



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 20017

Examensarbete 30 hp
Juni 2020

Multikriterieanalys för lokalisering av multifunktionella dagvattenåtgärder i sjukhusmiljö

- En fallstudie över Akademiska sjukhuset
i Uppsala

Maria Helin

REFERAT

Multikriterieanalys för lokalisering av multifunktionella dagvattenåtgärder i sjukhusmiljö – en fallstudie över Akademiska sjukhuset i Uppsala

Maria Helin

I Sverige kommer klimatförändringarna innebära ett varmare klimat med kraftigare nederbörd. I kombination med en stor andel hårdgjorda ytor i våra växande städer kommer detta innebära en risk för dagvattenöversvämningar. Ett angreppssätt för att klimatanpassa städerna och öka dess resiliens är att använda sig av gröna dagvattenåtgärder för hanteringen av dagvatten. Gröna dagvattenåtgärder, till exempel gröna tak eller växtbäddar, är multifunktionella då de bidrar med flera ekosystemtjänster samtidigt. Exempel på ekosystemtjänster är rening och fördröjning av dagvatten och lokal sänkning av temperaturen. Studier visar även en lägre mortaliteten hos människor boende i områden med mer grönska.

Syftet med examensarbetet var att utforma en multikriterieanalys för att föreslå placering av gröna dagvattenåtgärder inom ett sjukhusområde. Akademiska sjukhuset i Uppsala användes som fallstudie. Multikriterieanalys är en väletablerad metod för att utvärdera olika alternativ baserat på en uppsättning kriterier. Metoden beaktar hur de undersökta alternativen uppfyller de olika kriterierna och kan användas som beslutsunderlag.

Multikriterieanalysens kriterier baserades på en litteraturstudie samt samtal med personer som i sitt yrkesliv kommer i kontakt med dagvattenhantering. De resulterande kriterierna delades in i tre grupper: Primära och sekundära restriktioner samt faktorer. De primära restriktionerna representerade markområden som helt uteslöts ur analysen. Faktorerna och de sekundära restriktionerna poängsattes på ett enhetligt vis (mellan 0 och +1 respektive med -1 och 0 poäng) samt tilldelades vikter baserat på hur viktiga de ansågs vara att ta hänsyn till vid beslut om plats för en grön dagvattenåtgärd. Vikterna beräknades enligt två metoder, vilka baseras på rangordning av kriterierna. Metoderna var centroid rangordning (ROC) och summerad rangordning (RS). Rangordningen av kriterierna utfördes under en workshop enligt Delphimetoden. Multikriterieanalysens resultat summerades i ArcMap enligt linjär additiv metod, vilket innebär att en slutpoäng beräknades som summan av respektive kriteriums poäng multiplicerat med dess vikt. Resultatet bestod av rasterkartor över Akademiska sjukhuset, där varje pixel tilldelats en slutpoäng som visade dess lämplighet för placering av en grön dagvattenåtgärd.

Resultatet visade att kriterier kopplade till rening av dagvatten, klimatanpassning (flödesfördröjning, temperatursänkning) samt praktiska genomförande- och kostnadsaspekter prioriterades högst av workshopgruppen. Enligt multikriterieanalysen var följande områden mest lämpliga för placering av gröna dagvattenåtgärder: marken runt hus A9, marken söder om J-huset och centralblocket samt mark i anslutning till parkeringsplatser och den Inre sjukhusvägen. En känslighetsanalys med avseende på val av viktningss metod visade inga större skillnader i resultatet framtaget med vikter beräknade enligt ROC- respektive RS-metoden.

Nyckelord: dagvatten, grön infrastruktur, ekosystemtjänster, klimatanpassning, multikriterieanalys, sjukhusmiljö

*Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet
Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36, Uppsala, ISSN 1401-5765*

ABSTRACT

Multicriteria analysis for localisation of green infrastructure for stormwater management in a hospital setting - A case study of Akademiska sjukhuset in Uppsala

Maria Helin

Climate change is resulting in both a warmer climate and heavier rains. At the same time the amount of paved surfaces in the cities are increasing. This will lead to both higher urban temperatures and higher risks of urban flooding. One way to tackle this and to increase urban resilience is by adapting to the climate change using green infrastructure for stormwater management. Green infrastructure has the potential to contribute with several ecosystem services, for example purification of stormwater and reducing the stormwater discharge.

The aim of the thesis was to conduct a multicriteria analysis for localisation of green infrastructure for stormwater management in a hospital setting. The hospital Akademiska sjukhuset was used as a case study.

The criteria for the analysis was based on a search of the literature and on conversations with people who come in contact with stormwater management in their professional lives. The analysis was carried out using the linear additive method in ArcMap. Each criterion was assigned weights according to how important the criterion was to take into account when choosing a location for green infrastructure such as green roofs. The importance of the criteria was established by conducting a workshop according to the Delphi method. The workshop established a list ranking the criteria. The weights were then calculated using two methods: Rank Order Centroid and Rank Sum.

The results conclude that criteria linked to purification of stormwater, climate adaptation (reducing discharge, lowering temperature) and aspects having to do with costs and practical feasibility were given the highest priority by the workshop group. According to the multicriteria analysis, areas most suitable for installation of green infrastructure for stormwater management were areas adjacent to house A9 and the southern parts of Centralblocket and house J, together with areas in connection to parking lots and the road Inre sjukhusvägen.

Keywords: stormwater, green infrastructure, ecosystem services, climate adaption, multicriteria analysis, healthcare setting

Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Science, Uppsala University. Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36, Uppsala, Sweden, ISSN 1401-5765

FÖRORD

Den här rapporten är slutprodukten av mitt examensarbete och utgör det sista momentet på civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet. Examensarbetet omfattar 30 hp och har utförts hos WSP i Uppsala, i samarbete med Region Uppsala, under 20 veckor i januari till juni 2020. Min handledare har varit Kristina Wilén på WSP och min kontaktperson på Region Uppsala har varit Marcus Nystrand. Min ämnesgranskare har varit Roger Herbert vid Institutionen för geovetenskaper vid Uppsala universitet. Examinator för examensarbetet har varit Gabriele Messori vid Institutionen för geovetenskaper vid Uppsala universitet.

