgaser per person. Att staden bygger om ett miljonprogramsområde i Järva, med norra Europas största anläggning för solceller på tak samt gör stora investeringar på biogas är ytterligare en del i stadens utnämning till klimatstad år 2014. Då Stockholm investerar mycket tid och med största sannolikhet också stora mängder pengar på miljö- och klimatfrågor gör det anmärkningsvärt att stadens klimatanpassningsåtgärder för ökad nederbörd hamnat på efterkälken.

Med en ökande befolkning i Stockholm sätts det press på länet och framförallt på Stockholms stad att bygga fler bostäder. Naturliga följder av en stadsförtätning är en ökning i andelen hårdgjorda ytor vilket påverkar dagvattnets avrinning avsevärt (Stahre 2004). Staden har uppmärksammat behovet av naturliga infiltrationsytor så som gröna tak, trädplanteringar och vegetationsbeklädda vägdiken. Bostadsområden så som Norra Djurgårdsstaden och Hammarbysjöstad är tydliga exempel på hur Stockholms stad försöker tillgodose bostadsbehovet, samtidigt som staden på ett sätt försöker tillgodose stadens hållbarhet med bland annat innovativa dagvattenvattenlösningar (Stockholms stad 2010). Båda bostadsområden har etablerats på gammal industrimark, med målet att förtäta staden på ett effektivt sätt, och har anlagts med hänsyn till miljö och klimat. Problematiken med den här typen av förtätningar i Stockholms stad är den höga bostadskostnaden vilket förhindrar att göra området tillgängligt för flera samhällsklasser och snarare bidrar till en ökad ”ekologisk segregation” eftersom hållbara stadsdelar blir tillgängliga enbart för individer med ekonomiska möjligheter (Wangel 2013).

Svenskt Vatten, en högt ansedd branschorganisation, publicerar dimensioneringsanvisningar för ledningsnät som Stockholms stad och de flesta kommuner i landet utgår ifrån. Det innebär att ledningsnätet klarar av bräddningar från regn med en återkomsttid på 10 år och att befintliga dagvattenförändresystem i Stockholms stad är relativt välfungerade i relation till dagslägets nederbördsmängd (Stockholms stad 2013). Men enligt de klimatscenario som uppsatsen utgår från förväntas nederbörden öka i Stockholms län fram till år 2100 (Stockholms stad 2013c). Det näst lägsta klimatscenario 4.5 visar på en ökning av nederbörd på ungefär 17 % och att medeltemperaturen i Stockholm kommer öka med strax under 2,5° C, under angiven tidsperiod, medan det högsta RCP scenario 8.5 visar på en ökning av nederbörd på ungefär 30 % samt att medeltemperaturen stiger till cirka 4,5° C fram till seklets slut (SMHI 2014c). Samtidigt visar studier från MSB att korta, intensiva regn med en återkomsttid om 10 år förutspås öka med 23 % fram till år 2071-2100 (MSB 2013). Med detta som underlag måste Stockholms stad planera för långsiktig dagvattenhantering.

Ett välfungerande ledningsnät är en av två klimatanpassningsåtgärder som kan hantera dagvatten och för att uppnå en hållbarhet i dagvattenhanteringen är det primärt att stadens dimensioneringsanvisningar är anpassade efter aktuell nederbördsmängd. I Stockholms stads rapport; *Riskbild: Klimatförändringar och Stockholms stads sårbarhet* poängteras det att inte

endast utgå från medel- och medianvärden vid hantering av klimatrisker (Stockholms stad 2013). Rapporten belyser vikten av att riskhanteringen bör utgå från alla utfall av relevanta klimatscenarier, inte bara från medel- och medianvärden. Här uppstår det en problematik då Stockholm Vatten redovisar uppdaterade nederbördsberäkningar som ska ligga till grund för nya dimensioneringar av stadens dagvattensystem och dessa framtida vattenflöden utgår från en klimatkfaktor på 1,2. En dimensionering av en klimatkfaktor på 1,2 motsvarar en nederbördsökning på 20 % jämfört med idag och tar alltså inte med i beräkningen effekterna av ett högre klimatscenario; RCP 8.5. Med tanke på prognostiserade klimatscenario och rekommendationer från *Riskbild: Klimatförändringar och Stockholms stads sårbarhet* är det anmärkningsvärt att Stockholm Vatten inte beslutar att i fortsättningen överdimensionera stadens ledningsnät.

