

Examensarbete INES nr 503

Översvämningsanpassade samhällen med grön infrastruktur – ett behov i framtiden?

En förändringsanalys av grönytor och översvämningsrisk i Källby, Lund

Cecilia Axelsson Örberg

2020
Institutionen för
Naturgeografi och Ekosystemvetenskap
Lunds universitet
Sölvegatan 12
223 62 Lund



Cecilia Axelsson Örberg (2020).

**Översvämningsanpassade samhällen med grön infrastruktur – ett behov i framtiden?
En förändringsanalys av grönytor och översvämningsrisk i Källby, Lund.**

Kandidatexamensarbete nr 503, 15 hp i Naturgeografi och Ekosystemvetenskap
Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap, Lunds universitet

Nivå: Bachelor of Science

Kursperiod: *Mars* 2020 till *juni* 2020

Ansvarsfriskrivning

Detta dokument beskriver det arbete som utförts inom ett studieprogram vid Lunds universitet. Alla synpunkter och åsikter som uttrycks i denna är den ansvarige författarens, och inte nödvändigtvis institutionens.

Översvämningsanpassade samhällen med grön infrastruktur – ett behov i framtiden?

En förändringsanalys av grönytor och översvämningsrisk i
Källby, Lund

Cecilia Axelsson Örberg

Kandidatexamensarbete, 15 högskolepoäng, i Naturgeografi och
Ekosystemvetenskap

Handledare:
Andreas Persson
Lunds universitet

Tilda Brage
Stadsbyggnadskontoret Lunds kommun

Examinatorer:
Cecilia Axelsson
Petter Pilesjö

Förord

Detta kandidatarbete har utförts på uppdrag av Stadsbyggnadskontoret i Lunds kommun som, för att bättre kunna planera för framtiden, hade en önskan och ett behov av att studera hur grön infrastruktur förändrats i kommunen över tid. I samråd med universitetet och kommunen utvecklades sedan projektet till att också omfatta risk för pluviala översvämningar och hur den potentiell är kopplad till förändringen av grön infrastruktur, samt hur de båda faktorerna påverkar kommande byggnationer i området Källby i Lund.

Först och främst vill jag tacka mina två handledare Andreas Persson (Lunds universitet) och Tilda Brage (Lunds kommun) för deras vägledning, uppmuntran och inte minst värdefulla kunskap, som de bidragit med genom hela arbetet. Vidare vill jag tacka Sam Sarwat som hjälpt mig med programmering av modellen TFM-DYN och Karin Larsson för hennes tålamod, stöttning och otroliga kompetens inom GIS. Tack även till min vän och studiekollega Isabell Plars för givande diskussioner kring infiltration och markfriktion men även för att hon under hela processen delat både frustration, lunchraster och framsteg med mig. Slutligen vill jag också rikta ett tack till Malin Planander på Miljöbron Skåne som förmedlat detta projekt.

Sammanfattning

Klimatförändringar är idag ett faktum och påverkar både människor och vår omgivning världen över. I Lund i södra Sverige beräknas både mängden och frekvensen av extrema skyfall att öka i framtiden, som konsekvenser av klimatförändringarna, vilket skapar stor risk för översvämningar. Samtidigt växer befolkningen och fler bostäder behövs men när nya stadsdelar byggs så finns det risk för att permeabla grönytor, där ytavrinning från skyfall annars kan infiltrera, försvinner. Istället skapas hårdgjorda ytor vilket bidrar till ytterligare ytavrinning och ökad risk för urbana översvämningar som kan ha stora samhällskonsekvenser.

I denna studie har kopplingen mellan grönytor och översvämningar i området Källby i Lunds kommun undersökts. Området är ett av kommunens fokusområden för framtida stadsutveckling och förtätning. En förändringsanalys mellan år 1940 – 2019 av grönytor har utförts med GIS och fjärranalys av ortofoton. Från detta har översvämningsrisken i relation till ändrad mängd grönyta analyserats med den hydrologiska modellen TFM-DYN (Pilesjö och Hasan 2014; Nilsson 2017) som beräknar ackumulerat vattendjup under ett nederbördstillfälle baserat på infiltration, markfriktion, höjddata samt nederbördsintensitet vid ett 100-årsregn. Framtidsrisker med ökad nederbörd enligt ett klimatscenario har också simulerats. Modelleringen för åren 1940–2019 visar att utbredningen av potentiellt översvämmade områden inte ändras med minskad mängd grönytor över tid men däremot ökar andelen högriskområden och vattnets maxdjup. Om nederbörden ökar i framtiden enligt ett klimatscenario så ökar magnituden av dessa faktorer ytterligare och dessutom ses en större utbredning av potentiellt översvämmade ytor i området. Resultatet av analysen pekar också på vikten av att beakta översvämningsrisk i stadsplanering, genom att ta in kunskap om översvämningsanpassning, för att hållbart kunna utveckla och förtäta nuvarande och nya stadsdelar. Rekommendationer kring översvämningsanpassning med grön infrastruktur ges i denna studie och kan implementeras både i Källby som studien utförts i men även i andra områden.

Nyckelord: fjärranalys, förändringsanalys, GIS, grön infrastruktur, grönstruktur, grönytor, Källby, Lund, skyfallskartering, stadsutveckling, TFM-DYN, översvämningar, översvämningsanpassning, översvämningsrisk

Abstract

The consequences of climate change affect our environment as well as humanity all over the world. For the city of Lund in southern Sweden, climate change consequences are seen as an increase of both intensity and frequency of extreme rain events, which causes an extensive risk for pluvial flooding. Simultaneously, the population and need for housing are growing. When building new districts, the permeable green surfaces, that can infiltrate surface runoff water, are often converted into impermeable surfaces. This enhances the runoff water and the risk of flooding, which may have devastating social, economic and health related consequences.

In this bachelor thesis, the connection between green surfaces and flood risk has been studied for the area of Källby in Lund municipality. Källby is a focal district for future development plans and is therefore of high interest. Change analysis of green infrastructure was done over the years 1940-2019, using GIS and remote sensing. From this, the hydrological model TFM-DYN (Pilesjö and Hasan 2014; Nilsson 2017) was used to model the risk of flooding with the change of green infrastructure over time. The model is based on infiltration values, surface friction values, a digital elevation model and rain intensity for a 100-year rain event. Future risk of flooding has also been modeled using a future climate scenario. The results show that the extent of potentially flooded areas does not change with a reduction of green surfaces over time. However, high-risk areas and maximum water depth will increase as green surfaces decrease in extent. For a future scenario, the magnitude of all these factors will increase even further in addition to an increase in the total flood extent. The results of this analysis also indicate the importance of flood adaptation strategies in city planning for sustainable management and development. General recommendations on how this can be implemented are given in this study and can be used both in the area of Källby where the study was conducted, but are also of relevance for other areas.

Keywords: change analysis, city planning, extreme rain events, flood adaptations, flood risk, GIS, green infrastructure, green surfaces, Källby, Lund, pluvial flooding, remote sensing, TFM-DYN

Innehållsförteckning

1. Introduktion	8
1.1 Syfte och frågeställningar	9
1.2 Avgränsningar	10
2. Bakgrund	12
2.1 Studieområde.....	12
2.2 Definition av 100-årsregn	13
2.3 Pluviala översvämningar och definition av risk.....	14
2.4 Definition av grönyta och grön infrastruktur.....	15
3. Metod	16
3.1 Förändringsanalys av grönytor i GIS.....	16
3.1.1 Beskrivning av GIS.....	16
3.1.2 Ortofoton	16
3.1.3 Analys av grönytor.....	16
3.2 Modellering av översvämningsrisk med modellen TFM-DYN.....	17
3.2.1 Beskrivning av modellen TFM-DYN	17
3.2.2 Insamling och beskrivning av indata	18
3.2.3 Utförande och presentation av resultat.....	21
4. Resultat	22
4.1 Förändring av grönytor i Källby år 1940–2019.....	22
4.2 Förändring av översvämningsrisk i Källby med ändrad mängd grönyta..	25
4.2.1 Fokusområden - förändring av ackumulerat maxdjup över tid.....	29
5. Diskussion	31
5.1 Kopplingen mellan utbredning av grönytor och översvämningsrisk.....	31
5.2 Strategier för utveckling av nya grönytor och motverkan av översvämningar	32
5.3 Potentiella felkällor.....	34
5.3.1 Ortofoton	34
5.3.2 Infiltrationsvärden.....	34
5.3.3 Höjddata.....	35
5.3.4 100-årsregn och vattendjup.....	35
6. Slutsats	37
Referenser	39

1. Introduktion

Klimatförändringarna är idag ett faktum och dess konsekvenser påverkar både oss människor och vår omgivning. Stigande hav, långa perioder av torka och mer frekvent förekommande skyfall är exempel på följder av stigande globala temperaturer (Bernes 2016). I kombination med att minska utsläppen av koldioxid i atmosfären så är det mycket viktigt att dagens och framtidens förvaltning av vår miljö tar med klimatförändringarnas konsekvenser i beräkningen när nya planer för t.ex. byggnation görs, både på nationell och lokal nivå (Persson et al. 2018; Berndtsson et al. 2019). Samtidigt har vi en ökande folkmängd och nationell bostadsbrist i våra urbana delar av landet att ta hänsyn till (Boverket 2019).

I Lunds kommun i södra Sverige så beräknar SMHI (Ohlsson et al. 2015) att en av de mest påtagliga konsekvenserna av förändrat klimat och global uppvärmning är ökade mängder nederbörd. Extrema skyfall, som idag infaller med en återkomsttid på 100–1000 år, kommer att förekomma oftare. Dessutom är mängden nederbörd som faller vid ett 100-årsregn uppskattad att för de kommande 80 åren i Skåne bli ca 30 % större än idag vid ett RCP (Representative Concentration Pathway) 8,5 scenario (Ohlsson et al. 2015). Oftare förekommande och större skyfall ökar risken för översvämningar i urbana områden (Olsson et al. 2017; Park och Lee 2019). En viktig faktor som kan minska översvämningensrisk i urbana områden är permeabla gröna ytor (även kallad grön infrastruktur) (Ellis 2012; Persson et al. 2018). Icke permeabla ytor finns vanligtvis i bebyggda och urbana områden (betong, asfalt etc.) och på en sådan yta kan vattnet inte infiltrera marken utan skapar istället ytavrinning (Jacobson 2011; Ellis 2012; Olsson och Josefsson 2015). Vid ett intensivt skyfall kan denna avrinning snabbt leda till ett högt vattendjup och s.k. pluviala översvämningar av viktiga samhällsstrukturer såsom gator, viadukter, byggnader mm (Park och Lee 2019). Permeabla, gröna ytor som till exempel gräsmattor, parker och odlad mark, kan däremot infiltrera vatten och bidrar till minskad ytavrinning. Ju mer gröna ytor det finns, desto mindre är risken för pluviala översvämningar (Jacobson 2011; Ellis 2012; Olsson och Josefsson 2015).

Stadsbyggnadskontoret i Lunds kommun har sedan en tid tillbaka önskat att undersöka och skapa ett underlag för hur mängden icke permeabla hårdgjorda ytor och permeabla grönytor har förändrats i kommunen över det senaste seklet. GIS (geografiska informationssystem) och analys av flyg och satellitbilder är vanliga verktyg för att studera hur markyta och terräng förändrats både temporärt och spatialt (Gill et al. 2007; Jacobson 2011; Harrie 2013) och kan användas även i Lunds kommun där högkvalitativa flygfoton finns producerade sedan början av 1940-talet. Motivet till att ta fram detta underlag är att visa hur kommunen har utvecklats och hur det kan hjälpa oss att förstå vår nutid och skapa bättre förutsättningar för stadsutveckling i framtiden. Detta är något som sammanfaller väl med att säkra våra samhällen för ett förändrat klimat och större mängder nederbörd. Befolkningen i Lunds kommun ökar drastiskt och nya bostäder och stadsdelar behövs för att tillgodose invånarnas behov (Lunds kommun 2017) vilket gör en sådan analys viktig för att kunna planera nya delar av staden på ett hållbart och översvämningssäkert sätt.

Ett område som ligger i fokus för framtida stadsutveckling och expanderingsområde är området Källby i sydvästra Lund (Lunds kommun 2019). En fördjupad översiktsplan har tagits fram av Lunds kommun och under år 2020 sammanställs synpunkter på vidare utveckling för området. En detaljplan beräknas vara färdig och vinna laga kraft år 2021 (Lunds kommun 2019). I sin fördjupade översiktsplan har kommunen tagit fram två olika förtätningssalternativ som båda

innefattar byggnation av 3000–4000 nya bostäder men där användningsområden av markytan prioriteras olika. Förtätningalternativ 1 innebär förflyttning av koloniträdgårdar till en ny plats, bibehållande av idrottsområden samt nya grönområden och rekreationsområden som skapas när Källby reningsverk flyttas. Detta alternativ är beräknat att skapa 8,2 ha av nya grönytor inom området. Förtätningalternativ 2 innebär ingen förflyttning av koloniträdgårdar men däremot av idrottsområden. Idrottsområden och ny bebyggelse kommer att ta plats ända ner i ådalen på ytor där Källby reningsverk tidigare var placerat. Detta alternativ skapar inga nya grönytor i området (Lunds kommun 2019).

Några av kommunens mål för den nya utvecklingen av Källby är att rekreativa och ekologiska värden i linje med den kvalitativa grönstrukturen ska öka samt att all nybyggnation i Lund ska ha motståndskraft att kunna hantera ett 100-årsregn, även om nederbörds mängden vid ett sådant regn ökar med 30 % på grund av klimatförändringarna. (Lunds kommun 2019). Det maximala flöde dagvatten som kan tas om hand i ledningsnätet och i dagvattenbrunnar definieras som det flöde som uppstår efter ett 10-årsregn. Vid ett regn av 100-årskaraktär så överskrids däremot kapaciteten i vattenledningsnätet. Det är därför nödvändigt att mark i form av grönytor där vatten kan infiltrera avsätts på lämplig plats för att skydda staden från de fysiska skador och ekonomiska förluster som ett 100-årsregn kan innebära (Ellis 2012; Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2017). Detta är särskilt viktigt då klimatförändringarna har blivit ett faktum som vi måste anpassa oss till (Berndtsson et al. 2019; Lunds kommun 2019).

Framtidens planer för Källby innebär som tidigare nämnts antingen en ökning av grönytor på 8,2 ha (förtätningalternativ 1) eller ingen förändring av grönytor (förtätningalternativ 2). Det är viktigt att förstå kopplingen kring hur förekomst och placering av grönytor tidigare har påverkat och kan påverka risken för översvämningar vid skyfall i framtiden och om det är nödvändigt att ta med detta i beräkningen för utveckling av stadsdelen Källby (Lunds kommun 2019). Detta har, i kombination med önskemålet från Lunds kommun att studera förändringen av grönytor i kommunen över tid, gett upphov till denna studie där utbredning av grönytor och översvämningrisk kommer att analyseras vid fyra tillfällen under tidsperioden år 1940–2019 samt vid ett framtida skyfallsscenario.