Jag vill rikta ett stort tack till WSP och Region Uppsala för att ni gett mig möjligheten att utföra mitt examensarbete hos och i samarbete med er. Främst vill jag tacka min handledare Kristina Wilén, för att du inte bara bidraget med din kunskap om dagvatten utan också för att du varit ett ovärderligt stöd under hela min examensarbetsprocess. Tack! Tack också till Marcus Nystrand för ett trevligt samarbete och för all hjälp med anordnandet av workshopen. Och tack till min ämnesgranskare Roger Herbert för all din vägledning och stöttning under examensarbetet.

Tack till alla kollegor som fått mig att känna mig välkommen på WSP, det har betytt mycket. Tack till Duncan Mcconnachie för dina synpunkter och feedback kring utförandet av både multikriterieanalysen och workshopen, och för att du tagit dig tid att svara på mina många frågor. Tack till Rickard Petterson för att du hjälpt mig när frågetecknen dykt upp vid arbetet i GIS. Och tack till min ex-jobbs-kollega Alexi Lampinen som, utöver stöd och förträffligt sällskap, även bidraget med materialet som ligger till grund för kriteriet *Skyfall*. Ett extra stort tack till alla som deltagit i workshopen och samtalen om dagvatten, utan ert bidrag hade mitt examensarbete inte varit möjligt att genomföra!

Avslutningsvis vill jag tacka vänner och familj, som stöttat och följt mig under mina år på universitetet. Tack alla kursare och korridorsgrannar, ni har förgyllt min tillvaro! Och tack till David, för att du är min klippa.

Maria Helin

Uppsala, Juni 2020

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Multikriterieanalys för lokalisering av multifunktionella dagvattenåtgärder i sjukhusmiljö – en fallstudie över Akademiska sjukhuset i Uppsala

Maria Helin

Klimatförändringarna och den globala uppvärmningen beror på att mänsklig aktivitet lett till förhöjda halter av växthusgaser (till exempel koldioxid) i atmosfären, vilket förstärkt den naturliga växthuseffekten. I Sverige kommer klimatförändringarna innebära både högre lufttemperaturer och fler och kraftigare regn.

Vid mitten av 1900-talet var normen att anpassa svenska städer efter bilismen genom att bygga många asfalterade vägar och parkeringsplatser. Det gjorde att mängden hårdgjorda ytor, där regnvatten inte kan rinna ner i marken, ökade. Även idag ökar mängden hårdgjorda ytor eftersom städerna förtätas. Regnvatten (eller vatten från smält snö) som rinner på hårdgjorda ytor och förhindras från att rinna ner i marken kallas dagvatten. Dagvattnet ansamlas på ytan utan att rinna ner i marken, vilket gör att höga flöden kan uppstå på kort tid. Detta till skillnad från i skogen eller på gräsmattor, där regnvattnet antingen rinner ner i marken eller rinner långsamt till ett dike eller en bäck. Den stora andelen hårdgjorda ytor i dagens städer i kombination med fler och kraftigare regn gör att risken för dagvattenöversvämningar i städerna ökar.

I städerna har dagvatten traditionellt samlats i brunnar i gatan för att sedan ledas bort i avloppssystemet. Dessa brunnar är exempel på så kallad grå dagvattenhantering. Idag används även grön dagvattenhantering, vilket ryms inom det större begreppet grön infrastruktur. Grön infrastruktur är anlagda miljöer eller strukturer med naturlig karaktär (eller med inslag av naturlig karaktär) som bidrar med ekosystemtjänster i stadsmiljön. Ekosystemtjänster är produkter eller tjänster som naturens ekosystem producerar och som människor kan dra nytta av. Ett exempel är att växtbeklädda tak eller speciellt utformade rabatter med blommor eller träd kan ta hand om dagvattnet i städerna. Dessa tak och rabatter är exempel på gröna dagvattenåtgärder och de kallas i dagvattensammanhang för gröna tak respektive växtbäddar. De gröna taken kan suga upp regnvatten vilket gör att den snabba uppkomsten av höga flöden (med översvämningar som följd) förhoppningsvis kan undvikas. Växtbäddar kan också minska risken för översvämningar, men de är främst bra på att rena dagvatten (som runnit över smutsiga vägar och parkeringar) från föroreningar. Både gröna tak och växtbäddar bidrar även till att mer vatten avdunstar, vilket leder till att mindre vatten når ledningar som leder bort dagvatten. Avdunstningen av vatten sänker också temperaturen lokalt. Vissa gröna dagvattenåtgärder kan även sänka temperaturen genom att bidra med skugga.

Syftet med examensarbetet var att utforma och utföra en multikriterieanalys för att föreslå lämpliga platser att bygga gröna dagvattenåtgärder på inom ett sjukhusområde. För att testa multikriterieanalysen användes Akademiska sjukhusets område i Uppsala som fallstudie. En multikriterieanalys är ett strukturerat sätt att utvärdera olika alternativ på. Resultatet av en multikriterieanalys kan användas som diskussionsunderlag eller för att ta ett välgrundat beslut vid val mellan olika alternativ. Multikriterieanalysen i det här examensarbetet utfördes i ArcMap, vilket är ett program där geografiska data kan behandlas och där kartor kan framställas. Resultatet blev ett raster, det vill säga en kartbild bestående

av många pixlar (1x1 meter stora). Multikriterieanalysen utvärderade hur lämpliga alla dessa enskilda pixlar var för placering av en grön dagvattenåtgärd.

Vid utvärderingen av de olika pixlarna (analysens alternativ) användes olika kriterier. Kriterierna är aspekter eller synvinklar som är viktiga att tänka på när platsen för en grön dagvattenåtgärd ska bestämmas. Vilka kriterier som skulle ingå bestämdes genom en litteraturstudie samt genom samtal med olika personer som arbetar med eller kommer i kontakt med dagvattenhantering i sitt yrkesliv. Totalt 21 kriterier hittades, varav 16 stycken inkluderades i fallstudien av Akademiska sjukhuset. Vissa kriterier var olika ekosystemtjänster: rening av dagvatten, minskning av dagvattenflödet, lokal sänkning av temperaturen, kylande effekt på byggnader eller positiva effekter på patienters hälsa genom att se eller kunna gå till gröna områden på sjukhuset. Andra kriterier var av praktisk karaktär: områden där redan planerad ombyggnation skulle kunna underlätta byggandet av en dagvattenåtgärd eller mark i anslutning till hus med utvändiga stuprör. Utvändiga stuprör kan innebära att gröna dagvattenåtgärder relativt enkelt skulle kunna läggas till för att komplettera redan existerande dagvattenhantering.