Den nya VA-taxan, från år 2000, stimulerade införandet av LOD och var ett klimatstrategiskt beslut som bidrar till att göra stadens dagvattenhantering mer hållbar. Taxan uppmärksammade inte bara dagvattenfrågan till allmänheten utan gav också privatpersoner möjligheten att ta ansvar för dagvatten på privatmark (Stockholm stad, 2002). Taxan blev ett incitament till privatpersoner att omhänderta dagvattnet lokalt, genom att dagvattenavgiften slopas helt eller delvis om dagvattnet inte leds ut i det allmänna ledningsnätet. Tydliga fördelar med att Stockholms stads övergripande VA-taxa är låg är att rent och friskt vatten kostar lite för invånarna, vilket bidrar till ett välmående samhälle. Men som Per Forsling från Fastighetsägarna poängterar leder detta sannolikt till ett bristande underhåll av ledningarna, vilket kan i resultera i översvämningar och bräddningar vid extremväder och ökad nederbörd (Fastighetsägarna 2014).

Stockholms stads konventionella dagvattensystem är underdimensionerat och kan som mest hantera regn med en återkomsttid på 10 år (Stockholms stad 2013). Denna dimensionering ger inte utrymme för större regn att omhändertas eller korta, intensiva regn som prognostiseras ske med större frekvens. Att bygga om hela Stockholms stads ledningsnät till ett duplicerat nät med "klimatanpassade" dimensioneringar är väldigt kostsamt och därför ogenomförbart (Stockholms stad 2013). Skulle staden endast använda VA-systemet som dagvattenförande system skulle ledningarna behöva dimensioneras till absurdum. Stadens LOD-anläggningar är oftast dimensionerade att hantera 2-årsregn vilket också är en underdimensionering. Anledningen till detta grundas i att anläggningarna är mindre och ska lättare kunna integreras på ett tilltalade sätt i staden. För att utveckla stadens dagvattenhantering är de essentiellt att den är fördelad på både VA-systemet och på öppna dagvattenförandesystem, dessutom måste båda systemen klimatanpassas och fler öppna dagvattenlösningar integreras i staden. För att utveckla Stockholms stads dagvattenhantering till mer hållbar kan inte vatten ledas till ett enskilt dagvattensystem. Långsiktig hållbarhet grundas snarare på hur en anläggning planeras, realiseras och samverkar tillsammans med andra dagvattensystem (Stahre 2004). Samtidigt ska dagvattenförandesystemen ha en klimatanpassad kapacitet, hålla hög vattenkvalitet och bidra till en tilltalade stadsmiljö.

Därför rekommenderas Stockholm stad att LOD integreras i så stor utsträckning som möjligt i hela staden, i både befintlig och planerad bebyggelse (Stockholms stad 2013). På så vis avlastas befintligt ledningsnät och mottagande recipienter mot vattenburna föroreningar. Dessutom gynnas Stockholms stad på flera vis genom att införa öppna dagvattenförändesystem i staden, eftersom det är en klimatanpassningsåtgärd vid både ökad nederbörd men och vid ökad temperatur. Exempelvis bidrar plantering av träd med en skuggeffekt och grönytor genom att verka avkylande (Stockholms stad 2013). Ytterligare en fördel som kan dras av införandet av öppna dagvattenförändesystem, i en urban miljö, är med vatten och grönytor i rekreationsområden och som estetiska inslag i stadsmiljö.

Slutsats

Syftet med den här studien har varit att undersöka om Stockholms stad har en hållbar, klimatanpassad strategi för dagvattenhantering. För att uppnå en långsiktigt hållbar dagvattenhantering måste, enligt Stahre (2004), krav på kapacitet, stadsmiljö och vattenkvalitet uppfyllas. Baserat på redovisad information i studien fastställer jag att Stockholms stad har fokuserat till stor del på stadens vattenkvalitet men lagt mindre arbete på att förbättra kapaciteten, genom att öka dimensioneringen av olika dagvattenssystem, och inte integrerat tillräckligt många öppna dagvattenssystem i staden för att skapa en trivsamt stadsmiljö. Därav drar jag slutsatsen att Stockholm stad bör ytterligare förbättra dagvattenhantering i kommunen för att uppnå en långsiktig hållbarhet.