För att simulera översvämningrisk används ofta olika sorter av hydrologiska flödesmodeller (Jacobson 2011). Till skillnad från många vanliga statiska modeller så använder modellen TFM-DYN (Triangular Form-based Multiple Flow Dynamic Model) en dynamisk flödesalgoritm som beräknar vattendjup och fördelning av vattnet över ett tidsspänn där varje tidssteg kan analyseras (Nilsson 2017). Modellen baseras på höjddata, infiltration, markfriktion och nederbördsintensitet. Detta är information som finns tillgänglig både i Källby och i de flesta andra områden vilket och gör modellen relativt enkel att applicera och använda i olika miljöer (Nilsson 2017). I Källby förändras dessutom både infiltration och markfriktion med mängden förändrad grönyta och modellen TFM-DYN passar därför bra att använda i denna studie för att simulera översvämningrisken vid ett 100-årsregn, i relation till förändrad mängd grönytor över tid.

1.1 Syfte och frågeställningar

Syftet med denna studie är att identifiera och analysera förändringen av grön infrastruktur och översvämningrisk i Källby, Lund. Förändringsanalys av grönytor utförs med GIS och analys av

flygbilder vid fyra olika tillfällen under tidsperioden år 1940–2019. För varje tidsnedslag används den dynamiska hydrologiska flödesmodellen TFM- DYN (Pilesjö och Hasan 2014; Nilsson 2017) för att simulera risken för översvämning vid ett 100-årsregn i relation till mängden grön infrastruktur. Ett framtidsscenario analyseras också, där mängden grönytor är samma som för år 2019 men där nederbördsmängden ökat med 30 %.

Från resultatet av detta förs en diskussion kring rollen och värdet av grön infrastruktur i samhället ur ett översvämningssperspektiv, samt hur detta avspeglas i kommunens fördjupade översiktsplan och framtidsplaner för studieområdet. Underlaget som visar förändringen av grön infrastruktur och översvämningrisk, över tid och i framtiden, kan användas i Lunds kommuns vidare arbete och ligga till grund för kommande beslutsfattande kring nybyggnation och anpassning till ökade mängder nederbörd.

Följande frågeställningar kommer i denna studie att besvaras:

- 1. Hur mycket har grön infrastruktur i Källby förändrats i % yta mellan åren 1940, 1973, 2004 och 2019?*
- 2. Hur ser förändringen i översvämningrisk ut med ändrad mängd grönyta?*
- 3. Hur kommer risken för översvämningar att se ut i framtiden om mängden grönytor och hårdgjorda ytor ej ändras från idag men 100-årsregnen kommer att öka i nederbördsmängd med en klimatfaktor på 1,3 (RCP 8,5 scenario)?*
- 4. Hur kommer kommunens beslut kring förtätningalternativ 1 eller 2 (1: 8,2 ha mer grönytor, 2: ingen förändring av grönytor) i den fördjupade översiktsplanen för Källby att påverka översvämningrisken i framtiden?*

1.2 Avgränsningar

Denna studie har utvecklats i samarbete med Stadsbyggnadskontoret i Lunds kommun och beslut kring avgränsningar har därför gjorts efter gemensam diskussion. Studien har avgränsats till att endast omfatta området Källby i Lunds kommun. Områdets utbredning är exakt samma yta som har använts i kommunens fördjupade översiktsplan för Källby (Lunds kommun 2019) och valdes dels för att det är ett av fokusområdena för framtida utveckling i Lunds kommun men också då det har en intressant hydrologisk placering med närhet till Höje å.

Till en början var analysen av förändrad grönyta planerad att utföras mellan åren 1900 och 2019. Detta begränsades sedan till att omfatta åren 1940–2019 eftersom de tidigaste digitala flygbilderna är från år 1940. Då studien är tidsbegränsad bestämdes det att göra fyra nedslag i tid genom historien som ska representera förändringar av grönyta över tidsperioden. Åren som valdes är år 1940, 1973, 2004 och 2019. Motivet till att just de åren valdes är för att få en relativt jämn tidsmässig spridning av dataset från perioden år 1940–2019 men också för att data av hög kvalitet finns tillgänglig för de valda åren. Endast digitala skalriktiga flygbilder, s.k. ortofoton har använts i studien. Minsta individuella objekt att digitalisera bestämdes vara 20 x 20 m, då det var det minsta objekt som gick att urskilja i de äldsta ortofoton som har den lägsta upplösningen.

För framtida översvämningrisker från skyfall har ett 100-årsregn med klimatfaktor 1,3 (30 % ökning i mängd) använts då detta är den vedertagna projektionen för skyfallskartering och

klimateanpassning inom Lunds kommun (2019) och även nationellt rekommenderat av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2017).

Infiltrationskapacitet och topografi kan ha ändrats över tid med anledning av t.ex. byggnationer, rivningar och schaktningar. Men då denna studie endast fokuserar på förändring av mängd permeabla grönytor över tid så är topografin satt till att vara konstant, baserat på höjddata från år 2015. Detta kan dock ge en viss osäkerhet i resultatet, särskilt i områden där artefakter från borttagning av hus finns kvar från när man producerade höjdmodellen. Infiltrationskapacitet påverkas av många faktorer såsom jordmån, typ av vegetation mm. men har på grund av tidsbegränsning i denna studie avgränsats till att endast omfatta den ursprungliga jordartens påverkan på infiltration. Detta är en osäkerhetsfaktor i studien, då exempelvis markarbeten och schaktningar kan ha ändrat den ursprungliga jordarten och därmed infiltrationskapaciteten i jorden. På de platser där hårdgjorda ytor finns har infiltrationskapaciteten fått värdet 0.

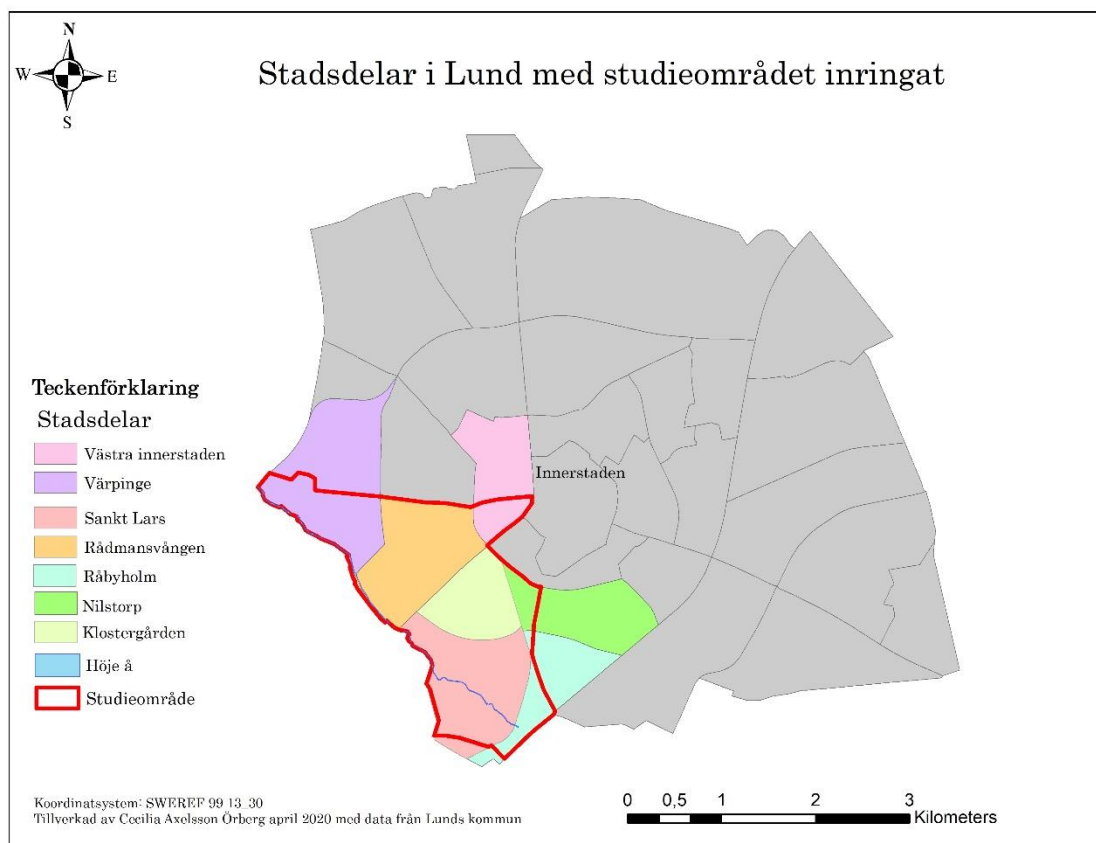
2. Bakgrund

2.1 Studieområde

Studieområdet Källby (Figur 1) ligger i sydvästra Lund och är ca 420 ha stort och har ungefär 8700 invånare (Lunds kommun 2019). Delar av stadsdelarna Väster, Värpinge, Råbyholm och Nilstorp ingår, samt hela Sankt Lars, Klostergården och Rådmansvången (Figur 1). I området rinner också Höje å, stadens vattenstråk. Ån bidrar till gröna rekreationsområden men också till avloppsrening i de dammar som anlades där i början av 1930-talet. Dammarna är en del av Källby reningsverk och utför biologisk slutrengöring av avloppsvatten innan vattnet rinner vidare ut i Höje å och ner i Lommabukten (VA Syd 2020). Källby reningsverk har idag nått sin maximala kapacitet och är planerat att avvecklas under år 2023. Istället ska en pumpstation byggas och vattenledningarna ska kopplas till Sjölunda ledningsverk i Malmö (Ekologigruppen AB 2019). Förflyttningen av reningsverket kommer att innebära att nya markytor frigörs och står till kommunens förfogande.

I nära anslutning till ån planerar Lunds kommun att bygga en ny tågstation vid Klostergården som ska stå klar år 2024 (Lunds kommun 2019). Runt den kommer stadsdelen att förtätas och målet är att under en längre tidsperiod bygga ca 3000–4000 nya bostäder med cykelvägar som huvudsakligt transportstråk. Ett beslut kring detta kommer att ske enligt förtätningalternativ 1 och 2 (se avsnitt 1. Introduktion) och är beräknat att tas under år 2021 (Lunds kommun 2019).

Idag rinner ungefär hälften av dagvattnet i Lunds kommun ut i Höje å (VA Syd 2018) som har ett stort naturvärde och kapacitet till att bli ett naturskyddsområde (Helgeson och Eckeskog 2019). Det krävs analys på hur grönytor har förändrats i området för att förstå hur Höjeådalen ska användas och potentiellt skyddas. Det är också viktigt att studera hur förändringar i gröna ytor har påverkat och kommer att påverka risken för översvämningar vid ett 100-årsregn, historiskt, idag och i framtiden.



Figur 1: Karta som visar stadsdelar i studieområdet.

2.2 Definition av 100-årsregn

Förekomsten av extrema väderfenomen såsom kraftiga skyfall definieras och mäts ofta med dess återkomsttid. Om återkomsttiden av en händelse är 100 år så innebär det att händelsen i genomsnitt äger rum eller överträffas en gång per 100 år och sannolikheten att händelsen ska ske ökar med 1 % för varje år, oberoende av när händelsen senast inträffade. Ett 100-årsregn är definierat som ett skyfall med intensiteten 1 mm på 1 min, 30 mm på 10 min eller 50 mm på en timma (SMHI 2014; Svenskt Vatten 2016; Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2017). 100-årsregn förväntas inträffa oftare i framtiden då regnintensiteten kommer att öka som en konsekvens av klimatförändringarna. Enligt Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2017) så kommer sannolikheten att ett 100-årsregn inträffar att fördubblas om regnintensiteten ökar med endast 25 %. Eftersom SMHI (Ohlsson et al. 2015) har beräknat att regnintensiteten kommer att öka med 30 % i Skåne under de kommande 80 åren så kan Skånes invånare räkna med en minst fördubblad sannolikhet att ett 100-årsregn inträffar. Det är därför mycket viktigt att redan idag förebygga och planera för detta i all typ av nybyggnation, förtätning och utveckling av städer (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2017).

I denna studie används den ovan nämnda definition av intensitet av ett 100-årsregn (SMHI 2014; Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2017; Svenskt Vatten 2016) i modelleringen av översvämningsrisk för år 1940, 1973, 2004 och 2019. För att uppskatta framtida risker för de kommande 80 åren görs även ytterligare en modellering med övriga data från år 2019 men där nederbördsintensitet under ett 100-årsregn har ökat med en klimatkfaktor på 1,3, enligt rekommendation från Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2017).

2.3 Pluviala översvämningar och definition av risk

Markytor i naturliga miljöer översvämmas oftast via mättad ytavrinning som innebär att grundvattnet når upp till markytan eller att marken är vattenmättad vilket förhindrar vidare infiltration (Alström och Wedding 2013). På icke permeabla eller väldigt torra ytor sker istället Hortonsk ytavrinning som innebär att regnintensiteten är så hög att markens infiltrationsförmåga inte räcker till. Jordens sammansättning och material har stor betydelse för Hortonsk ytavrinning vilket är den typ av ytavrinning som oftast orsakar pluviala översvämningar i urbana områden (Alström och Wedding 2013). Markytans friktion är också en viktig faktor då hårdgjorda ytor har låg friktion, alltså mindre flödesmotstånd, än permeabla ytor. Detta ökar hastigheten av ett vattenflöde och på så sätt även händelseförloppet vid en översvämning (Jacobson 2011; Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2017). Dessa pluviala översvämningar som en konsekvens av skyfall kan få stor påverkan på bostäder, samhällsviktig verksamhet och infrastruktur samt skada människor (Gill et al. 2007; Jacobson 2011; Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2017).

Begreppet ”risk” används allmänt för att beskriva något som utgör en fara av något slag men dess egentliga vetenskapliga betydelse är definierad som fara multiplicerat med sårbarhet (Kroon 2005). En fara kan alltså existera utan att det innebär en risk. Faran blir till risk då något sårbart av värde utsätts för faran. Det kan vara människor, ekonomiskt värde eller sociala värden och flyttar man på sårbarheten så försvinner alltså risken, men faran finns kvar (Kroon 2005). Trots detta används ordet ”översvämningrisk”, dock tekniskt felaktigt, mycket ofta i allmän litteratur för att beskriva fara för översvämningar, vilket man oftast mäter i djup av ackumulerat vatten över tid eller vattendjup multiplicerat med hastighet (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2017; Lunds kommun och VA Syd 2018). Även denna studie använder begreppet ”översvämningrisk” för att beskriva farozoner för översvämningar. Den egentliga risken i dess vetenskapliga betydelse är alltså inte definierad även om ordet ”risk” används, då sårbarhet inte tagits med i beräkningen.