De inkluderade kriterierna poängsattes baserat på om de ansågs bidra med något positivt (pluspoäng) eller om de ansågs utgöra en begränsning (minuspoäng). Kriterierna som ansågs bidra med något positivt kallades *faktorer* och kriterierna som utgjorde begränsningar kallades *sekundära restriktioner*. Vissa kriterier kallades *primära restriktioner*. Dessa kriterier utgjordes av mark som bedömdes olämplig för gröna dagvattenåtgärder och som därför helt uteslöts ur multikriterieanalysen. För varje kriterium skapades ett raster i ArcMap, där varje pixel tilldelades en viss poäng.

Varje kriterium tilldelades en vikt för att spegla att olika kriterier är olika viktiga att ta hänsyn till när plats för en grön dagvattenåtgärd ska bestämmas. Vikterna bestämdes baserat på att kriterierna rangordnades av en workshopgrupp. Rangordningen utfördes enligt Delphimetoden. Metoden går ut på att alla deltagare först rangordnar kriterierna enskilt, följt av att gruppens resultat sammanställs och presenteras för gruppen. Efter att ha sett en sammanställning av gruppens resultat och fått möjlighet att diskutera det med varandra, rangordnade alla deltagare kriterierna enskilt igen. Denna andra rangordningsrunda brukar deltagarna rangordna kriterierna mer likt varann. För att uppskatta hur samstämmig workshopgruppen var i sin rangordning användes ett statistiskt test. Vid workshopen som utfördes i det här examensarbetet visade testat att workshopgruppen uppnådde stark samstämmighet angående rangordningen av kriterierna. När rangordningen var fastställd beräknades kriteriernas vikter utifrån den enligt två metoder: centroid rangordning (ROC) och summerad rangordning (RS). I ArcMap beräknades sedan en slutpoäng för varje pixel i ett resultatsraster. Slutpoängen beräknades enligt linjär additiv metod, vilket innebär att poängen hos pixlarna i varje kriteriums raster multiplicerades med den vikt som kriteriet tilldelats. Slutligen adderades alla raster samman, vilket resulterade i ett resultatsraster där varje pixel innehöll en slutpoäng. Ju högre slutpoäng, ju lämpligare var platsen för placering av en grön dagvattenåtgärd.

Resultat av examensarbetet visade att kriterier kopplade till rening av dagvatten, klimatanpassning (genom att minska flödet av dagvatten eller sänka lufttemperaturen) samt vissa praktiska kriterier fick högst prioritering av workshopgruppen. Detta är rimligt då huvudsyftet med att bygga dagvattenåtgärder är att rena dagvattnet eller minska dagvat-

tenflödet och därigenom förhindra översvämningar. Att sänka lufttemperaturen är även en hälsoaspekt, vilket är relevant inom ett sjukhusområde. De praktiska kriterierna speglar också kostnads- och genomförbarhetsaspekter. De områden som tilldelades högst slutpoäng och som således är mest lämpliga för placering av gröna dagvattenåtgärder enligt multikriterieanalysen var: marken i anslutning till hus A9 och marken söder om J-huset och centralblocket, samt mark intill parkeringsplatser och längst den Inre sjukhusvägen. En känslighetsanalys med avseende på val av viktningsmetod utfördes också, för att se om resultatet påverkades beroende på vilken metod som använts för att beräkna vikterna. Känslighetsanalysen visade inga större skillnader i resultatet när ROC- respektive RS-metoden användes.

DEFINITIONER OCH BEGREPP

Avrinning	Vattenflödet på eller från en yta (angivet som längdenhet per tidsenhet).
Avrinningsområde	Det område vars nederbörd samlas och rinner genom en viss punkt (utloppet) i form av yt- eller grundvatten.
Biologisk mångfald	Biologisk mångfald eller biodiversitet är mångfald och variansrikedom hos arter och ekosystem, enligt FN:s konvention om biologisk mångfald.
Dagvatten	Den ytavrinning som bildas från regn- och smältvatten i urbana miljöer.
Dagvattenåtgärd	Dagvattenåtgärd eller dagvattenlösning är en fysisk struktur vars syfte är att rena och/eller fördröja dagvattenflödet innan det avleds till ledningsnät eller recipient.
Delphimetoden	En metod för att få en expertgrupp att nå konsensus. I det här projektet nådde en workshopgrupp konsensus kring rangordningen av multikriterieanalysens kriterier, genom att upprepade gånger enskilt rangordna kriterierna följt av att gruppens sammanvägda resultat presenterades och motiverades.
Dränvatten	Ett överskott av markvatten, vilket leds bort via dagvatten- eller avloppssystemet.
Ekosystemtjänster	Ekosystemtjänster är tjänster eller produkter från naturen som är till nytta för människor.
Evapotranspiration	Avgång av vattenånga från yt- och markvatten (evaporation) samt via vegetationen (transpiration).
Faktorer	Kriterier som vid summeringen bidrar med positiva poäng till slutpoängen. Faktorerna representerar positiva aspekter till exempel platser som möjliggör för en dagvattenåtgärd att kunna bidra med ekosystemtjänster.
Grön infrastruktur	Gröna, planerade strukturer som bidrar med ekosystemtjänster och till den biologiska mångfalden. Exempel på grön infrastruktur är gröna dagvattenåtgärder som gröna tak eller träd med skelettjord.
Kendalls W	Kendalls W, eller Kendalls samstämmighetskoefficient, är ett statistiskt test som visar graden av samstämmighet. I det här projektet användes Kendalls W för att kvantifiera hur samstämmig workshopgruppen var vid rangordningen av kriterierna i multikriterieanalysen.