Extremväder, en framtida nederbördsökning och ett förändrat nederbördsmönster kommer med stor sannolikhet resultera i dämningar och översvämningar på flera platser i Stockholms stad. Nederbörd som överstiger regnmängden för ett 10-årsregn eller mer, baserat på tidsperioden 1961 – 1990, kan inte hanteras av Stockholm stads befintliga dagvattensystem. Anledningen till detta är att staden inte i tillräckligt stor utsträckning utgår från klimatanpassade höjdsättningar, har en stor andel hårdgjorda ytor och få öppna dagvattenförändesystem. För att ge båda dagvattenförändesystem en större marginal att hantera extremväder och en ökad nederbörd rekommenderas, på basis av redovisad information i rapporten, Stockholms stad att utgå från det högsta RCP scenariot, 8.5, vid dimensionering av dagvattensystem i fortsättningen. Kostnaden för detta överstiger säkerligen kostnaden vid dimensionering av ett lägre RCP men är ett mer långsiktigt hållbart alternativ. Om staden utgår från RCP 8.5, där det regionala klimatet präglas av en nederbördsökning på ungefär 30% fram till år 2100, kommer kommunens dagvattenförändesystem konstrueras för att långsiktigt omhänderta dagvatten. På så vis avlastas framtida generationer från att vara tvungna att klimatanpassa ett dagvattensystem som annars skulle vara underdimensionerad.

Dessutom borde staden satsa på att omedelbart förverkliga principerna ur den nya dagvattenstrategin, som specificerar hur staden ska utveckla en robust och klimatanpassad dagvattenhantering i kommunen, för att nå en hållbar dagvattenhantering. På så vis minskar risken för försämrad råvattenkvalitet i stadens vattentäkt samt skador på befintlig och planerad bebyggelse vid översvämningar. Sedan är det viktigt att ett förtydligande av ansvaret kring dagvattenhantering arbetas fram i kommunen. För tillfället är ansvaret för dagvattenhantering uppdelat på flera aktörer, framförallt Stockholm Vatten, stadens nämnder och bolagsstyrelser, samt fastighetsägare och verksamhetsutövare vilket kan bidra till att stadens arbete med dagvattenhantering hamnat på efterkälken.

Möjliga åtgärder för att utveckla Stockholm stads dagvattenhantering att bli mer hållbar:

- Se över stadens dimensioneringsanvisningar för dagvattenförändesystem.
- Utgå från RCP 8.5 vid dimensionering av dagvattensystem i fortsättningen.
- Höj den generella VA-taxan för underhåll och implementering av dagvattenhantering.
- Klimatanpassa staden med höjdsättningar, färre hårdgjorda ytor och öppna dagvattenförändesystem.
- Integrera öppna dagvattenförändesystem i hela staden, både befintlig och planerad bebyggelse.
- Informera i större utsträckning till privatpersoner och fastighetsägare om möjligheten att implementera öppna dagvattenförändesystem på privatmark.
- Tydliggöra ansvaret för dagvattenhantering i kommunen.