Översvämningrisk mäts i denna studie med maxdjup av ackumulerat vatten vid ett 100-årsregn (Tabell 1). Definitionen är tagen från översvämningssplanen för Lunds kommun (Lunds kommun och VA Syd 2018) men riskklasser har i denna studie lagts till med värden från 0 (ingen risk) till 3 (mycket stor risk). Detta för att enkelt kunna referera till och beskriva de olika riskscenarierna.

Tabell 1: Beskrivning och definition av risk som använts i denna studie.

Ungefärligt maxdjup (m)	Konsekvenser	Riskklass
0–0,1	-	0
0,1–0,3	Besvärande framkomlighet	1
0,3–0,5	Kraftigt begränsad framkomlighet för motorfordon, stor risk för skada	2
>0,5	Stora materiella skador samt risk för hälsa och liv	3

2.4 Definition av grönyta och grön infrastruktur

Ord som grönyta, grön infrastruktur och grönstruktur används ofta i litteratur, studier, verksamhetsrapporter mm. för att beskriva liknande eller samma saker. I denna studie kan flera av orden förekomma men syftar till samma betydelse. Det finns ingen fast definition av vad grönytor eller grön infrastruktur innefattar utan definitionen varierar inom olika områden och beroende på övergripande syfte varför dessa ytor är av intresse. Gemensamt är att det handlar om permeabla ytor täckt av någon form av växtlighet, som bidrar till ekosystemtjänster som t.ex. renare luft, biologisk mångfald, klimatanpassning och minskad risk för pluviala översvämningar. I vissa fall kombineras blå (vattendrag, sjöar mm.) och grön infrastruktur i samma definition och kallas då oftast för blågrön infrastruktur. I denna studie används definitionen av grön infrastruktur från Europeiska kommissionen (2013) då den även används av Lunds kommun i sin översiktsplan (Lunds kommun 2018) och sitt grönstrukturprogram (Lunds kommun 2020):

“Grön infrastruktur är ett nätverk av naturliga och semi-naturliga miljöer av hög kvalitet, samt andra gröna miljöer, vilka är strategiskt planerade, utformade och skötta i syfte att leverera ett brett spektrum av ekosystemtjänster samt skydda biologisk mångfald, både i städer och på landsbygden” (Europeiska kommissionen 2013 s.5).

Exempel på grönstruktur enligt definitionen ovan är parker, naturområden, grönstråk, kolonilotter och gräsmattor. Då denna studie undersöker förändringen av grönyta med fokus på pluviala översvämningar så har klassificering av gröna ytor gjorts med fokus på permeabilitet. Det betyder att alla typer av permeabla ytor har definierats som grönytor, detta inkluderar även privata trädgårdar och jordbruksmark. Dessutom har Lunds kommun som mål att bevara all typ av jordbruksmark då den har högkvalitativ jord samt viktiga rekreations och klimatanpassningsvärden (Lunds kommun 2018). I studieområdet har mycket av jordbruksmarken trots allt konverterats till bebyggelse över tid och det är därför relevant att ta med jordbruksmark i beräkning av förändrad mängd grönyta. Dessutom så inkluderades jordbruksmark också som en grönyta för att minska felkällor i klassificeringen, då det i de äldsta flygbilderna från år 1940 och år 1973 ibland var svårt att urskilja om en yta var t.ex. jordbruksmark eller betesmark.

3. Metod

3.1 Förändringsanalys av grönytor i GIS

3.1.1 Beskrivning av GIS

GIS är ett datorbaserat system för insamling, behandling och analys av geografiska data (Harrie 2013). Det finns många olika sorters GIS-program och i denna studie har ArcMap 10.5.1 (ESRI 2018) använts då det är den programvara som används av både Lunds kommun och Lunds universitet där denna studie har utförts. De resulterande datalagren kommer att vara tillgängliga i rasterformat i kommunens databaser där samma version av ArcMap används. Det vedertagna tillvägagångssättet för förändringsanalys innebär digitalisering av flyg eller satellitbilder där man sedan räknar ut mängden förändrad yta i valfri arealenhet eller procent. Förändringen brukar vanligtvis presenteras i en tabell (Harrie 2013). Denna metod har även använts i denna studie.

3.1.2 Ortofoton

Flygbilderna som används i förändringsanalysen har blivit digitalt inskannade och geometriskt korrigerade för att skalriktigt avbilda marken. Efter en sådan behandling kallas bilderna för ortofoton och presenteras i rasterformat (Harrie 2013). Alla ortofoton är insamlade från Lunds kommuns databas och är i koordinatsystemet SWEREF99_13_30.

Då bilderna är tagna över ett tidsspänn på 80 år har kvalitén och bildernas upplösning förändrats avsevärt över tid (Tabell 2). Bilderna från år 1940 och år 1973 är dock med hänsyn till årtalen av hög standard och har därför inte begränsat arbetet på ett betydande sätt.

Tabell 2: Teknisk beskrivning av ortofoton som använts i denna studie.

År	Färg/Svartvit	Upplösning
1940	Svartvit	1 m
1973	Svartvit	0,5 m
2004	Färg	0,5 m
2019	Färg	0,25 m

3.1.3 Analys av grönytor

När insamling av ortofoton från Lunds kommuns databas slutförts så påbörjades digitaliseringen av ortofoton. Minsta objekt att digitalisera valdes till 20 x 20 m då detta var storleken på det minsta objekt som gick att urskilja i det äldsta ortofotot från år 1940. Digitaliseringen skedde systematiskt med start av det första ortofotot från 1940 och avslutades med det sista från år 2019. Digitaliseringen resulterade initialt i polygoner för klassificering av markytan i sju olika klasser (Tabell 3). Vidare gjordes klassificeringar utifrån dessa grundläggande klasser till markyta med fokus på permeabilitet samt om ytan är av grön eller grå (hårdgjord) struktur (Tabell 3). Attributtabellerna uppdaterades kontinuerligt under digitaliseringens gång. Vägar digitaliserades som ett separat linjeskikt varpå en buffertzon sedan applicerades för att göra väg-lagret till polygoner, varpå dessa kunde kombineras med markyta-lagret i en överlagring. Buffertzonens

avstånd på varje sida av vägen baserades på vägarnas faktiska bredd efter att dessa mätts ut i bilden och sattes till 1 m på traktorvägar, 2 m på mindre vägar, 5 m på stora dubbelfiliga vägar och 10 m på flerfiliga vägar. Till detta lager inkluderades också Höje å som en polygon. För att spara tid och inte utföra dubbelt arbete så hämtades ett vektorlager som representerar Höje å från GSD Fastighetskartan i Lantmäteriets databas (2017).

Digitaliseringen resulterade i ett vektorlager för varje år i studien där markyta, vägar och vattendrag kombinerats till ett gemensamt attribut som beskriver markanvändningen och om den är av grön eller grå struktur (Tabell 3). Baserat på detta lager skapades sedan ett lager i rasterformat som symboliserar gröna och grå strukturer för respektive år. Förändringen av grönyta i % räknades ut och presenterades i resultatet som en förändringstabell. Denna tabell samt de fyra rasterlagerna har vidare gjorts tillgängliga för intern användning i Lunds kommuns databaser för att visualisera förändringar av grönyta i kommunen över tid. Alla producerade lager är i koordinatsystemet SWEREF99_13_30 och alla rasterlager har cellstorleken 1 x 1 m.

Tabell 3: Klassificering av markyta som använts i denna studie.

Markyta	Klasser baserat på permeabilitet	Grön/Grå struktur
Bebyggelse (alla typer av byggnader, inkluderar även torg, parkeringsplatser och likn.)	Ej permeabel	Grå
Vägar (alla typer)	Ej permeabel	Grå
Odling (åker, fält, jordbruksmark)	Odling	Grön
Träd (yta med majoritet av: lövskog, barrskog eller större buskar).	Bar jord	Grön
Vatten	Vatten	Vatten - ej definierbart
Öppen mark (gräsmattor, parker, fält, betesmark och likn. utan hög växtlighet)	Gräs	Grön
Öppen mark grön (gräsmattor, kolonilotter, parker, fält, betesmark etc. med hög växtlighet i minoritet)	Gräs/Busk	Grön

3.2 Modellering av översvänningsrisk med modellen TFM-DYN

3.2.1 Beskrivning av modellen TFM-DYN

Modellen TFM-DYN bygger på en flödesalgorithm beskriven av Pilesjö och Hasan (2014) som beräknar ytavrinning baserat på en digital höjdmodell och analyserar vattenflödet i varje cell.

Cellen delas in i åtta triangulära delar varpå flödesriktningen i varje del kan avgöras för att se hur vattnet rinner till närliggande celler (Pilesjö och Hasan 2014). TFM-DYN har baserats på denna flödesalgoritm och vidare utvecklats av Nilsson (2017) som beräknar vattnets förflyttning i varje tidssteg, alltså hur vattnet förflyttar sig över tid. Det är därför en lämplig modell att använda vid modellering av nederbördstillfällen med tydliga start och sluttider, såsom ett skyfall av 100-årskaraktär. Modellen har implementerats i Python 3.8 (Python Software Foundation 2019) med gränssnittet PyCharm (Jetbrains 2020) och modellens resultat är en ASCII-fil som kan användas som ett rasterlager, där maxdjup av ackumulerat vatten under regntillfället visas i varje cell. Vattendjupet i varje cell vid olika tidpunkter under regntillfället kan också extraheras (Nilsson 2017).

3.2.2 Insamling och beskrivning av indata

Förutom en digital höjdmodell så har spatialt distribuerad infiltration (mm/hr), markfriktion (inverterat Mannings tal, n) samt nederbördsdata (mm/hr) använts som parametrar i modellering med modellen TFM-DYN.

Den digitala höjdmodellen är producerad med LiDAR laserskanning år 2015 på uppdrag av Lunds kommun. Inskannade markpunkter har interpolerats till ett raster med 1 m upplösning och levereras som en markmodell i ASCII-format med upplösningen 1 x 1 m. Konvertering från ASCII-formatet .xyz till ESRI GRID utfördes i enlighet med ESRI tekniska support (2020) för att kunna bearbeta filerna innan konvertering tillbaka till ASCII-format gjordes för att förbereda all data för modellering.

Infiltrationskapaciteten kan variera kraftigt beroende på jordens förhållanden, årstid, växtlighet mm. men i denna studie är infiltrationskapaciteten baserad endast på variation av jordart. Detta beslutades i samråd med handledare för att avgränsa arbetet men är också i enlighet med “Vägledning för skyfallskartering: Tips på genomförande och exempel på användning” producerad av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2017). En jordartskarta från år 2014 som visar jordarter i vektorformat i skala 1:25 000–1:100 000 över studieområdet laddades därför ner (SGU 2014). Kartan bestod initialt av många jordartsklasser som förenklades och grupperades efter dess kornstorlek. Anpassning gjordes till hårdgjorda ytor och vattendrag som fick infiltrationskapaciteten 0. Värden för infiltrationskapacitet bestämdes sedan baserat på FAO (2002) samt Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2017) och presenteras i Tabell 4.

Tabell 4: Värden på infiltrationskapacitet (mm/hr) som använts i denna studie, baserade på FAO (2002) samt Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2017).

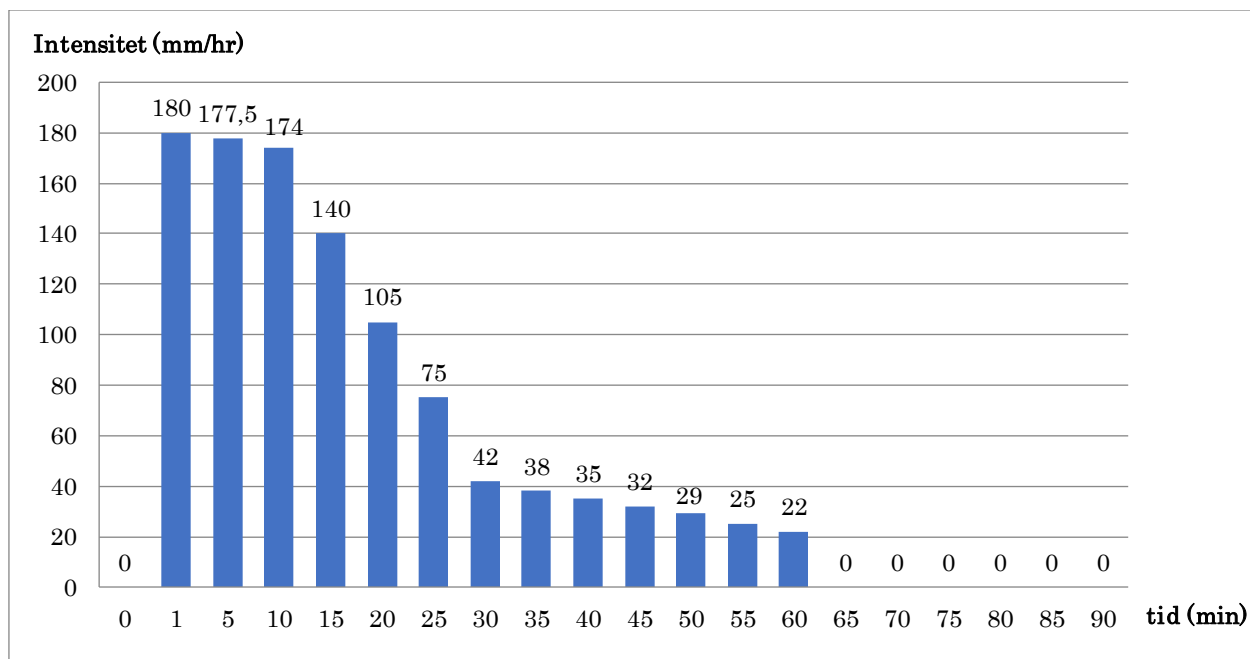
Jordart	Infiltrationskapacitet (mm/hr)
Lera	3
Lersilt	10
Silt	15
Finsand	30
Sand	50
Hårdgjorda ytor (t.ex. bebyggelse, vägar, betongytor.)	0
Vatten	0

Friktionsparametern beskriver ytans råhet, alltså flödesmotståndet av ytan, och uttrycks gemenligen med Mannings tal som har enheten M eller n . I internationella sammanhang används oftast n vilket är det inverterade värdet av M (Persson et al. 2014) som också används i denna studie. Ju mindre värde n har, desto mindre flödemotstånd har ytan och ju större värde n har, desto större är ytans friktion (Persson et al. 2014). Värdena på n för olika marktytor varierar kraftigt mellan olika källor, därför har flera källor använts för att anpassa och hitta rätt värden för just denna studie. Värdena kommer huvudsakligen från Chow (1959) men även information från Vägverket (2008) och studier av Janssen (2016) (som delvis är baserad på Chow (1959)) har studerats för att ge ytterligare stöd och besluta om Mannings-tal (n) för markytan i studieområdet. Friktionsvärdena presenteras som Mannings tal nedan i Tabell 5.