Känslighetsanalys	En känslighetsanalys syftar till att utvärdera resultatet genom att undersöka hur delmoment i metoden påverkat resultatet, till exempel subjektiva element som poängsättning eller val av vikter. I det här projektet bestod känslighetsanalysen av att jämföra resultatet vid användning av två olika viktningmetoder.
Linjär additiv metod	En metod för summering av slutpoängen vid multikriterieanalys, där slutpoängen är summan av den enskilda poängen multiplicerat med vikten för varje kriterium.
Lokaliseringsutredning	Metod som syftar till att föreslå en eller flera platser. I det här projektet utförs lokaliseringsutredningen i form av en multikriterieanalys.
Multifunktionell dagvattenåtgärd	En dagvattenåtgärd som bidrar mer flera ekosystemtjänster samtidigt.
Multikriterieanalys	En strukturerad metod för att (utifrån en uppsättning av kriterier) ta ett beslut eller bedöma hur väl de alternativ som undersöks uppfyller kriterierna.
Primära restriktioner	De kriterier som motsvarar områden (mark eller tak) som utesluts ur multikriterieanalysen och lokaliseringsutredningen.
Recipient	Det hav, sjö eller vattendrag som är mottagare av det avledda dagvattnet.
Resiliens	En förmåga (hos till exempel samhället eller ett ekosystem) att motstå förändringar eller en förmåga att återhämta sig efter förändringar.
Sekundära restriktioner	Kriterier som vid summeringen bidrar med negativa poäng till slutpoängen. De sekundära restriktionerna utgörs av markområden som helst inte ska tas i anspråk, men som trots detta inte utesluts ur multikriterieanalysen och lokaliseringsutredningen.
Skyfallskartering	Analys som visar vilka områden som översvämmas vid kraftig nederbörd.
Spillvatten	Förorenat vatten från hushåll, vilket avleds via avloppssystemet.
Vattenföring	Vattenflödet uttryckt som volymenhet per tidsenhet.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
1 INLEDNING	1
1.1 SYFTE	1
1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR	1
1.3 BEGRÄNSNINGAR	2
2 TEORI	2
2.1 STRÅLNINGS- OCH ENERGIBALANSEN VID MARKY- TAN	2
2.2 DEN HYDROLOGISKA CYKELN	3
2.3 DAGVATTEN	5
2.3.1 Gröna tak	6
2.3.2 Växtbäddar	7
2.3.3 Dagvatten i Uppsala kommun	8
2.4 EKOSYSTEMTJÄNSTER	9
2.4.1 Biologisk mångfald	10
2.4.2 Rening av dagvatten	11
2.4.3 Klimatanpassning	11
2.4.4 Hälsa	12
2.5 MULTIKRITERIEANALYS	14
2.5.1 Kriterier och poängsättning	15
2.5.2 Rangordning med Delphimetoden	15
2.5.3 Viktning	18
2.5.4 Linjär additiv metod	19
2.5.5 Känslighetsanalys	19
3 MATERIAL OCH METOD	20
3.1 OMRÅDESBESKRIVNING	20
3.2 DATAMATERIAL	22
3.3 MULTIKRITERIEANALYS	23
3.3.1 Kriterier och poängsättning	24
3.3.2 Rangordning med Delphimetoden	29
3.3.3 Viktning	31
3.3.4 Utförande av linjär additiv metod i ArcMap	31
3.3.5 Känslighetsanalys	32
3.3.6 Expertbedömning	32
4 RESULTAT	32
4.1 KRITERIER OCH POÄNGSÄTTNING	33
4.2 RANGORDNING MED DELPHIMETODEN	35
4.3 VIKTNING	37
4.4 LOKALISERING MED LINJÄR ADDITIV METOD	38
4.5 KÄNSLIGHETSANALYS	38
5 DISKUSSION	41
5.1 VAL AV KRITERIER	41

5.2	POÄNGSÄTTNING OCH VIKTNING AV KRITERIER . . .	42
5.3	RESULTATET AV FALLSTUDIEN	43
5.4	BEGRÄNSNINGAR I METOD OCH UTFÖRANDE	44
5.5	FORTSATTA STUDIER	47
6	SLUTSATS	48
7	REFERENSER	49
APPENDIX		I
A	APPENDIX A: SKRIFTLIG INFORMATION SAMT SAM- TYCKESBLANKETTER	I
B	APPENDIX B: HÖJDDATAFILER	IV
C	APPENDIX C: R-SKRIPT	V

FIGURFÖRTECKNING

	Sida
Figur 1 (a) Den hydrologiska cykeln och (b) en hydrograf som visar vattenföringen hos avrinningen i urbana miljöer och på naturmark	4
Figur 2 Schematisk skiss föreställande beståndsdelarna i ett grönt tak	6
Figur 3 Schematisk skiss föreställande (a) en nedsänkt växtbädd och (b) en växtbädd med träd och skelettjord	8
Figur 4 Beskrivning av den övergripande arbetsprocessen för projektet	20
Figur 5 Beskrivning av Akademiska sjukhuset	21
Figur 6 Beskrivning av de höjddatafiler som skapades utifrån laserdata från Lantmäteriet	22
Figur 7 Workshopsgruppens sammansättning	30
Figur 8 Schematisk beskrivning av summeringen i ArcMap enligt linjär additiv metod	31
Figur 9 Fallstudiens 16 stycken kriterier ordnade i ett värde-träd	33
Figur 10 Figurer föreställande Akademiska sjukhusets område med bland annat (a) vissa entréer, konstföremålet ”Sten på sten” och parkeringar samt (b) de primära restriktionerna utpekade	34
Figur 11 Kriterierna (a) <i>Skyfall</i> och (b) <i>Entréskydd</i>	35
Figur 12 Kriterierna (a) <i>Temperatur</i> och (b) <i>Synlighet</i>	36
Figur 13 Resultatet av multikriterieanalysen	39
Figur 14 Känslighetsanalys	40

Samlad källhänvisning för vissa av rapportens figurer:

Vägar och byggnader i figur 5 och figur 10-14 är från GSD-Fastighetskartan vektor (modifierad) © Lantmäteriet (2017) eller avritade från Ortofoto 0,16 x 0,16 m, 4 band, © Lantmäteriet (2019).

Till kriterierna i figur 10b, 11b och 12 användes laserdata NH © Lantmäteriet (2019). (NH står för nationell höjdmodell.) Till kriteriet i figur 11a, resultatet av multikriterieanalysen i figur 13 och känslighetsanalysen i figur 14 användes laserdata NH, GSD-Höjddata grid 2+, Ortofoto IRF 0,25 m tiles © Lantmäteriet (2019) samt Jordarter 1:25 000-1:100 000 © SGU (2014).