Referenser

- Boverket, 2010. Mångfunktionella ytor - klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö i städer och tätorter genom grönstruktur, Boverket Rapport 978-91-86559-02-1, Karlskrona, 90 s.
- Fastighetsägarna. 2014. Låga VA-taxor kan förvärra översvämningar i Stockholm. Hämtat 5 november, 2014, från:
http://www.fastighetsagarna.se/stockholm/aktuellt/nyheter_1/2014/laga-va-taxor-kan-forvarra-oversvamningar-i-stockholm
- Flam, H. 2014. Finns det en prisbubbla på bostadsmarknaden? Hämtat 4 december, 2014, från: <http://ekonomistas.se/2014/01/14/finns-det-en-prisbubbla-pa-bostadsmarknaden/>
- IPCC. 2007. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC. 2013. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kjellström, E. R. Abrahamsson, P. Boberg, E. Jernbäcker, M. Karlberg, J. Morel och Å. Sjöström, 2014. Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget, SMHI Rapport 2014-9, Norrköping, 64 s.
- MSB, 2013. Översvänningskartering utmed Tyresån - Med detaljerad översvänningskartering för det identifierade området med betydande översvänningsrisk, Stockholms-området, MSB Rapport Dnr 2013-2655, Karlstad, 98 s.
- MSB, 2014. Vägledning för riskhanteringsplaner. MSB, Rapport version 2014-03-10, Karlstad, 39s.
- NE. 2014. Definition av hållbar utveckling. Hämtat 26 november, 2014, från:
http://www.ne.se/h%C3%A5llbar-utveckling?i_h_word=ekologisk+h%C3%A5llbar
- OECD, 2010. *Cities and Climate Change*. OECD Publishing, Rapport Nr 978-92-64-09137-5, Paris, Frankrike, 276 s.
- Olsson, J, J. Dahné, J. German, B. Westergren, M. von Scherling, L. Kjellson, F. Ohls, A. Olsson, 2010. En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem, SMHI Rapport 2010-3, Norrköping, 96 s.
- Revi, A., D.E. Satterthwaite, F. Aragón-Durand, J. Corfee-Morlot, R.B.R. Kiunsi, M. Pelling, D.C. Roberts, and W. Solecki, 2014: Urban areas. In: *Climate Change 2014:*

- Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 535-612 s.
- Regeringskansliet, 2009. Förordning (2009:974) med instruktion för Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, Lagrummet, SFS nr: 2009:974, Stockholm.
- SCB, 2013. Störst tillväxt utanför gamla stadskärnor, SCB, Publikation Nr 2013:67, Stockholm, 5 s.
- SMHI. 2014. Klimatportalen, om oss. Hämtat 21 oktober, 2014, från:
<http://www.klimatanpassning.se/om-oss>
- SMHI. 2014b. Normal uppmätt årsnederbörd, medelvärde 1961-1990. Hämtat 4 januari oktober, 2014, från:
<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/nederbord/normal-uppmatt-arsnederbord-medelvarde-1961-1990-1.4160>
- SMHI. 2014c. Klimatscenarier. Hämtat 2 oktober, 2014, från:
<http://www.smhi.se/klimatdata/framtidens-klimat/klimatscenarier?area=lan&var=n&sc=rcp45&seas=ar&dnr=0&sp=sv&sx=0&sy=0#area=lan&dnr=1&sc=rcp85&seas=ar&var=n>
- Stahre, P. 2004. En långsiktigt hållbar dagvattenhantering, planering och exempel, Stockholm: Svenskt Vatten
- Stensen, B , J. Andréasson, S. Bergström, J. Dahné, D. Eklund, J. German, H. Gustavsson, K. Hallberg, S. Martinsson, S. Nerheim och L. Wern, 2010. Regional klimatsammanställning – Stockholms län, SMHI Rapport 2010-78, Norrköping, 106 s.
- Stockholms stad. 2002. Dagvattenstrategi för Stockholms stad, Stockholm stad Rapport Dnr 1075/2002, Stockholm, 28 s.
- Stockholms stad. 2010. Övergripande program för miljö och hållbar stadsutveckling i Norra Djurgårdsstaden, Stockholms stad, Rapport Dnr 303-1015/2010, Stockholm, 59 s.
- Stockholms stad. 2010b. Vatten som resurs på gården, Stockholm stad, Rapport Dnr 363-749/02, Stockholm, 18 s.
- Stockholms stad. 2010c. Miljöhuvudstad. Hämtat 3 december, 2014, från:
<http://www.stockholm.se/OmStockholm/Stadens-klimatarbete/Miljohuvudstad-2010/>
- Stockholms stad. 2012. Stockholms miljöprogram 2012–2015, Stockholms stad Rapport Dnr 303-1207/2010, Stockholm, 59 s.
- Stockholms stad, 2013. Delrapport 2 – Riskbild: Klimatförändringar och Stockholms stads sårbarhet, Stockholms stad Rapport DNR 125-1901/2013, Stockholm, 84 s.
- Stockholms stad, 2013b. Dagvattenstrategi - Stockholms väg till en hållbar dagvattenhantering, Stockholms stad, Granskningsversion november 2013, Stockholm, 22 s.