Tabell 5: Värden på markfriktion (n) som använts i denna studie, baserat på Chow (1959), Vägverket (2008) och Janssen (2016).

Markyta	Mannings tal (n)
Hårdgjorda ytor (bebyggelse, vägar, parkeringsplatser, betongytor och likn.)	0,015
Odling (åker, fält, jordbruksmark)	0,03
Träd (yta med majoritet av: lövskog, barrskog eller större buskar).	0,025
Vatten	0,04
Öppen mark (gräsmattor, parker, fält, betesmark etc. utan hög växtlighet)	0,035
Öppen mark grön (gräsmattor, kolonilotter, parker, fält, betesmark etc. med hög växtlighet i minoritet)	0,04

Nederbördsdatan har visualiserats som ett hyetogram (Figur 2) med programmet MS Excel 2010 (Microsoft 2010) och beskriver regnintensiteten (mm/hr) var 5:e minut under ett 100-årsregn som varar i 60 min, följt av 30 min utan nederbörd. Hyetogramet har baserats på en modellering gjord av Svenskt Vatten (2016) samt SMHI's definition av ett 100-årsregn (SMHI 2014). Båda dessa definitioner används flitigt i studier som modellerar översvämningsrisk (Deak Sjöman 2012; Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2017; Lunds kommun och VA Syd 2018). För att uppskatta framtida risk för översvämningsrisk har en klimatfaktor på 1,3 adderats till värdena för det nutida 100-årsregnet, på rekommendation av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2017), Lunds kommun och VA Syd (2018) och Lunds kommun (2019). Det är också den beräknade ökningen av mängden regn vid ett skyfall för de kommande 80 åren i region Skåne, enligt Ohlsson et al (2015).



Figur 2: Hyetogram som beskriver nederbördsintensitet över tid vid ett nutida 100-årsregn, baserat på Svenskt Vatten (2016) och SMHI (2014).

3.2.3 Utförande och presentation av resultat

I modellen TFM-DYN används den digitala höjdmodellen, värden för infiltrationskapacitet samt markytans friktion i formatet ASCII. Både för infiltration och markfriktion tilldelades värdena genom en överlagring och har konverterats mellan vektor och rasterformatet ASCII. Alla GIS-lager som använts och skapats presenteras i koordinatsystemet SWEREF99_13_30. Eftersom värdena är baserade på mängden grönyta som finns så ändras den spatiala utbredningen av infiltration och markfriktion för de olika åren som studien har fokuserat på. Höjdmodellen har inte ändrats och nederbördsdata är samma för alla år utom för det framtida scenariot där en klimatfaktor på 1,3 adderats. Översvämningensrisken har därför modellerats baserad på ändrad mängd grönyta för år 1940, 1973, 2004, 2019 samt för ett framtida scenario som bygger på samma mängd grönyta som för år 2019 men med en ökad mängd nederbörd. All översvämningensdata har klassificerats i enlighet med riskklassificeringen (Tabell 1) som använts i denna studie. Resultatet har presenterats som kartor som visar översvämningarnas utbredning, tabeller som visar förändringarna i andel översvämmat område och utbredning av de olika riskklasserna över åren. Även grafer som representerar vattendjupets förändring över tid under nederbördstillfället i två olika fokusområden presenteras. Fokusområdena valdes visuellt för att statuera ett exempel på hur maxdjupet förändrats över tid mellan de olika åren och i framtiden, i två olika högriskområden.

4. Resultat

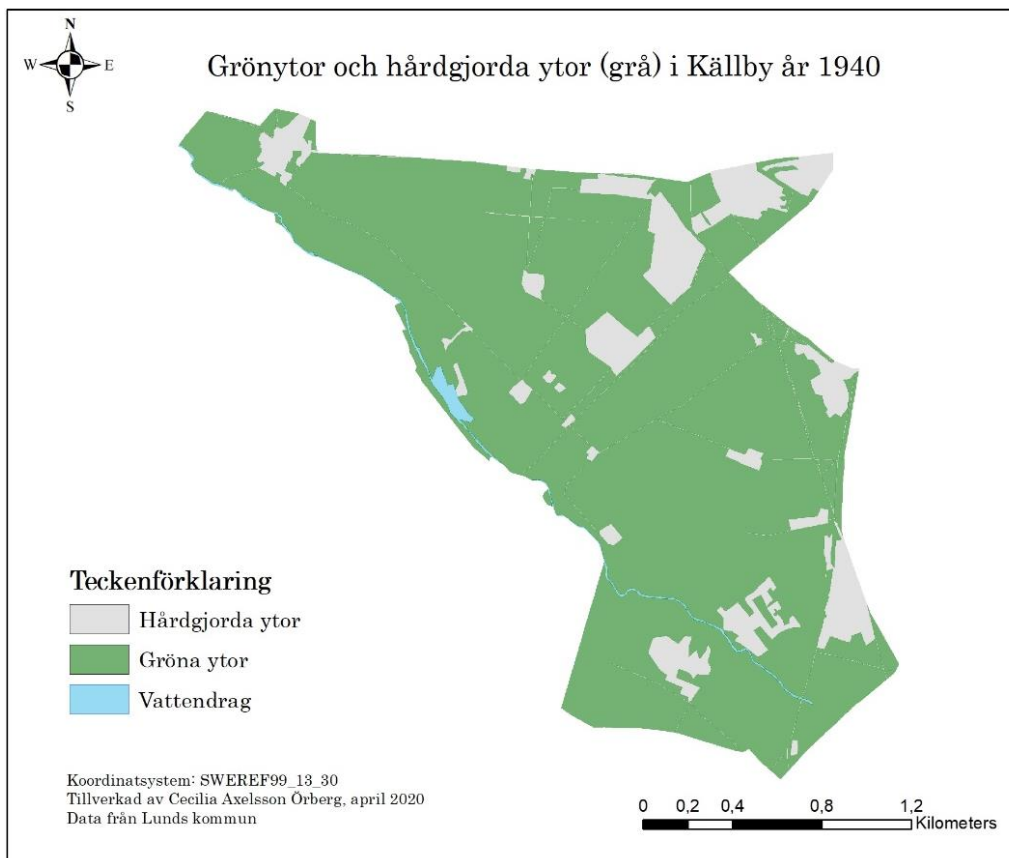
4.1 Förändring av grönytor i Källby år 1940–2019

Figur 3–6 visar hur grönytor och hårdgjorda ytor har förändrats i studieområdet Källby från år 1940 (Figur 3) till år 1973 (Figur 4), år 2004 (Figur 5) och år 2019 (Figur 6). Tabell 6 beskriver mängden grönyta för varje år i hektar och i %, baserat på den totala områdesarean på 420 ha. Den tredje kolumnen i tabellen visar minskningen av grönytor i procent sedan år 1940.

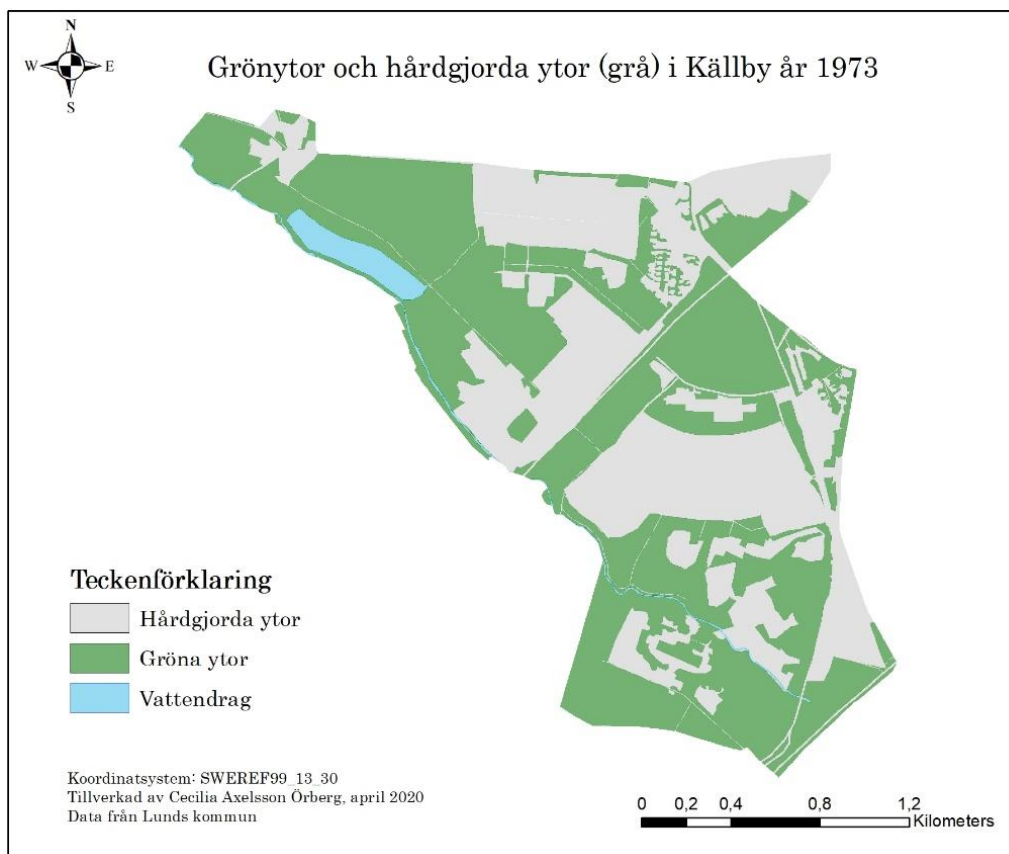
Det har skett en konstant minskning av grönytor i området mellan åren 1940 och 2019 (Figur 3–6). Totalt har mängden grönyta minskat med 38,3 % över hela tidsperioden (Tabell 6). Den största förändringen skedde mellan år 1940 (Figur 3) och år 1973 (Figur 4) då mängden grönyta i Källby gick från 370,6 ha (88 %) av den totala ytan på 420 ha, till 235,2 ha (56 %). I Figur 3–6 går det att visuellt avgöra att en stor del av grönytorna har konverterats till bebyggelse (i grått). Källby dammar och reningsverk börjar även ta större plats år 1973 (Figur 4) och år 2004 ockuperar de en större yta som tidigare varit grönområde (Figur 5). År 2019 täcker grönstruktur ungefär 50 % av den totala ytan i Källby.

Tabell 6: Beskrivning i % och area (ha) av hur mängden grönyta har förändrats i Källby sedan år 1940.

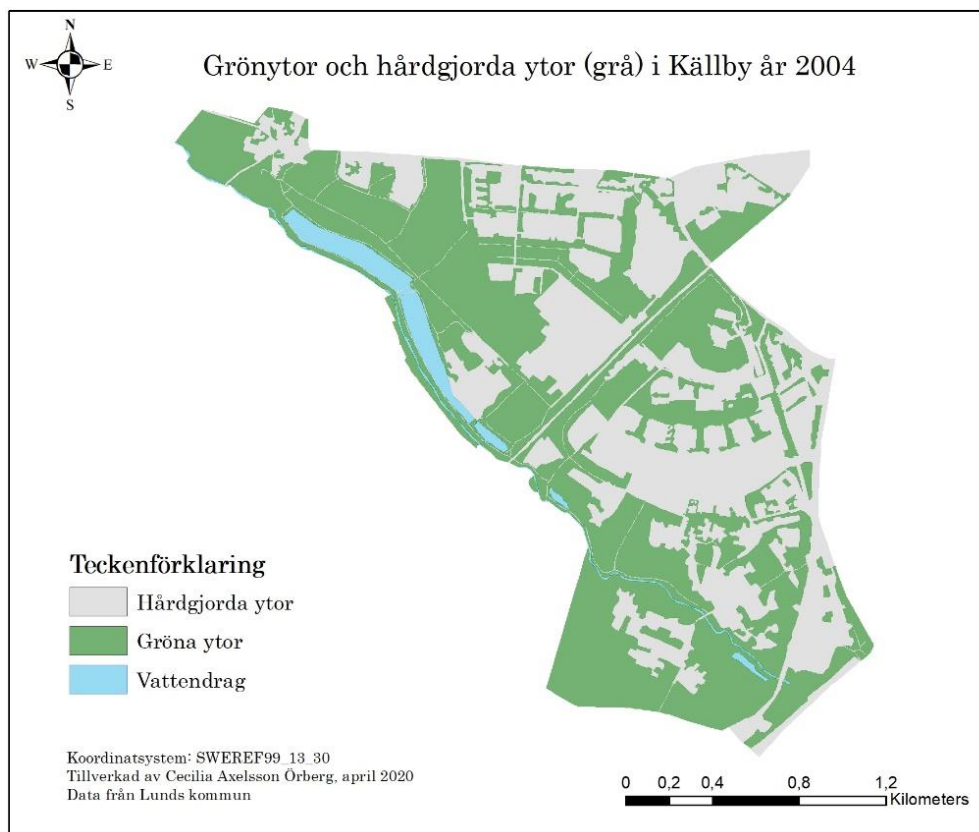
Grönstruktur	Area (ha)	Procent av total area (420 ha)	Minskning (%) sedan år 1940
1940	370,6	88	
1973	235,2	56	-32
2004	230	55	-33,5
2019	209,8	50	-38,3



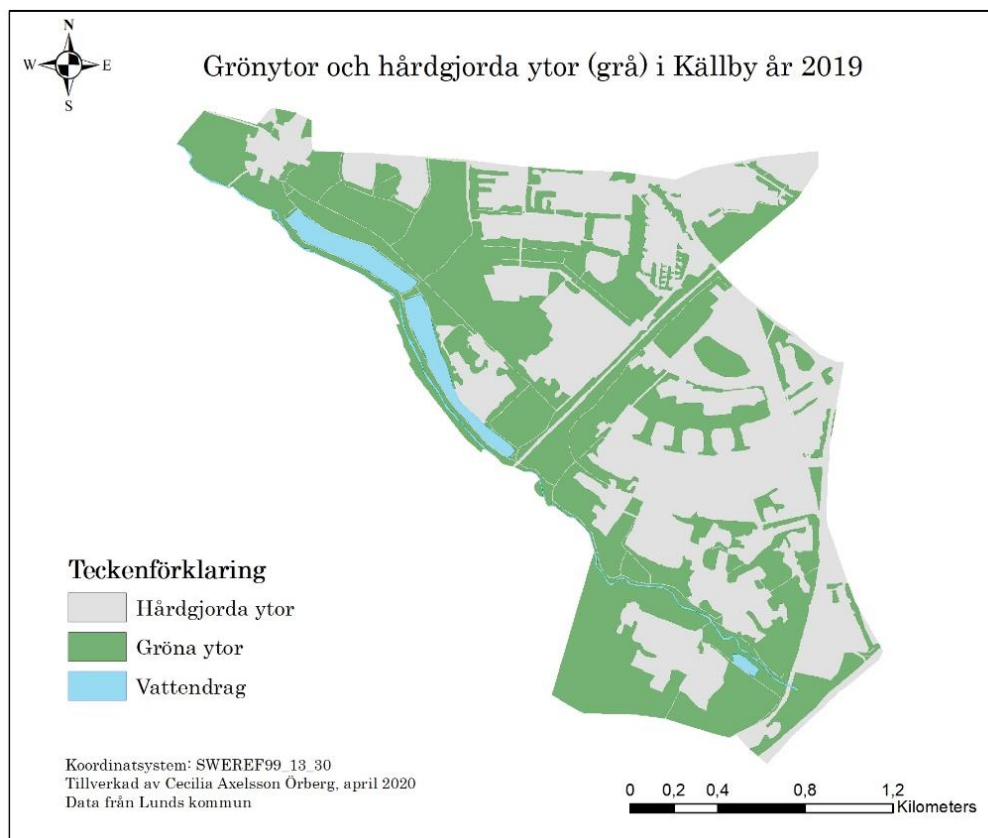
Figur 3: Förekomst av gröna ytor och hårdgjorda ytor i Källby år 1940.