I figur 5 och 10 är följande information om Akademiska sjukhuset hämtad från Region Uppsalas (2015) ”Fastighetsutvecklingsplan för Akademiska sjukhuset”: placering av konstföremålet ”Sten på sten”, väg- och byggnadsnamn, fastighetsgräns, tidsperioder för uppförande av Akademiska sjukhusets byggnader samt ungefärliga områden för planerade ombyggnationer.

1 INLEDNING

Samhället har genomgått stora förändringar under de senaste 200 åren. Den industriella revolutionen har inneburit en övergång till industrisamhället, med anläggning av nya orter och industriområden. Både urbaniseringen, då städerna och dess befolkning växte, och introducering av nya transportmedel som tåg och ångbåtar skedde under den tidsperioden (Gustafsson 2007). Under mitten av 1900-talet anpassades svenska städer efter bilismen, genom anläggning av nya vägar och parkeringsplatser (Nyström & Tonell 2012). Den ökade användningen av fossila bränslen och förändringen i markanvändning som dessa samhällsförändringar medförde, har gett upphov till att mängden koldioxid i atmosfären ökat med 40 % jämfört med förindustriella värden (Naturvårdsverket 2019a). I Sverige kommer klimatförändringar till följd av detta innebära ett varmare klimat, en större mängd nederbörd och fler tillfällen med intensiv nederbörd. Nederbördsökningen innebär en ökad risk för översvämningar och höga flöden (Naturvårdsverket 2019b).

Regn- och smältvatten som rinner på hårdgjorda ytor, till exempel asfalterade vägar eller tak i städerna, kallas dagvatten (Linköpings kommun 2019). Mängden hårdgjorda ytor ökar när städerna förtätas, vilket ökar belastningen på det redan existerande dagvattennätet som inte dimensionerats för dessa förhållanden. Detta kombinerat med pågående klimatförändringar ställer krav på omhändertagandet av dagvatten för att förhindra översvämningar (Naturvårdsverket 2017). Grön infrastruktur kan definieras som strategiskt anlagda och planerade strukturer eller områden av naturlig eller semi-naturlig karaktär, som bidrar med viktiga ekosystemtjänster och till att bevara den biologiska mångfalden (Europeiska kommissionen 2019; Naturvårdsverket 2017). Den gröna infrastrukturen är multifunktionell då den kan bidra med flera olika ekosystemtjänster, exempelvis rening av vatten och luft. Många av Sveriges miljömål kan kopplas till ekosystemtjänster, till exempel "God bebyggd miljö", "Ett rikt växt och djurliv" och "Grundvatten av god kvalitet" (Naturvårdsverket 2019c). Grön infrastruktur för omhändertagandet av dagvatten, exempelvis genom flödeshantering och sänkning av temperaturen lokalt, är ett sätt att klimatanpassa våra städer och öka deras resiliens med avseende på klimatförändringar. Resiliens är en förmåga att motstå förändringar eller förmåga att återhämta sig efter en förändring (MSB 2013).

1.1 SYFTE

Syftet med projektet var att utforma en metod att använda vid lokaliseringsutredningar av multifunktionella dagvattenåtgärder i sjukhusmiljö. Syftet var även att ge Region Uppsala ett verktyg för att kunna introducera och prioritera fler gröna ytor på Akademiska sjukhuset, för att öka resiliensen och den biologisk mångfalden. Metoden bestod av en multikriterieanalys utförd i ArcMap, med Akademiska sjukhuset i Uppsala som fallstudie. För att utvärdera metoden utfördes en känslighetsanalys med avseende på valet av vikter till multikriterieanalysen.

1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR

Vid utvecklingen av en metod för lokalisering av multifunktionella dagvattenåtgärder inom ett sjukhusområde besvarades projektets övergripande frågeställningar (i) och (ii).

- (i) Vilka kriterier är relevanta att beakta vid lokalisering av en dagvattenåtgärd inom ett sjukhusområde?
- (ii) Hur ska kriterierna kvantifieras och viktas vid inkludering i en multikriterieanalys?

Med hjälp av en multikriterieanalys fastställdes frågeställning (iii) för fallstudien av Akademiska sjukhuset.

- (iii) Vilka platser är lämpliga lokaliseringar för multifunktionella dagvattenåtgärder på Akademiska sjukhusets område?

1.3 BEGRÄNSNINGAR

Den typ av dagvattenåtgärder som examensarbetet hade i åtanke begränsades till de som ryms inom begreppet grön infrastruktur. Detta eftersom den gröna infrastrukturen, och därmed gröna dagvattenlösningar, är multifunktionell då den har potential att bidra med flera ekosystemtjänster samtidigt till skillnad från den traditionella grå infrastrukturen (Europeiska kommissionen 2019; Naturvårdsverket 2017). Ekosystemtjänster är tjänster från naturen, till exempel syre från fotosyntesen, som människan kan dra nytta utav (Naturvårdsverket 2019c). Exempel på grå dagvattenlösningar, eller grå infrastruktur, är brunnfilter eller perkolationsmagasin (Stockholm vatten u.å. a). Multikriterieanalysen utfördes med två gröna, multifunktionella dagvattenåtgärder i åtanke, nämligen *gröna tak* och *växtbäddar*. Dessa beskrivs under de kommande rubrikerna 2.3.1 och 2.3.2. I projektet användes Akademiska sjukhuset i Uppsala som fallstudie. De platser som resultatet föreslår är därför begränsade till Akademiska sjukhusets område.

2 TEORI

I de följande avsnitten presenteras begrepp som återkommer i projektet samt den teoretiska bakgrund som projektet vilar på. Inledningsvis beskrivs strålnings- och energibalansen vid markytan samt den hydrologiska cykeln. Detta följs av att teori kring dagvatten, olika dagvattenåtgärder och hur ekosystemtjänster kopplat till dessa definieras och beskrivs. Slutligen beskrivs de olika stegen i en multikriterieanalys.