- Stockholms stad, 2013c. Delrapport 1 – Inventering av Stockholms stads klimatanpassningsarbete, Stockholms stad Rapport DNR 125-1901/2013, Stockholm, 38 s.
- Stockholms stad. 2014. Statistik och fakta. Hämtat 21 oktober, 2014, från: <http://www.stockholm.se/OmStockholm/Fakta-och-kartor/>
- Stockholm Vatten, 2009. Projekteringsanvisningar för VA-ledningar 2009 Koncept, Stockholm Vatten, Stockholm, 225 s.
- Stockholm Vatten. 2010. Rening och fördröjning. Hämtat 15 oktober, 2014, från: <http://www.stockholmvatten.se/Vattnets-vag/Avloppsvatten/Dagvatten/Rening-och-fordrojning/>
- SvD. 2014. ”Det har varit totalt kaos”. Hämtat 4 november, 2014, från: http://www.svd.se/nyheter/inrikes/askovader-och-skyfall-paverkade-hela-stockholm-och-andra-delar-av-landet_3779184.svd
- Svenskt Vatten. 2014. Revidering av P90 Dimensionering av avloppssystem ”P90” blir ”P110”. Hämtat 20 oktober, 2014, från: <Http://www.svensktvatten.se/Documents/Kategorier/R%C3%B6rn%C3%A4t/R%C3%B6rn%C3%A4t%20o%20Klimat%202014/05%20P90%20blir%20P110%20-%20Svensson,%20B%C3%A4ckman.pdf>
- Svenskt Vatten, 2014b. Fakta om vatten och avlopp, Svenskt Vatten, Stockholm, 24 s.
- Vattenmyndigheten, 2014. Organisation. Hämtat 15 oktober, 2014, från: <http://www.vattenmyndigheterna.se/Sv/om-vattenmyndigheterna/organisation/Pages/default.aspx>
- Wangel, J., 2013. Manuskript till kapitlet ”Hur hållbara är Hammarby sjöstad och Norra Djurgårdstaden?” i Hållbarhetens villkor. Malmö, 19 s-
- Willows, R.I. and Connell, R.K. (Eds). (2003). Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making. UKCIP Technical Report. Rapport Nr 0-9544830-0-6, UKCIP, Oxford. 154 s.
- WWF. 2014. Stockholm utsedd till Sveriges klimatstad 2014. Hämtat 10 november, 2014, från: <http://www.wwf.se/press/pressrum/pressmeddelanden/1564982-stockholm-utsedd-till-sveriges-klimatstad-2014>
- Östlund, E och L. Lagerblad, 2011. Stockholm – varmare, blötare. Klimat- och sårbarhetsanalys för Stockholms län. Länsstyrelsen Stockholm Rapport 2011:28, Stockholm, 112 s.

Institutionen för naturgeografi och ekosystemvetenskap, Lunds Universitet.

Student examensarbete (Seminarieuppsatser). Uppsatserna finns tillgängliga på institutionens geobibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND. Serien startade 1985. Hela listan och själva uppsatserna är även tillgängliga på LUP student papers (<https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/>) och via Geobiblioteket (www.geobib.lu.se)

The student thesis reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography and Ecosystem Science, University of Lund, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden. Report series started 1985. The complete list and electronic versions are also electronic available at the LUP student papers (<https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/>) and through the Geo-library (www.geobib.lu.se)