Figur 4: Förekomst av gröna ytor och hårdgjorda ytor i Källby år 1973.



Figur 5: Förekomst av gröna ytor och hårdgjorda ytor i Källby år 2004.



Figur 6: Förekomst av gröna ytor och hårdgjorda ytor i Källby år 2019.

4.2 Förändring av översvämningsrisk i Källby med ändrad mängd grönyta

Resultatet från modellen TFM-DYN presenteras i Tabell 7 och Figur 7–11 och visar den totala andelen potentiellt översvämmad yta (riskklass 0–3) i studieområdet, från år 1940 till år 2019 samt för framtidsscenario RCP 8,5. I Figur 7–11 visas även mängden hårdgjord yta för varje år. Total översvämmad yta har ändrats med 0,3 % från år 1940 till år 1973 då 25 % av studieområdet är översvämmat. Denna procentsats ändras inte för år 2004 och 2019. Vid ett framtida scenario med ökad nederbörd enligt RCP 8,5 så ökar dock andelen potentiellt översvämmad yta från 25 % till att täcka 31,5 % av studieområdet.

Tabell 8 beskriver hur andelen översvämmad yta (ha) är fördelad över de olika riskklasserna för varje år och vid ett framtidsscenario med ökad nederbörd. Andel yta med riskklass 1 minskar över tid, medan utbredningen av riskklass 3 ökar. Utbredningen av riskklass 2 är minst år 1940, ökar till år 1973 och sedan minskar för år 2004 och ökar igen för år 2019 samt vid ett framtidsscenario (Tabell 8). Områden kartlagda som riskklass 3 ökar kontinuerligt över åren. Även i Figur 7–11 kan man se hur utbredningen av riskklass 3 ökar för varje år.

Generellt har alltså inga helt nya områden av översvämningsrisk uppkommit mellan år 1940 och år 2019 (Tabell 7), däremot har andelen av områden med riskklass 2 och 3, alltså högriskområden, ökat under tidsperioden (Figur 7–11, Tabell 8–9). Ökningen av högriskområden (riskklass 3) vid översvämningsrisk ökar i linje med minskningen av grönyta för åren 1940–2019 (Figur 3–6). Vid ett framtidsscenario med samma mängd grönyta som år 2019 men med förhöjd nederbördsmängd, så ökar både den totala andelen av översvämmad yta och utbredningen av varje riskklass (Tabell 8–9).

Tabell 9 visar andelen översvämmad yta för varje riskklass i %, jämfört med år 1940. Här förstärks sambandet mellan ökning av högriskområden och minskad mängd grönyta över tid, då både riskklass 2 och 3 ökar över tid jämfört med år 1940. Riskklass 1 minskar förutom för framtidsscenario, då andelen av totalt översvämmad yta ökar. År 2019 har områden med riskklass 2 ökat med 11,7 % och riskklass 3 med 15,7 %, jämfört med år 1940. Blir mängden nederbörd i framtiden större enligt ett RCP 8,5-scenario så sker det en ökning av riskklass 2 med 57,8 % och en nästan fördubblad utbredning av riskklass 3 (ökning med 81,6 %).

Tabell 7: Beräkning av total andel översvämmad yta (ha) av områdets totala yta (420 ha) för åren 1940–2019 och för ett framtida klimatscenario.

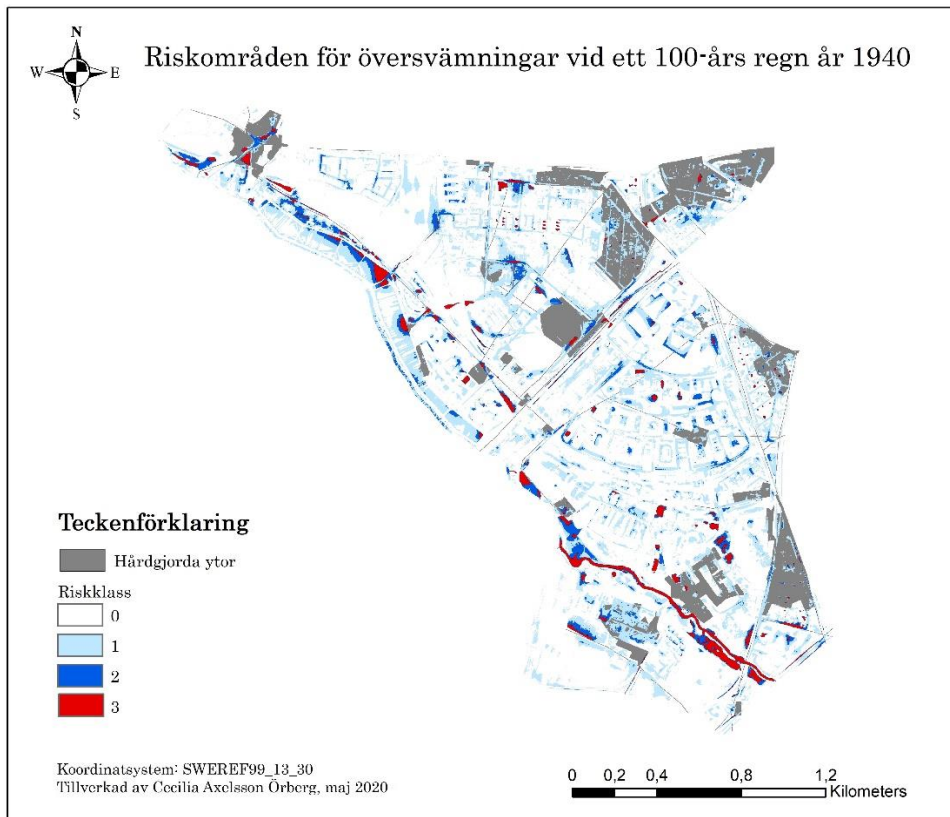
	Total andel (%) översvämmad yta i området (420 ha)
År	
1940	24,7%
1973	25,0%
2004	25,0%
2019	25,0%
Framtidsscenario RCP 8,5	31,5%

Tabell 8: Beräkning av andel översvämmad yta (ha) i de olika riskklasserna för åren 1940–2019 och för ett framtida klimatscenario.

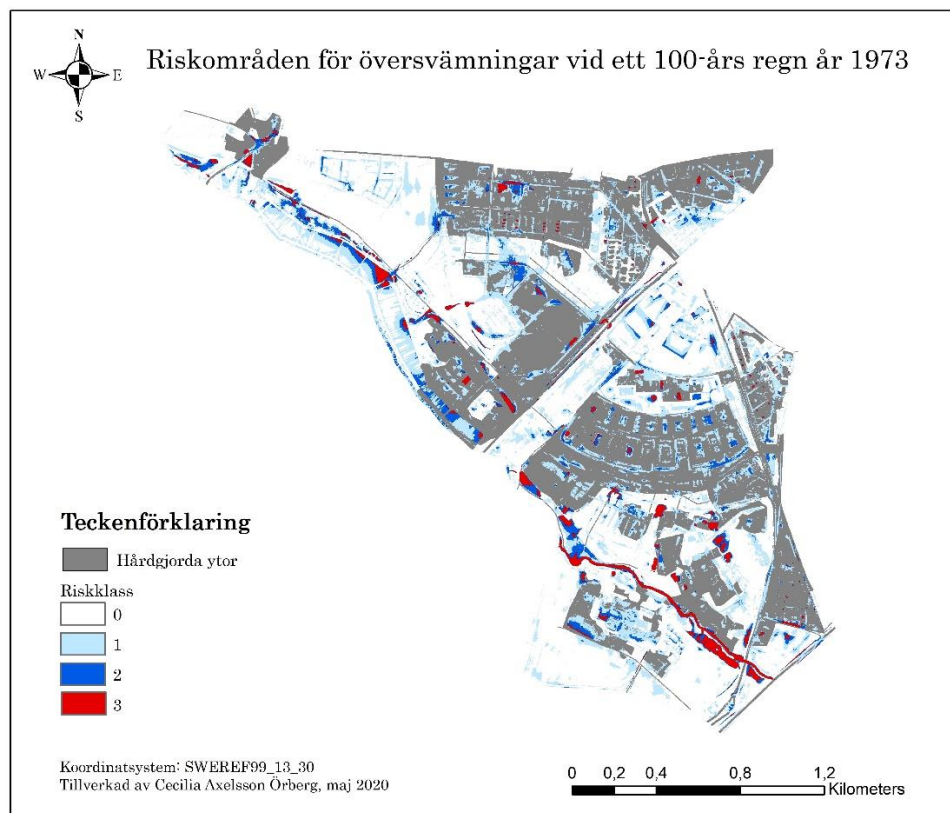
Andel översvämmad yta (ha)	Riskklass 1	Riskklass 2	Riskklass 3
År			
1940	80,0	15,4	8,4
1973	78,5	17,1	9,4
2004	78,4	17,0	9,5
2019	78,0	17,2	9,7
Framtidsscenario RCP 8,5	92,8	24,3	15,3

Tabell 9: Visar hur utbredningen (%) varje år och för ett framtida klimatscenario ändrats för varje befintlig riskklass, jämfört med år 1940.

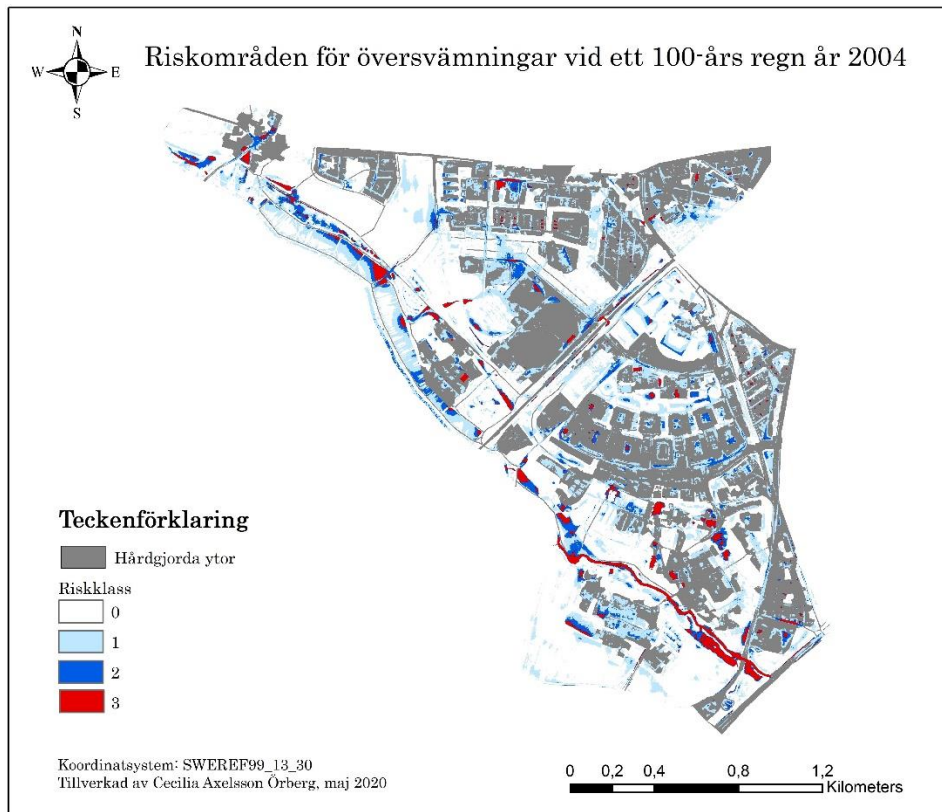
Utbredning av varje riskklass (%) jämfört med år 1940	Riskklass 1	Riskklass 2	Riskklass 3
År			
1940	-	-	-
1973	98,1%	111,0%	111,6%
2004	98,0%	110,4%	112,2%
2019	97,4%	111,7%	115,7%
Framtidsscenario RCP 8,5	115,9%	157,8%	181,6%



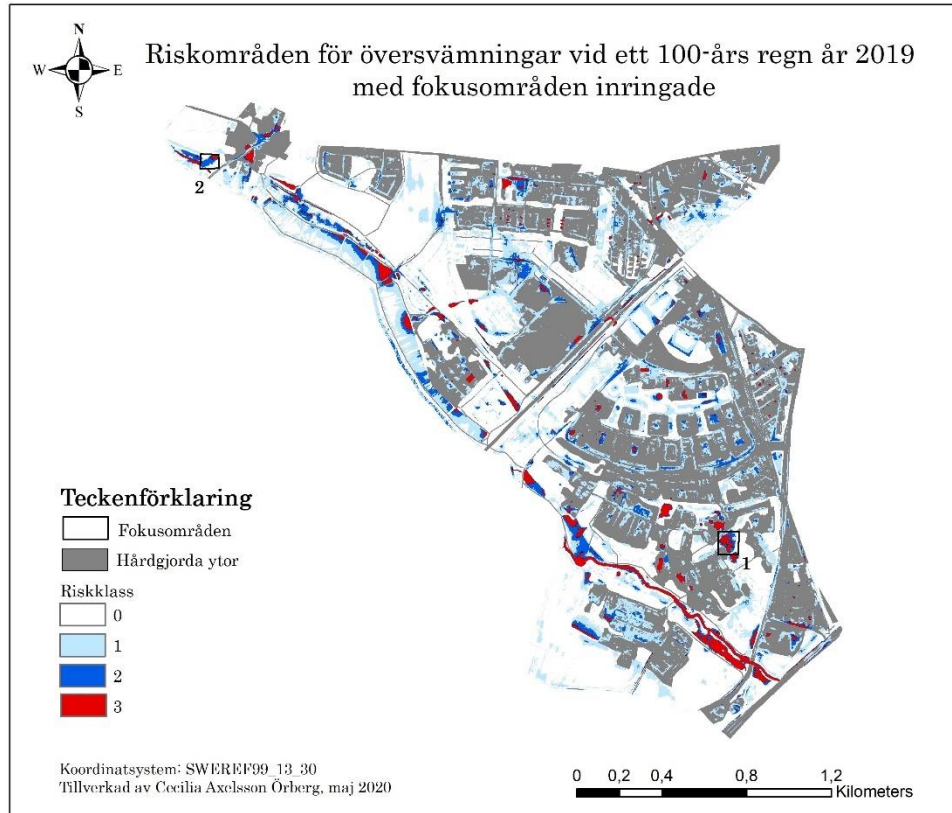
Figur 7: Hårdgjorda ytor och områden med översvämningar vid ett 100-års regn år 1940.