2.1 STRÅLNINGS- OCH ENERGIBALANSEN VID MARKYTAN

Fotosyntesen drivs av energin från solen. Luftens temperatur är ett mått på luftmolekylernas rörelseenergi, vilken till största del härrör från solen (SMHI 2014). Solstrålningen kan antingen absorberas eller reflekteras när den träffar atmosfären eller jordens markyta (Stull 2015). Den inkommande solstrålningen kallas *kortvågsstrålning* (K). Precis som solen avger även jordens yta strålning, så kallad *långvågsstrålning* (L) eller infraröd strålning. Ekvation (1) beskriver strålningsbalansen vid markytan, där R_n (eng. Net Radiation) är nettoflödet av strålning (ibid.). $K_{in\downarrow}$ respektive $K_{ut\uparrow}$ är den inkommande respektive den utgående (reflekterade) kortvågiga strålningen. På motsvarande sätt är $L_{in\downarrow}$ respektive $L_{ut\uparrow}$ den inkommande respektive utgående långvågiga strålningen. $L_{in\uparrow}$ emitteras tillbaka mot jorden, från atmosfären (ibid.).

$$R_n = K_{in\downarrow} - K_{ut\uparrow} + L_{in\downarrow} - L_{ut\uparrow} \quad (1)$$

Andelen av den totala mängden inkommande solstrålning som reflekteras kallas *albedo* (betecknas α). Olika ytor har olika albedo, vilket påverkar hur mycket av den kortvågiga solstrålningen som reflekteras enligt ekvation (2) (Stull 2015). Ljusa ytor har högt albedo och reflekterar stor del av den inkommande solstrålningen, till exempel är albedo för nysnö 75-95 %. Mörka ytor har lågt albedo och absorberar därför stor del av den inkommande solstrålningen, till exempel blöt jord vars albedo är 6-8 %. Byggnaders och asfalts albedo är ungefär 9 % respektive 5-15 %, jämfört med gräs och lövskog vars albedo är 26 % respektive 10-25 % (ibid.). Mängden långvågig strålning som emitteras av jordens yta beskrivs av ekvation (3), som produkten av jordytans emissivitet (e , hur effektiv ytans emission är), Boltsmanns konstant ($\sigma = 5,67 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$) och jordytans temperatur (T) (ibid.). Hur mycket av den långvågiga strålningen som emitteras tillbaka mot jordens yta ($L_{in\uparrow}$) beror bland annat på mängden växthusgaser i atmosfären, då dessa absorberar den långvågiga strålningen. Den globala uppvärmningen som observeras idag relateras till en förändrad markanvändning samt antropogen förbränning av fossila bränslen, vilket ökat halterna av koldioxid i atmosfären och på så sätt förstärkt den naturliga växthuseffekten (Hendriks 2010).

$$K_{ut\uparrow} = \alpha K_{in\downarrow} \quad (2)$$

$$L_{ut\uparrow} = e\sigma T^4 \quad (3)$$

Enligt termodynamikens första lag kan energi inte skapas eller förstöras, utan den bevaras genom att omvandlas från en form till en annan. Det innebär att energin från solstrålningen som inte reflekteras vid markytan absorberas och omvandlas (Stull 2015), vilket beskrivs av energibalansen i ekvation (4) (Rodhe 2000). Nettoflödet R_n värmer upp markytan, vilket skapar en lagring av värme (G , eng. heat storage) i markytan. Sensibelt värmefflöde (H , eng. sensible heat flux) innebär att den uppvärmda marken i sin tur värmer upp luften. Detta till skillnad från det latent värmefflödet (LE , eng. latent heat flux), som inte medför en förändring av temperaturen. Latent energi är den energi som går åt vid fasövergångar, som evaporation (när vatten övergår till vattenånga) eller kondensation (när vattenånga övergår till flytande vatten) (Stull 2015). Det latent värmefflödet är produkten av den latent energin som går åt för fasövergången evaporation (L) och hastigheten hos evaporationen (E) (Rodhe 2000).

$$R_n = H + L \cdot E + G \quad (4)$$

Termen *globalstrålning* avser den totala mängd solstrålning som träffar markytan (SMHI 2019), och motsvarar $K_{in\downarrow}$ i ekvation (1). Globalstrålningen är summan av direkt solstrålning samt indirekt solstrålning, där indirekt solstrålning är strålning som träffar markytan efter att ha träffat moln eller partiklar i atmosfären. Globalstrålning sett över en viss tidsperiod (eng. global irradiation) anges i enheten Wh m^{-2} (ibid.).

2.2 DEN HYDROLOGISKA CYKELN

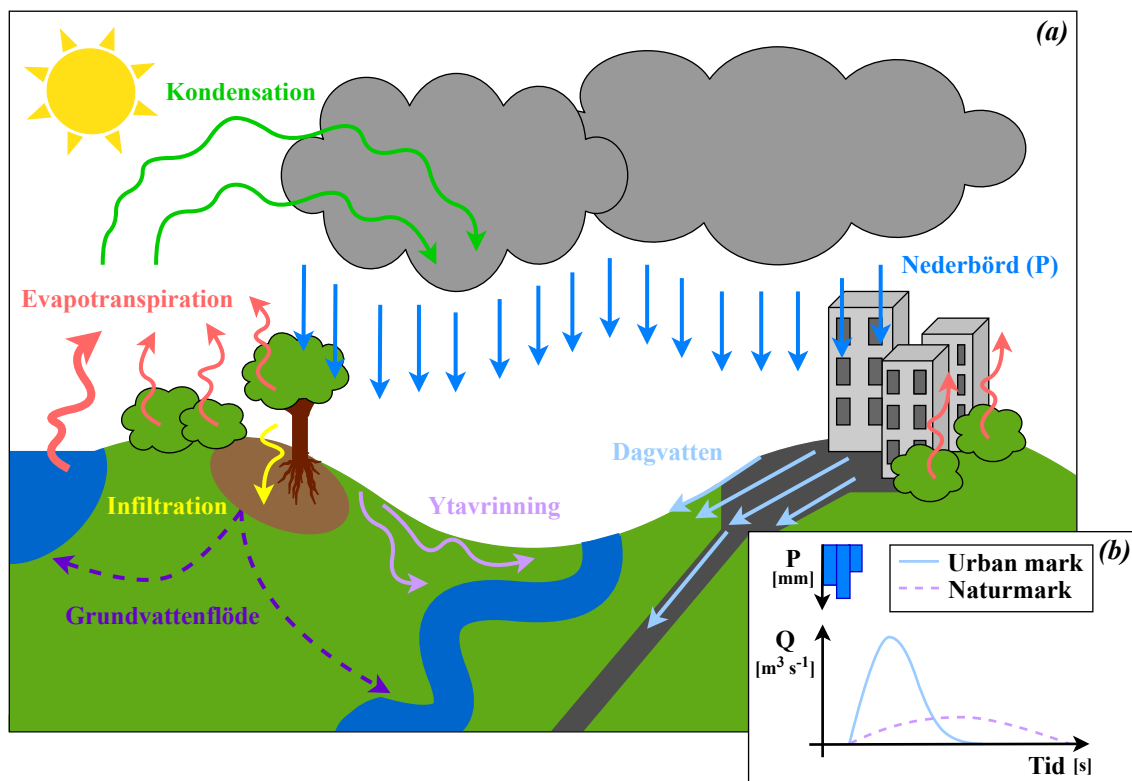
Vattnets kretslopp, eller den hydrologiska cykeln, beskriver vattnets cirkulation från hav, sjöar och vattendrag till atmosfären och tillbaka igen (Hendriks 2010). Cirkulationen drivs av att energi från solen. Vatten, främst från haven, bildar vattenånga (genom evaporation) som cirkulerar in över land och ombildas till regn (genom kondensation). Den hydrolo-