- 320 Jurgen van Tiggelen (2014) Assimilation of satellite data and in-situ data for the improvement of global radiation maps in the Netherlands.
- 321 Sam Khallaghi (2014) Posidonia Oceanica habitat mapping in shallow coastal waters along Losinj Island, Croatia using Geoeye-1 multispectral imagery.
- 322 Patrizia Vollmar (2014) The influence of climate and land cover on wildfire patterns in the conterminous United States
- 323 Marco Giljum (2014) Object-Based Classification of Vegetation at Stordalen Mire near Abisko by using High-Resolution Aerial Imagery
- 324 Marit Aalrust Ripel (2014) Natural hazards and farmers experience of climate change on highly populated Mount Elgon, Uganda
- 325 Benjamin Kayatz (2014) Modelling of nitrous oxide emissions from clover grass ley – wheat crop rotations in central eastern Germany - An application of DNDC
- 326 Maxime Rwaka (2014) An attempt to investigate the impact of 1994 Tutsi Genocide in Rwanda on Landscape using Remote Sensing and GIS analysis
- 327 Ruibin Xu (2014) Spatial analysis for the distribution of cells in tissue sections
- 328 Annabelle Finck (2014) Bird biodiversity in relation to forest composition in Sweden
- 329 Tetiana Svystun (2015) Modeling the potential impact of climate change on the distribution of Western Corn Rootworm in Europe”
- 330 Joel Forsmoo (2014) The European Corn Borer in Sweden: A Future Perspective Based on a Phenological Model Approach
- 331 Andrew Ekoka Mwambo (2015) Estimation of Cropland Ecological Footprint within Danish Climate Commissions 2050 Scenarios for Land use and Bioenergy Consumption
- 332 Anna Lindstein (2015) Land- atmosphere exchange of carbon dioxide in a high Arctic fen: importance of wintertime fluxes
- 333 Karla Susana Markley Vergara (2015) Present and near future water availability for closing yield gaps in four crops in South America
- 334 Klara Århem & Fredrik Fredén (2015) Land cover change and its influence on soil erosion in the Mara region, Tanzania: Using satellite remote sensing and the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) to map land degradation between 1986 and 2013
- 335 Fei Lu (2015) Compute a Crowdedness Index on Historical GIS Data- A Case Study of Hög Parish, Sweden, 1812-1920

- 336 Lina Alleson (2015) Impact of photo-chemical processing of dissolved organic carbon on the bacterial respiratory quotient in aquatic ecosystems
- 337 Andreas Kiik (2015) Cartographic design of thematic polygons: a comparison using eye-movement metrics analysis
- 338 Iain Lednor (2015) Testing the robustness of the Plant Phenology Index to changes in temperature
- 339 Louise Bradshaw (2015) Submerged Landscapes - Locating Mesolithic settlements in Blekinge, Sweden
- 340 Elisabeth Maria Farrington (2015) The water crisis in Gaborone: Investigating the underlying factors resulting in the 'failure' of the Gaborone Dam, Botswana
- 341 Annie Forssblad (2015) Utvärdering av miljöersättning för odlingslandskapets värdefulla träd
- 342 Iris Behrens, Linn Gardell (2015) Water quality in Apac-, Mbale- & Lira district, Uganda - A field study evaluating problems and suitable solutions
- 343 Linnéa Larsson (2015) Analys av framtida översvänningsrisker i Malmö - En fallstudie av Castellums fastigheter
- 344 Ida Pettersson (2015) Comparing *Ips typographus* and *Dendroctonus ponderosae* response to climate change with the use of phenology models
- 345 Frida Ulfves (2015) Classifying and Localizing Areas of Forest at Risk of Storm Damage in Kronoberg County
- 346 Alexander Nordström (2015) Förslag på dammar och skyddsområde med hjälp av GIS: En studie om löv- och klockgroda i Ystad kommun, Skåne
- 347 Samanah Seyedi-Shandiz (2015) Automatic Creation of Schematic Maps - A Case Study of the Railway Network at the Swedish Transport Administration
- 348 Johanna Andersson (2015) Heat Waves and their Impacts on Outdoor Workers – A Case Study in Northern and Eastern Uganda
- 349 Jimmie Carpman (2015) Spatially varying parameters in observed new particle formation events
- 350 Mihaela – Mariana Tudoran (2015) Occurrences of insect outbreaks in Sweden in relation to climatic parameters since 1850
- 351 Maria Gatzouras (2015) Assessment of trampling impact in Icelandic natural areas in experimental plots with focus on image analysis of digital photographs
- 352 Gustav Wallner (2015) Estimating and evaluating GPP in the Sahel using MSG/SEVIRI and MODIS satellite data
- 353 Luisa Teixeira (2015) Exploring the relationships between biodiversity and benthic habitat in the Primeiras and Segundas Protected Area, Mozambique
- 354 Iris Behrens & Linn Gardell (2015) Water quality in Apac-, Mbale- & Lira district, Uganda - A field study evaluating problems and suitable solutions
- 355 Viktoria Björklund (2015) Water quality in rivers affected by urbanization: A Case Study in Minas Gerais, Brazil
- 356 Tara Mellquist (2015) Hållbar dagvattenhantering i Stockholms stad - En riskhanteringsanalys med avseende på långsiktig hållbarhet av Stockholms stads dagvattenhantering i urban miljö