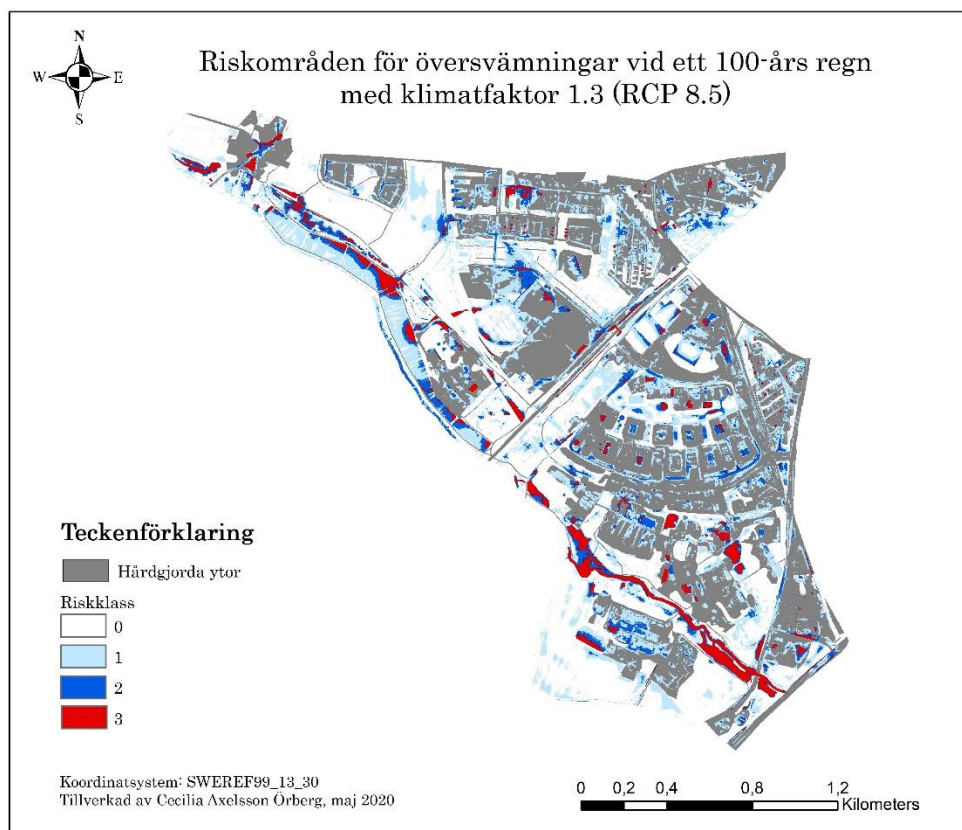
Figur 8: Hårdgjorda ytor och områden med översvämningar vid ett 100-års regn år 1973.



Figur 9: Hårdgjorda ytor och områden med översvämningar vid ett 100-års regn år 2004.



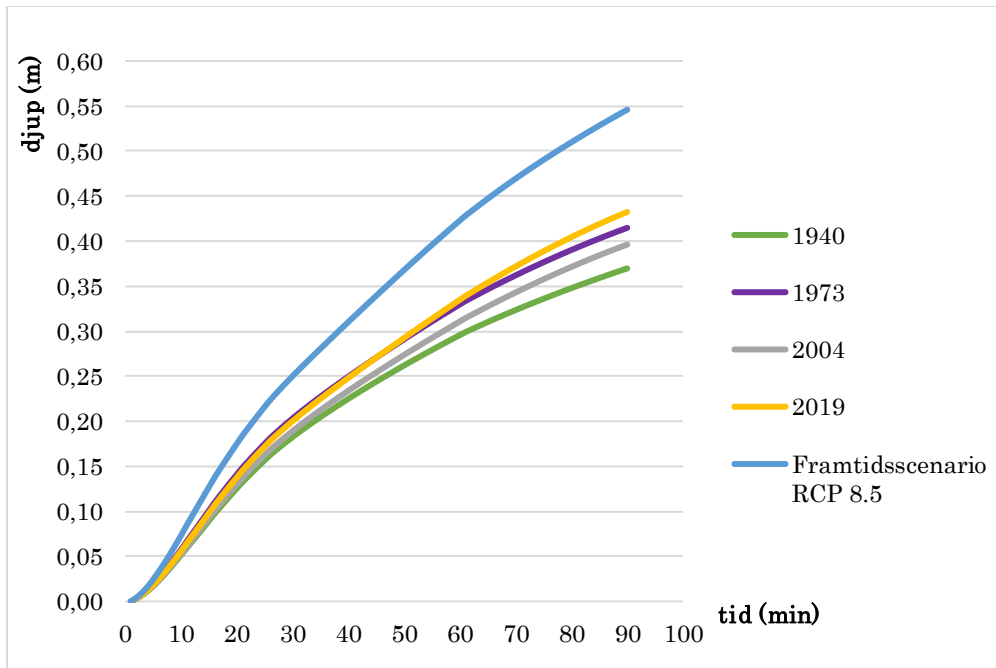
Figur 10: Hårdgjorda ytor och områden med översvämningar vid ett 100-års regn år 2019, med två fokusområden inringade.



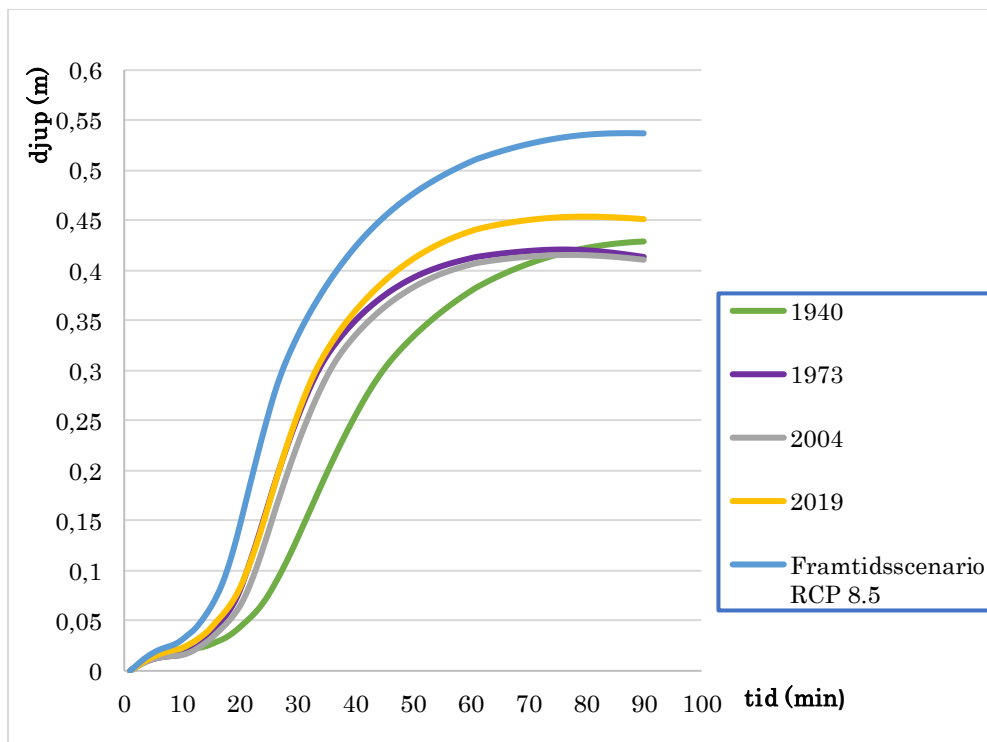
Figur 11: Hårdgjorda ytor år 2019 och områden med översvämningar vid ett 100-års regn i ett framtida scenario med klimatfaktor 1,3 (RCP 8,5).

4.2.1 Fokusområden - förändring av ackumulerat maxdjup över tid

Figur 12 och Figur 13 visar ackumulerat maxdjup över tid för två fokusområden (Figur 10). Vattnet ackumuleras snabbast för det framtida scenariot (RCP 8,5) och för år 2019 i båda fokusområdena då utbredningen av grön infrastruktur är minst (Figur 5–6). För dessa två tillfällen uppnås även största ackumulerat maxdjup (0,55 m vid ett framtidsscenario, 0,44 m år 2019). År 1940, då mest grönyta förekom (Figur 2), uppnås det minsta maxdjupet på 0,36 m, jämfört med de andra åren (Figur 12–13).



Figur 12: Graf som visar förändring av ackumulerat maxdjup (medelvärde) över tid i område 1 (Figur 10).



Figur 13: Graf som visar förändring av ackumulerat maxdjup (medelvärde) över tid i område 2 (Figur 10).

5. Diskussion

5.1 Kopplingen mellan utbredning av grönytor och översvämningsrisk

Mängden grönyta har minskat och konverterats till hårdgjorda ytor i studieområdet mellan år 1940 och 2019 (Figur 3–6). Mellan år 1940 och 2019 sker ingen signifikant utbredning av potentiellt översvämmade områden (Tabell 7, Figur 7–10) men däremot ökar mängden högriskområden på bekostnad av lågriskområden, när utbredningen av grönytor minskar (Tabell 6, Tabell 9). År 1940 där mest grönyta existerar är också det år då minst översvämmade områden har riskklass 3. Ett högre vattendjup uppnås snabbare när grönytor minskar i utbredning och hårdgjorda ytor täcker en större mängd av studieområdet (Figur 11–13). Vid ett framtidsscenario enligt RCP 8,5 med 30 % förhöjd mängd nederbörd så ökar utbredningen av översvämningar (Figur 11, Tabell 9). Dessutom uppnås ett högre maxdjup av ackumulerat vatten snabbare över tid (Figur 12–13).

En kombination av ökad nederbörd i framtiden och ytterligare tillkomst av hårdgjorda ytor (vilket är planerat för området Källby genom förtätning (Lunds kommun 2019)) skulle kunna innebära både en större utbredning av översvämningarna och men också en ökning av områden definierade med riskklass 2 och 3, jämfört med om nya hårdgjorda ytor ej tillförs. Riskklass 3 definieras som ”Stora materiella skador samt risk för hälsa och liv” (Tabell 1) och det är av stor vikt att överväga de konsekvenser som högriskområden kan ställas inför vid ett 100-årsregn, innan vidare beslut tas om kommunens förtätningssalternativ i Källby. För nuvarande har 9,7 ha av området kartlagts som riskklass 3 vid ett 100-års regn. Detta beräknas öka till 15,3 ha i framtiden om mängden nederbörd vid ett 100-års regn förhöjs med 30 % men hårdgjorda ytor inte ändras (Tabell 8). Ökar mängden hårdgjorda ytor kommer områden med riskklass 2 och 3 sannolikt också att öka (Tabell 6, Tabell 9). Till detta är det viktigt att ha i åtanke att 100-årsregn i framtiden dessutom kan förekomma oftare än idag (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2017).

Om förtätning i Källby sker enligt förtätningssalternativ 2 (Lunds kommun 2019) så kommer inga nya grönytor att tillföras. Enligt resultatet (Figur 7–10, Tabell 6, Tabell 9) är översvämningar redan ett potentiellt problem i området som förstärks med tillförande av hårdgjorda ytor men kan motverkas med grönytor. Förtätning enligt alternativ 2 (Lunds kommun 2019) hade ytterligare ökat risken för översvämningar i ett redan utsatt område och är därför ej att rekommendera. Förtätningssalternativ 1 (Lunds kommun 2019) är planerat att skapa 8,2 ha nya grönytor, men det krävs ytterligare studier för att definitivt avgöra om detta är tillräckligt för att minska översvämningar i riskklass 2 och 3 som vi ser en utbredning av i området redan innan förtätning har utförts. Vid en jämförelse mellan åren 1973 och 2004 (Tabell 6) där mängden grönyta förändrats med 5,2 ha så har inte översvämningsrisken ändrats i någon större utsträckning. Det är därför inte rimligt att i detta fallet anta att endast 8,2 ha nya grönytor har en effekt på översvämningsrisken och att det skulle vara tillräckligt för att översvämningsanpassa Källby till framtidens ökade mängder nederbörd. För att avgöra hur mycket nya grönytor som behövs för översvämningsanpassning så krävs ytterligare simuleringar för området där detaljerade planalternativ för kommande bebyggelse och olika placering av grönytor modelleras. Det går ej att exakt fastställa med denna studie hur mycket mer grönyta som behövs och hur mycket man kan fortsätta utveckla stadsdelen men resultatet tyder på att 8,2 ha nya grönytor (förtätningssalternativ 1, Lunds kommun 2019) inte är tillräckligt. Det är svårt att undvika att utsätta områden för hög översvämningsrisk om ny bebyggelse tillförs i Källby. Vidare stadsutveckling måste göras med

insikt om framtida översvämningsrisker och det finns ett stort behov av att anpassa och inkorporera lösningar till ett förändrat klimat i hela samhället. Exempel på hur detta kan utföras diskuteras i det kommande stycket.

5.2 Strategier för utveckling av nya grönytor och motverkan av översvämningsrisker

En viktig strategi för att minska översvämningsrisk som diskuteras i en del studier (Berndtsson et al. 2019; Park och Lee 2019) är studera och minska sårbarheten. Ju fler människor som påverkas av faran, desto större är risken och dess konsekvenser. I fallet med Källby kan detta innebära att flytta utvecklingen av staden till ett område med mindre översvämningsrisk, eller att detaljerat modellera exakt var det är säkert och tryggt att förtäta stadsdelen med hänsynstagande till sårbarhet. Alla modeller har dock en viss felmarginal och en ny modellering kan möjligtvis spegla verkligheten bättre men också inge en, möjligen felaktig, känsla av säkerhet. Att planera framtida förtätning i ett helt annat område är också en osäkerhet då det krävs nya utredningar för att avgöra vilket område som kan vara lämpligt för detta. Dock är det också viktigt att notera att Lunds kommun (2019) i ett tidigt skede redan ska ha utrett utförbarheten att förtäta i Källby och sedan valt att beslutat att detta är möjligt.