giska cykeln illustreras i figur 1a. Vattnets kretslopp kan även beskrivas av vattenbalansen (Rodhe 2000), se ekvation (5). Vattenbalansen beskriver flödet av vatten på landskapsnivå, där vatten tillförs via nederbörden (P , eng. precipitation) och försvinner via antingen avrinningen (R , eng. runoff) eller evaporationen (E). Förändringen i magasinering (ΔS , eng. storage), eller förändringen i ansamlingen av vatten i landskapet, antas vara noll sett över ett eller flera års tid. Begreppet *evapotranspiration* innefattar dels att vattenånga avgår från vattenytor eller vatten i marken (evaporation), och dels att vattenånga avgår från växternas klyvöppningar (transpiration) (ibid.). I den här rapporten avser E i vattenbalansen att representera evapotranspirationen, det vill säga även transpirationens bidrag till den totala avdunstningen inkluderas. *Vattenföringen* (Q , eng. discharge) definieras som ”framrunnen volym per tidsenhet” (till exempel $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), till skillnad från avrinningen som definieras ”vattenflödet från en yta” (till exempel $\text{mm} \text{månad}^{-1}$) (Rodhe 1997, s. 83-84). Sambandet mellan (medel)vattenföring och avrinning ses i ekvation (6), där A är avrinningsområdets area (Rodhe 1997).

$$\Delta S = P - R - E \quad (5)$$

$$Q = R \cdot A \quad (6)$$

Termen *avrinningsområde* definieras som ”det område inom vilket det ytvatten eller grundvatten som rinner fram i punkten har samlats från nederbörden” (Rodhe 1997, s. 82).



Figur 1: (a) Den hydrologiska cykeln som beskriver hur vattnet från nederbörden (P) antingen kan infiltreras ner i marken, tas upp av växter och avdunsta genom evapotranspiration eller rinna av på marken som ytavrinning. (b) Hydrografen visar skillnaden mellan vattenföringen (Q) hos avrinningen i urbana miljöer (dagvatten) och på naturmark (ytavrinning). I urbana miljöer är tiden mellan tillfället med nederbörd (P) och flödestoppen kortare och flödestoppen är högre, jämfört med ute i naturen. Illustration: Maria Helin, inspirerad av Linköpings kommun (2019) och Hendriks (2010).

Vatten från nederbörd kan antingen rinna ner i marken, vilket kallas *infiltration*, eller rinna på markens yta, vilket kallas *ytavrinning*. Både infiltrationen och ytavrinningen ryms inom avrinningstermen R i ekvation (5). I skog eller på naturmark infiltrerar oftast vattnet, men ytavrinning kan uppstå till exempel då vattnet hindras från att infiltrera på grund av att grundvattenytan ligger i nivå med markytan (Rodhe 1997). Ytavrinning sker då långsamt till naturliga diken eller lågpunkter (Linköpings kommun 2019). I urbana miljöer skapas ofta ytavrinning på grund av den stora andelen hårdgjorda ytor. Hårdgjorda ytor är exempelvis asfalterade vägar och parkeringsplatser. Ytavrinningen i urbana miljöer kallas dagvatten. Dagvatten bildas snabbt vid nederbörd och har en kort avrinningstid, jämfört med avrinning på skogs- eller naturmark. Dagvattnet avleds via diken eller ledningar eftersom det inte kan infiltrera marken (ibid.). Dagvattnets kortare avrinningstid och höga flödestopp, jämfört med ytavrinning på naturmark, illustreras av hydrografen i figur 1b. Genom att öka evapotranspirationen bidrar grön infrastruktur till att minska avrinningen, enligt vattenbalansen i ekvation (5). Vissa typer av grön infrastruktur minskar även avrinningen genom att möjliggöra infiltration av dagvatten ner i marken.

Termen *urban värmeö* (eng. Urban Heat Island) speglar fenomenet att tätbebyggda städer är varmare än omgivningen utanför städerna (Boverket 2019). Fenomenet beror på att byggnader och andra fysiska strukturer i staden lagrar värme från solen, som sedan avges nattetid. Vegetation och grön infrastruktur motverkar effekten av den urbana värmeön, genom att bidra med skugga och evapotranspiration som sänker temperaturen lokalt (ibid.). Evapotranspirationen minskar det sensibla värmeflödet i ekvation (4). Grön infrastruktur motverkar också den urbana värmeön genom att bidra till att höja städernas albedo.