En annan lösning som inte kräver omplacering eller total förändring av förtättningsplanerna är att utveckla på ett sätt som inkorporerar gröna ytor och dess potential på ett effektivt sätt. Beroende på placering, material och resursutnyttjande kan grönytor i samhällsplanering göra både liten och mycket stor skillnad avseende översvämningsrisker. Dessutom är det mycket viktigt att sådana åtgärder görs i samband med annan utveckling eller nybyggnation då det är mycket svårt att lägga till eller utveckla gröna ytor i efterhand (Ellis 2012; Berndtsson et al. 2019). Något som ofta syns i nyutveckling både i Sverige och utomlands är gröna tak (Lunds kommun 2018), en lösning som hjälper till att reglera värme i städer och kan bidra till estetiska värden men har relativt liten effekt på översvämningsrisker (Gill et al. 2007). I Lunds kommuns översiktsplan från 2018 diskuteras detta som något att satsa på men gröna väggar och tak kan endast hantera små eller normala mängder dagvatten och kan aldrig ersätta markinfiltrationen hos naturliga grönytor.

När det kommer till extrema skyfall så behöver stora ytor göras tillgängliga för att tillfälligt kunna översvämmas (Lunds kommun 2020). Ett möjligt alternativ som föreslås i den fördjupade översiktsplanen för Källby (Lunds kommun 2019) är att omvandla Källby dammar till en uppsamlingsplats för ytavrinning. Då finns det utrymme för Höje å att svämma över vid högt vattenstånd och dammarna kan kopplas ihop med gröna diken som leder vattnet från stadsdelen ner mot ån. Det är viktigt att notera att implementering av gröna stråk inte innebär att vattnet kan infiltrera där, eftersom jordarten inte ändras bara för att det planteras. Är alternativet en hårdgjord yta så är det ur infiltrationssynpunkt bättre med planteringar men huvudsakligen är de gröna stråken till för att leda vattnet, som samlas vid extrema skyfall, ned mot en uppsamlingsplats som exempelvis Källby dammar (Lunds kommun 2019). Gill et al. (2007) föreslår dock att man vid implementering av nya grönytor ska tillsätta sandig jord eftersom sand bäst infiltrerar vatten, och menar att det kan vara ett sätt att reducera ytavrinning. Vid ett skyfall, modellerat för dagens förhållanden, blir det vattensamlingar med maxdjup över 0,5 m på många platser i Källby (Figur 10) och därför är det mycket viktigt att analysera grönstråkens omfattning och dikenas djup om sådana ska etableras på ett effektivt sätt. Särskilt viktigt är det att ta hänsyn till att fler platser

kommer att få större maxdjup i framtiden (Figur 11). Slutligen är bevarande och skydd av de grönområden som redan finns också något som bör prioriteras, då detta är ytor där vattnet naturligt kan infiltrera och samlas. På så sätt bidrar de till minskad eller i alla fall oförändrad risk för översvämningar.

Nyckeln till översvänningsanpassade samhällen handlar främst om smart och effektiv stadsplanering. Områden med störst risk bör prioriteras först. Leitão et al (2013) och Sörensen och Mobini (2017) menar att högriskområdena ofta är ett resultat av hög hastighet på ytavrinning. För att minska hastigheten på vattnet bör stadsplanerare fokusera på att öka ytans friktion genom hinder eller brytpunkter så att vattnet stoppas eller minskar sin hastighet (Leitão et al. 2013; Sörensen och Mobini 2017). Detta skulle till exempel också kunna göras med tidigare nämnda grönstråk som vid rätt placering kan fungera både som ledning och hinder för vattnets framfart. Därtill föreslår Gill et al (2007) att man kan ta tillvara på det uppsamlade vattnet som skapas vid ett extremt skyfall. Detta skulle sedan kunna användas som bevattning eller liknande under torrare perioder. Det finns stor potential i att effektivisera användandet av grön infrastruktur med kreativ stadsplanering (Gill et al. 2007). Genom att implementera lösningen på ett problem, kan vi med ett holistiskt tänkande skapa lösningar för flera andra problem samtidigt.

Vidare är det viktigt att komma till insikt om att översvänningsanpassning är något som även sträcker sig utanför offentliga ytor och in i privata utrymmen såsom trädgårdar och parkeringsplatser. Mycket av den gröna ytan i städer finns just i privata områden vilka kan ha stor betydelse för översvänningsrisken (Deak Sjöman 2012; Ellis 2012; Sörensen och Mobini 2017; Belcáková et al. 2019). Ju mindre tätbebyggt ett område är och ju mer gröna ytor det finns i form av trädgårdar, desto mindre risk är det för ytavrinning som kan leda till översvämningar (Deak Sjöman 2012). Något som införts i Wrocław, Polen, är skattereduktion för privata fastighetsägare som har gröna ytor runt sitt hus och på sina hustak (Belcáková et al. 2019). Detta är ett tydligt exempel på hur kommunen kan påverka fastighetsägare och byggföretag att följa den gröna riktning som kommunen själva anammat. Lagstiftning kring nybyggnation av fastigheter är också en faktor som spelar stor roll vid översvänningsanpassning. Sörensen och Mobini (2017) föreslår att installation av bakvattenventiler ska vara ett krav vid nybyggnation av både offentliga och privata fastigheter. Bakvattenventiler minskar risken för källaröversvämningar betydligt och är en enkel och billig lösning som sparar pengar för både försäkringsbolag och skattebetalare (Sörensen och Mobini 2017). Slutligen kräver hållbara beslut kring förändringar och utveckling av stadsdelar stöd från dess invånare. Deras medverkan i processen för beslutsfattande är därför mycket viktig. Om allmän kännedom finns inför ett problem så ökar chanserna för förståelse och vilja att förändra (Berndtsson et al. 2019). Det är därför viktigt att Lunds kommun fortsätter att sprida information till nuvarande och kommande invånare i Källby kring översvänningsrisk och anpassningar. Ytterligare ett sätt att göra detta är att involvera invånarna och byggföretagen i projekt såsom plantering av träd eller anläggning av grönytor, något som också visat ge ökad förståelse och insikt, både gentemot beslutsfattande institutioner och för problemet med översvämningar i sig (Belcáková et al. 2019).

5.3 Potentiella felkällor

5.3.1 Ortofoton

Att producera ortofoton är både dyrt och kräver speciella omständigheter såsom lämpliga väderförhållanden (Harrie 2013). Lunds kommun beställer själva fotografering av högupplösta flygbilder en gång vartannat år och vartannat år sköts det av Lantmäteriet. Även om det är önskvärt att bilderna är tagna ungefär kring samma månad och säsong när man ska jämföra ortofoton så är det svårt att få tag på detta när bilderna dessutom behöver vara av hög kvalitet. Marktäcket i Sverige har stora säsongsvariationer. Träd som ej bär löv är till exempel mycket svåra att urskilja från en svartvit bild tagen under vinterhalvåret och kan lätt misstagas för att vara barmark. För de svartvita bilderna från år 1940 och år 1973 som använts är det svårt att avgöra om dessa är fotograferade på sommar- eller vinterhalvåret. För år 1940 har det ingen avgörande betydelse för resultatet då mängden bebyggelse är så liten. Jämför man däremot resultaten för år 1973 (Figur 4) och år 2004 (Figur 5) som har nästan samma mängd och utbredning av bebyggelse, så kan man se att bebyggelsen ser mer homogen ut år 1973 medan det år 2004 finns grönytor insprängda i vissa av de stora byggnadspartierna. Ett tydligt område där detta syns är Klostergården, det nästan halvbågeformade byggnadspartiet, som ligger i centrum av nedre delen av området (Figur 4–5). Då området har funnits i samma utbredning sedan början av 60-talet (Hansson och Rabow 2006) så är det sannolikt att grönytor, som förmodligen är träd eller lummigare innergårdar, inte syns på ortofotot från år 1973 då den bilden troligtvis är tagen under vinterhalvåret när träden inte bar löv. Detta hade kunnat undersökas närmare i kommunens områdesritningar för Klostergården. Dock var förutsättningarna för denna förändringsanalys att endast använda flygfoton som källa även om det möjligtvis kan ge en falsk bild av att det skapats mer grönytor i området år 2004 jämfört med år 1973. Felmarginalen hade kunnat minskas om ortofoton från flera år mellan år 1973 och år 2004 hade analyserats, eller om fler bilder från samma år funnits tillgängliga. Det kunde dock inte utföras i denna studie på grund av brist på tillgängliga flygfoton och tidsbegränsningar. Begränsningar till att endast använda flygfoton för förändringsanalysen och inte andra källor, såsom områdesritningar, är också en osäkerhet i studien.

5.3.2 Infiltrationsvärden

Infiltrationsvärden för grönytor är en osäkerhet i denna studie då de endast är baserade på den jordartens infiltrationskapacitet (SGU 2014) även om den verkliga infiltrationskapaciteten hos grönytor beror på fler faktorer. Grundvattennivå, hur mättad jorden är sedan tidigare nederbörd, torka, rötter från vegetation mm. är faktorer som spelar in (Alström och Wedding 2013), men inte är medräknade i denna studie. En annan viktig faktor att ta hänsyn till är att jordarten i sig också kan ha ändrats över tid om det skett rivning av byggnader, schaktning eller ”återställande” av grönytor. Vid anläggning av t.ex. gräsmattor läggs ofta ett täcke av matjord ovanpå ursprunglig eller annan typ av jord, något som ändrar den ursprungliga infiltrationskapaciteten hos jorden i helhet. Det är därför en felkälla att som i denna studie definiera infiltrationskapacitet som konstant för grönytor under en tidsperiod på 80 år där stora förändringar kan ha skett. Å andra sidan, är det en rimlig, och i många fall nödvändig generalisering att göra då man ofta inte har möjlighet att gå ut och praktiskt mäta infiltrationskapacitet i jorden. Dessutom är datatillgänglighet en annan faktor att ta hänsyn till då det hade krävt otroligt mycket arbete och tid att hitta alla rivningar och schaktningar som gjorts mellan år 1940–2019 och sedan anpassa infiltrationskapaciteten därefter.

Deak Sjöman (2012) har studerat betydelsen av olika täta bostadsområden med olika typer av jordar för ytavrinning. I enlighet med hennes studie är, som tidigare nämnts, jordarten en mycket viktig faktor men även tätheten av bebyggelse spelar stor roll. Deak Sjöman (2012) menar att mindre tätbebyggda områden på jordar med lägre infiltrationskapacitet är att föredra framför tätbebyggda områden på jordar av mer genomsläppligt material. Vattnet kan då spridas över en större yta, vilket minskar risken för stora volymer ytavrinning. Infiltrationskapacitet är en komplex fråga som kräver överväganden och diskussion i studier som denna.

5.3.3 Höjddata

Att topografin är konstant under de 80 år som studien sträcker sig över är en annan generalisering som gjorts. En höjdmodell producerad med LiDAR-skanning från år 2015 med 1 x 1 m upplösning har använts för att representera topografin för alla år som analyserats, återigen med anledning av tidsbrist och att annan data inte finns tillgänglig. Lund ligger inte vid kusten, som är mycket utsatt för topografiska förändringar på grund av erosion, och studieområdet är så pass litet att det är realistiskt att anta att inga stora förändringar i topografi har skett under studieperioden. Däremot finns det en del artefakter i höjdmodellen som uppkommit i dess produktion när man eliminerat felaktigt utpekade extrempunkter, såsom höga hus. Genom att titta på översvämningsskartan från 1940 (Figur 7) så kan man i områden med riskklass 1 ana formen av vissa byggnader som finns tydligt avbildade i kartan över grönstruktur och bebyggelse för senare år (Figur 5–6). Detta är lågpunkter som antagligen inte finns i verkligheten. Kartorna som visar översvämningsskrisen har därför en viss osäkerhet. Höjdmodellen som använts är av mycket hög upplösning (1 x 1 m). Det är därför samtidigt sannolikt att höjdmodellen visar en realistisk bild av markytans topografi för år 2015, då småskaliga variationer är beaktade, men möjligtvis inte för tidigare år. Att höjdmodellen som har artefakter använts för simulering av översvämningssrisk vid alla studerade år kan möjligtvis förklara varför den totala utbredningen av översvämningar generellt ändrats lite över åren 1940–2019 även om andelen hårdgjorda ytor förändras markant (Figur 7–11, Tabell 7). Att den totala utbredningen av översvämningar inte ändras i någon större utsträckning kan dock också bero på andra faktorer. En närmre studie kring vilken faktor som är mest avgörande för översvämningssrisk är ett förslag för vidare studier.

5.3.4 100-årsregn och vattendjup

Denna studie simulerar översvämningssrisk vid ett 100-årsregn och mäter nederbördens konsekvenser som maxdjup av ackumulerat vatten under regntillfället. Det är viktigt att påpeka att det inte alltid är ett linjärt samband mellan översvämningar och regnintensitet samt att översvämningssrisk inte är ett ensidigt begrepp som bara kan definieras på ett sätt. Sörensen och Mobini (2017) har studerat olika mekanismer som styr översvämningar och menar att översvämningar kan, baserat på samma intensitet och mängd nederbörd, se väldigt olika ut i olika områden och även beroende på säsong och årstid. Topografi är en annan viktig faktor som påverkar vattnets rörelser. Vattnet rinner alltid enligt gravitationens lag från högsta till lägsta punkt och det är därför inte rekommenderat att till exempel planera nybyggnation i ett område som är ett gammalt vattendrag eller uppsamlingsplats för ytavrinning. Vattnet kommer vid ett skyfall att följa topografin, även om den gamla uppsamlingsplatsen idag är uttorkad eller schaktad (Sörensen och Mobini 2017). Hinder längs vattnets väg ökar markfriktionen och är också en viktig faktor som kan stoppa och eventuellt (beroende på formation) samla upp delar av avrinningen och därmed minska

både mängden av, och hastigheten på, ytvattnet. Beroende på utformning och design av området i fråga kommer alltså översvämningar att se olika ut även om nederbörden är densamma (Sörensen och Mobini 2017). Även Leitão et al (2013) menar, som tidigare nämnts, att ytavrinning med hög hastighet ofta är den största faran för människors liv när det kommer till översvämningar och därför bör stadsplanerare fokusera på att minska hastigheten av vattnet genom t.ex. hinder eller uppsamlingsdammar.

Vidare bör översvämningens spatiala utbredning i kombination med vattendjupet också studeras vid riskanalyser. Ett stort område med lågt vattendjup kan bidra med större skada än ett litet område med högt vattendjup (Leitão et al. 2013). Sörensen och Mobini (2017) menar också att en lång period av nederbörd kan leda till större översvämningar än korta högintensiva skyfall ifall dränering och avloppssystem har dålig funktion och låg kvalitet. Alla dessa faktorer är viktiga att ta med stadsplanering för att skydda våra samhällen från översvämningar (Jacobson 2011; Leitão et al. 2013; Sörensen och Mobini 2017). Slutligen är det förebyggandet av konsekvenserna vid översvämningar som är det viktigaste att ta hänsyn till i hållbar stadsplanering, oavsett återkomstperiod av nederbörd som orsak (Berndtsson et al. 2019; Mahaut och Andrieu 2019).

6. Slutsats

Det primära målet med denna studie var att ta fram ett underlag till Lunds kommun över hur grön infrastruktur och översvämningsrisk förändrats i studieområdet Källby över tid samt hur risken för översvämningar kan ändras med förtätning och ökade mängder nederbörd i framtiden, enligt ett framtida klimatscenario. Resultatet av analysen visar på vikten av att beakta översvämningsrisk i stadsplanering genom att ta in kunskap om översvämningsanpassning. Generella rekommendationer kring översvämningsanpassning med grön infrastruktur har getts i denna studie och kan implementeras i nuvarande och kommande utvecklingsplaner både i Källby och för andra områden.

Svar på frågeställningarna från avsnitt 1.1 i rapporten:

1. Hur mycket har grön infrastruktur i Källby förändrats i % yta mellan åren 1940, 1973, 2004 och 2019?

Grönytor har sedan år 1940 kontinuerligt minskat i studieområdet och ersatts av bebyggelse. Den största förändringen skedde mellan år 1940 och år 1973 då grön infrastruktur minskade med 32 %. Totalt har det skett en förändring av utbredningen av grönytor från att täcka 370,6 ha av det totala området på 420 ha, till att endast täcka 209,8 ha, vilket motsvarar en total minskning på 38,3 %.

2. Hur ser förändringen i översvämningsrisk ut med ändrad mängd grönyta?

Områden har ändrats över tid från att ha varit under lägre risk (riskklass 1) till att vara under hög risk (riskklass 2–3) när grönytor har minskat i området. Studien visar dock ingen tydlig koppling mellan den totala utbredningen av översvämningar och minskning av grön infrastruktur, då den totala andelen potentiellt översvämmad yta i området har ökat med endast 0,3 % från år 1940 till år 2019. Maxdjup av ackumulerat vatten under nederbördstillfället både ökar och uppnås snabbare ju mer hårdgjorda ytor och ju färre gröna ytor som finns.

3. Hur kommer risken för översvämningar att se ut i framtiden om mängden grönytor och hårdgjorda ytor ej ändras från idag men 100-årsregnen kommer att öka i nederbördsmängd med en klimatfaktor på 1,3 (RCP 8,5 scenario)?

Utbredningen av översvämningar i studieområdet ökar när nederbördsmängden ökar. Den totala andelen översvämmad mark är 31,5 % vid ett RCP 8,5 scenario, jämfört med år 2019 och nutida nederbördsmängder vid ett 100-årsregn, då andelen är 25 %. Områden med hög riskklass ökar mest. Jämfört med år 1940 så ökar utbredningen av områden med riskklass 2 med 57,8 % och områden med riskklass 3 med 81,6 %. Maxdjup av ackumulerat vatten under nederbördstillfället uppnås snabbare och blir större jämfört med år 2019.

4. Hur kommer kommunens beslut kring förtätningalternativ 1 eller 2 (1: 8,2 ha mer grönytor, 2: ingen förändring av grönytor) i den fördjupade översiktsplanen för Källby att påverka översvämningsrisken i framtiden?

Om nya hårdgjorda ytor som inkluderar 3000–4000 nya bostäder tillförs i Källby (vilket kommer att ske både enligt förtätningalternativ 1 och 2) och ytterligare grönytor minskar i området så kommer framförallt andelen högriskområden (riskklass 2 och 3) att öka, enligt resultatet i denna studie (Tabell 6, Tabell 9). Resultatet tyder också på att 8,2 ha nya grönytor enligt

förtättningsalternativ 1 (Lunds kommun 2019) i detta fall inte är tillräckligt för att förebygga eller minska översvämningsrisken i Källby.

Det finns ett stort behov av att vidare utveckla förtättningsplanerna för Källby då risken för pluviala översvämningar kommer att fortsätta öka om fler grönytor försvinner och nya hårdgjorda ytor tillkommer i stadsdelen. Genom smart och effektiv stadsplanering och återinförande av rätt mängd grönytor kan detta förhindras men då behövs strategier och vidare studier kring hur detta ska utföras. Förutom att bevara de grönytor som redan finns kan implementeringen av nya grönstråk och uppsamlingsdammar fungera som ledningsnät för ytavrinning ner mot Höje å men även skapa utrymmen för ån att svämma över vid extrema skyfall. Placeringen av dessa kan även påverka markfriktion och minska vattnets hastighet. Initiativ till att inkludera privat mark i planerandet och utvecklandet av grönytor är också viktigt. Slutligen måste fokus ligga på de områden som är under störst risk. Djupare studier kring småskaliga variationer i översvämningsrisk och konsekvenserna av olika placeringar på förtätning och implementering av grönytor bör göras, för att säkert och tryggt utveckla och översvämningsanpassa stadsdelen.

Referenser

- Alström, T., och B. Wedding. 2013. Enkelt verktyg för riskartering av fosforförluster via ytavrinning. Test inom Edenberga åns avrinningsområde i södra Halland. Ekologgruppen. Landskrona, Sverige.
- Belcáková, I., M. Swiader och M. Bartyna-Zielinska. 2019. The Green Infrastructure in Cities as A Tool for Climate Change Adaptation and Mitigation: Slovakian and Polish Experiences. *Atmosphere*, 10: 552. doi:10.3390/atmos10090552
- Berndtsson, R., P. Becker, A. Persson, H. Aspegren, S. Haghigatafshar, K. Jönsson, R. Larsson, S. Mobini et al. 2019. Drivers of changing urban flood risk: A framework for action. *Journal of Environmental Management* 240: 47-56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.094>
- Bernes, C. 2016. *En varmare värld - Tredje upplagan*. Stockholm: Arkitektkopia AB
- Boverket. 2019. Bostadsmarknadsenkät 2019. Hämtad 10 april 2020 från <https://www.boverket.se/contentassets/44b828c304f24b46ba69a1f293c24a97/bostadsmarknadsenkaten-2019.pdf>
- Chow, V.T. 1959. *Open channel hydraulics*. New York: McGraw-Hill Book Comp Inc.
- Deak Sjöman, J. 2012. Småhusträdgårdarnas betydelse för klimatanpassning och dagvattenhantering i stadsregionen: Slutrapport H09-0173-AKF för Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien (KSLA). Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp, Sverige.
- Ekologigruppen AB. 2019. Källby dammar efter reningsverkets flytt - Förutsättningar & utvecklingsförslag. Stadsbyggnadskontoret Lunds kommun och VA Syd, Version 1.0, Lund, Sverige.
- Ellis, J.B. 2012. Sustainable surface water management and green infrastructure in UK urban catchment planning. *Journal of Environmental Planning and Management* 56(1): 24-41. doi: 10.1080/09640568.2011.648752
- ESRI. 2018. ArcGIS Desktop 10.5.1 quick start guide. Hämtad 13 april 2020 från <https://desktop.arcgis.com/en/quick-start-guides/10.5/arcgis-desktop-quick-start-guide.htm>
- ESRI. 2020. How To: Convert 3D point features in the XYZ file format to raster in ArcMap. Hämtad 5 april 2020 från <https://support.esri.com/en/technical-article/000011466>
- Europeiska kommissionen. 2013. Building a Green Infrastructure for Europe. Publications Office of the European Union, doi: 10.2779/54125, Luxembourg City, Luxembourg.
- FAO. 2002. *Irrigation Manual Planning: Development Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation- Module 7. Les Pailles*, Mauritius: Précé-ex.
- Gill, S., J.F. Handley, R. Ennos och S. Pauleit. 2007. Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built Environment* 33(1):115-133. doi: 10.2148/benv.33.1.115
- Hansson, P., och A. Rabow. 2006. *Klostergården i Lund: kulturmiljöanalys, 2005: Lunds socken, Lunds kommun, Skåne län*. Kristianstad: Regionmuseet Kristianstad/Landsantikvarien i Skåne.
- Harrie, L. 2013. *Geografisk Informationsbehandling: Teori, metoder och tillämpningar, 6:e upplagan*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Helgeson, A., och M. Eckeskog. 2019. Natur och friluftsliv i Højeådalén vid Källby. Tekniska förvaltningen Park- och naturavdelningen, Lunds kommun, PM 2019-01-31, Lund Sverige.
- Jacobson, C.R. 2011. Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review. *Journal of Environmental Management* 92(6): 1438-1448. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.01.018>
- Janssen, C. 2016. Manning's *n* Values for Various Land Covers To Use for Dam Breach Analyses. NRCS-USDA. Hämtad 26 mars 2020 från <https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/HecRAS/NEDC/lectures/docs/Manning%20s%20n-values%20for%20Kansas%20Dam%20Breach%20Analyses%20-%20Adopted%20071216.pdf>

- JetBrains. 2020. PyCharm. Hämtad 20 april 2020 från <https://www.jetbrains.com/pycharm/>
- Kron, W. 2005. Flood risk = Hazard * Values * Vulnerability. *International Water Resources Association: Water International* 30, 1:58–68. doi: <https://doi.org/10.1080/02508060508691837>
- Lantmäteriet. 2017. Produktbeskrivning GSD Fastighetskartan vektor. Hämtad 10 april 2020 från <https://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/kartor/fastshmi.pdf>
- Leitão, J. P., M.D.C Almeida, N.E Simões och A. Martins. 2013. Methodology for qualitative urban flooding risk assessment. *Water Science and Technology*. 68 (4): 829–838. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2013.310>
- Lunds kommun. 2017. Befolkningsstatistik. Hämtad 15 april 2020 från <https://www.lund.se/kommun--politik/kommunfakta/befolkning-arbete-byggande/befolkningsprognos/>
- Lunds kommun. 2018. Översiktsplan för Lunds kommun. Hämtad 23 mars 2020 från <https://www.lund.se/trafik--stadsplanering/oversiktsplan/>
- Lunds kommun. 2019. Fördjupad översiktsplan för Källby i sydvästra Lund - Samrådshandling. Stadsbyggnadskontoret Lunds kommun, Lund, Sverige.
- Lunds kommun. 2020. Grönprogram för Lunds kommun. Stadsbyggnadskontoret och Tekniska förvaltningen Lunds kommun, Lund, Sverige.
- Lunds kommun och VA Syd. 2018. Översvämningsplan för Lunds kommun. Lunds kommun, Översvämningsplan antagen år 2018, Lund, Sverige
- Mahaut, V., och H. Andrieu. 2019. Relative influence of urban-development strategies and water management on mixed (separated and combined) sewer overflows in the context of climate change and population growth: A case study in Nantes. *Sustainable Cities and Society*, 44, 171–182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.012>
- Microsoft. 2010. Office 2010. Hämtad 20 april 2020 från <https://www.microsoft.com/en-ww/microsoft-365/previous-versions/office-2010>
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. 2017. Vägledning för skyfallskartering: Tips på genomförande och exempel på användning. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Publikationsnummer: MSB1121, Karlstad, Sverige.
- Nilsson, H. 2017. A dynamic and spatially distributed rainfall runoff model - Developing a model for overland flow in GIS, based on a multiple flow direction algorithm. Master thesis. Lund, Sweden: Lund University.
- Ohlsson, A., M. Asp, S. Berggreen-Clausen, G. Berglöv, E. Björck, A. Johnell, J. Axén Mårtensson, L. Nylén et al. 2015. Framtidsklimat i Skånes län – enligt RCP-scenarier. SMHI, Klimatologi Nr 29, Norrköping, Sverige.
- Olsson, J., och W. Josefsson. 2015. Skyfallsuppdraget - ett regeringsuppdrag till SMHI. SMHI, Klimatologi Nr 37, Norrköping, Sverige.
- Olsson, J., P. Berg, A. Eronn, L. Simonsson, J. Södling, L. Wern och W. Yang. 2017. Extremregn i nuvarande och framtida klimat - Analyser av observationer och framtidsscenarier. SMHI, Klimatologi Nr 47, Norrköping, Sverige.
- Park, K., och M.H. Lee. 2019. The Development and Application of the Urban Flood Risk Assessment Model for Reflecting upon Urban Planning Elements. *Water* 11(5):920. doi:10.3390/w11050920
- Persson, G., C. Wikberger och J.H. Amorim. 2018. Klimatanpassa nordiska städer med grön infrastruktur. SMHI, Klimatologi Nr 50, Norrköping, Sverige.
- Persson, J., K. Fridell, E.L. Gustafsson och J.E. Englund. 2014. Att räkna på vatten – en formelsamling för landskapsingenjörer. Sveriges lantbruksuniversitet: Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap: Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning, Rapport 2014:17, Alnarp, Sverige.

- Pilesjö, P., och A. Hasan. 2014. A Triangular Form-Based Multiple Flow Algorithm to Estimate Overland Flow Distribution and Accumulation on a Digital Elevation Model. *Transactions in GIS*, 18:108-24. doi : <https://doi.org/10.1111/tgis.12015>
- Python Software Foundation. 2019. Python 3.8. Hämtad 18 april 2020 från <https://www.python.org/downloads/release/python-380/>
- SGU. 2014. Jordarter 1:25 000 - 1:100 000. Hämtad 25 mars 2020 från <https://www.sgu.se/produkter/kartor/kartvisaren/jordkartvisare/jordarter-125-000-1100-000/>
- SMHI. 2014. Kunskapsbanken- Skyfall och Rotblöta. Hämtad 23 april 2020 från <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/rotblota-1.17339>.
- Svensk Vatten. 2016. Avledning av dag-, drän- och spillvatten-Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem: Del I – Policy och funktionskrav för samhällets avvattnings- Svenskt Vatten AB, Publikation P110, Stockholm, Sverige.
- Sörensen, J., och S. Mobini. 2017. Pluvial, urban flood mechanisms and characteristics – Assessment based on insurance claims. *Journal of Hydrology*, 555, 51–67. doi: <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2017.09.039>
- VA Syd. 2018. Dagvattenplan för Lunds kommun. VA Syd och Lunds kommun, Lund, Sverige.
- VA Syd. 2020. Källby dammar. Hämtad 15 april 2020 från <https://www.vasyd.se/Artiklar/Avlopp/Kallbydammar>
- Vägverket. 2008. VVMB 310 Hydraulisk dimensionering. Vägverket, Publikation 2008:6, Borlänge, Sverige.