2.3 DAGVATTEN

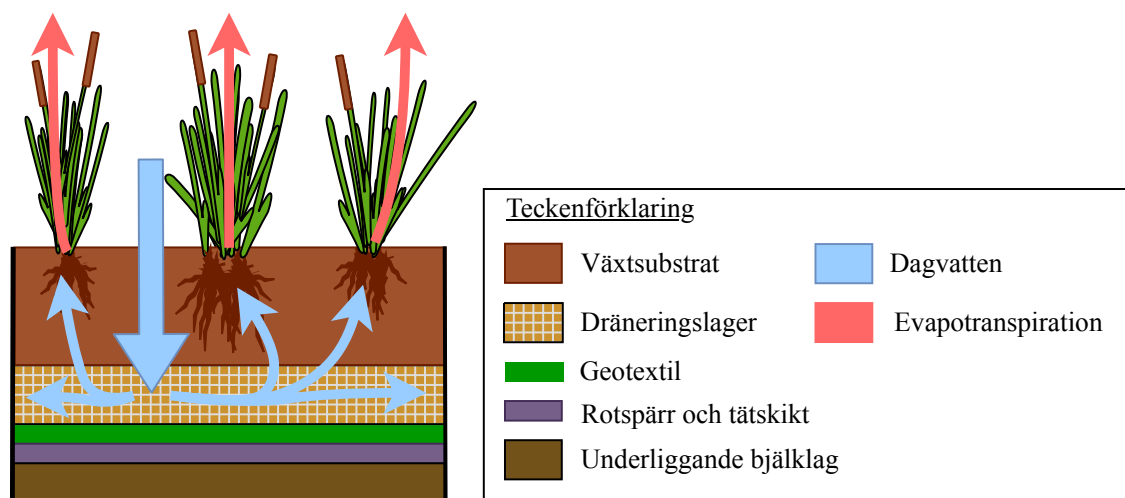
Dagvatten definieras i en föreskrift från Naturvårdsverket som ”regn- eller smältvatten, som inte tränger ned i marken, utan avrinner på markytan” (NFS 2016:6, s. 2). I den här rapporten avser termen dagvatten endast den ytavrinning som bildas i urbana miljöer. En juridisk definition av termen *dagvatten* saknas, men däremot finns en definition av termen *avloppsvatten* i miljöbalken (MB) och av termen *avlopp* i lag (2006:412) om allmänna vattentjänster (LAV) (Naturvårdsverket 2017). Avloppsvatten definieras enligt fyra punkter i 9 kap. 2 § MB, vilka är (1) ”spillvatten eller annan flytande orenlighet”, (2) ”vatten som använts för kylning”, (3) ”vatten som avleds för sådan avvattning av mark inom detaljplan som inte görs för en viss eller vissa fastigheters räkning” och (4) ”vatten som avleds för avvattning av en begravningsplats”. Enligt 2 § vattentjänstlagen definieras avlopp som ”bortledande av dagvatten och dränvatten från ett område med samlad bebyggelse eller från en begravningsplats, bortledande av spillvatten eller bortledande av vatten som har använts för kylning”. Spillvatten är förorenat vatten från hushåll (NE u.å. a). Dränvatten är ett överskott av markvatten som leds bort, till exempel för att skydda husgrunden (NE u.å. b). Dagvatten anses alltså vara avloppsvatten, om det avleds från mark inom detaljplanlagt område eller från ett område med samlad bebyggelse. Detta medför krav på omhändertagande av dagvatten enligt 9 kap 7 § MB, som säger att avloppsvatten ”skall avledas och renas eller tas om hand på något annat sätt så att olägenhet för människors hälsa eller miljön inte uppkommer”. Dagvatten, spillvatten och dränvatten avleds via avloppssystemet (NE u.å. c).

Det generella syftet med en dagvattenåtgärd är att rena dagvattnet med avseende på förore-

ningar eller att fördröja och jämna ut dagvattenflödet, eller en kombination. Enligt Blecken (2016) bör syftet med dagvattenåtgärden (rening respektive flödesutjämning), halten av föroreningar samt typen av föroreningar (lösta respektive partikelbundna) i dagvattnet, recipientens status, underhållsbehovet och praktiska förutsättningar på platsen vara vägledande vid val av dagvattenåtgärd. Termen *recipient* betyder ”mottagare” och avser enligt NE (u.å. d) det ”hav, sjö, vattendrag eller atmosfären som är mottagare av restprodukter”, det vill säga det hav, sjö eller vattendrag som är mottagare av det avledda dagvattnet.

2.3.1 Gröna tak

Petterson Skog et al. (2017) definierar *gröna tak* som ”överbyggnation för vegetation på bjälklag”, där termen överbyggnation syftar på alla lager belägna ovanpå takets tätskikt (Petterson Skog et al. 2017, s. 7). Petterson Skog et al. (ibid.) beskriver de gröna takets olika lager, vilka kan ses i figur 2. Överst finns vegetationen som växer i växtsubstratet. Växtsubstratet bidrar med näring, vatten och luft till vegetationen. Därefter kommer dräneringslagret, bestående av till exempel en dräneringsmatta, vars syfte är att avleda överflödigt vatten. Vissa dräneringslager kan även hålla kvar vatten, vilket är bra då gröna tak kan riskera att torka ut då ingen kontakt med grundvattnet finns. Det kan även installeras bevattningssystem på gröna tak för att åtgärda problem med torka. Underst finns ett lager av geotextil, rotspärr och ett tätskikt som skyddar hustakets bjälklag från vatten och vegetationens rötter. Geotextil kan även placeras mellan växtbädden och dräneringslagret.



Figur 2: Schematisk skiss föreställande beståndsdelarna i ett grönt tak. Illustration: Maria Helin, inspirerad av Petterson Skog et al. (2017) och Stockholm vatten (u.å. b).

Gröna tak delas in i undergrupperna *intensiva* och *extensiva* utifrån vilket skötselbehov taken har, och alltså inte utifrån takens tjocklek. Gröna tak som inte kräver mer än ett par skötselinsatser per år räknas som extensiva, och tak som kräver mer skötsel och underhåll räknas som intensiva (ibid.). Sedumtaken är den tunnaste varianten av grönt tak (substratdjup 30-150 mm) med en vegetation bestående av mossor, sedumarter och ängsväxter (ibid.). Sedumtaken kräver att det underliggande taket kan bära cirka 50 kg per m². De tjockaste gröna taken med träd eller buskar (substratdjup 600-2000 mm) och kan innebära en last på två ton per m² eller mer (ibid.). Hur mycket vatten det gröna taket kan magasinera beror på takets tjocklek, porositet samt hur taket dräneras och avvattnas. Gröna tak bör ha låg lutning (noll till fem grader), eftersom det gröna taket klarar av att

magasinera mer nederbörd då (Stockholm vatten u.å. b). Vid en taklutning större än tio grader finns risk för att takets vegetationssystem glider och vid större lutning än 15 grader finns risk för erosionsproblem (Pettersson Skog et al. 2017).

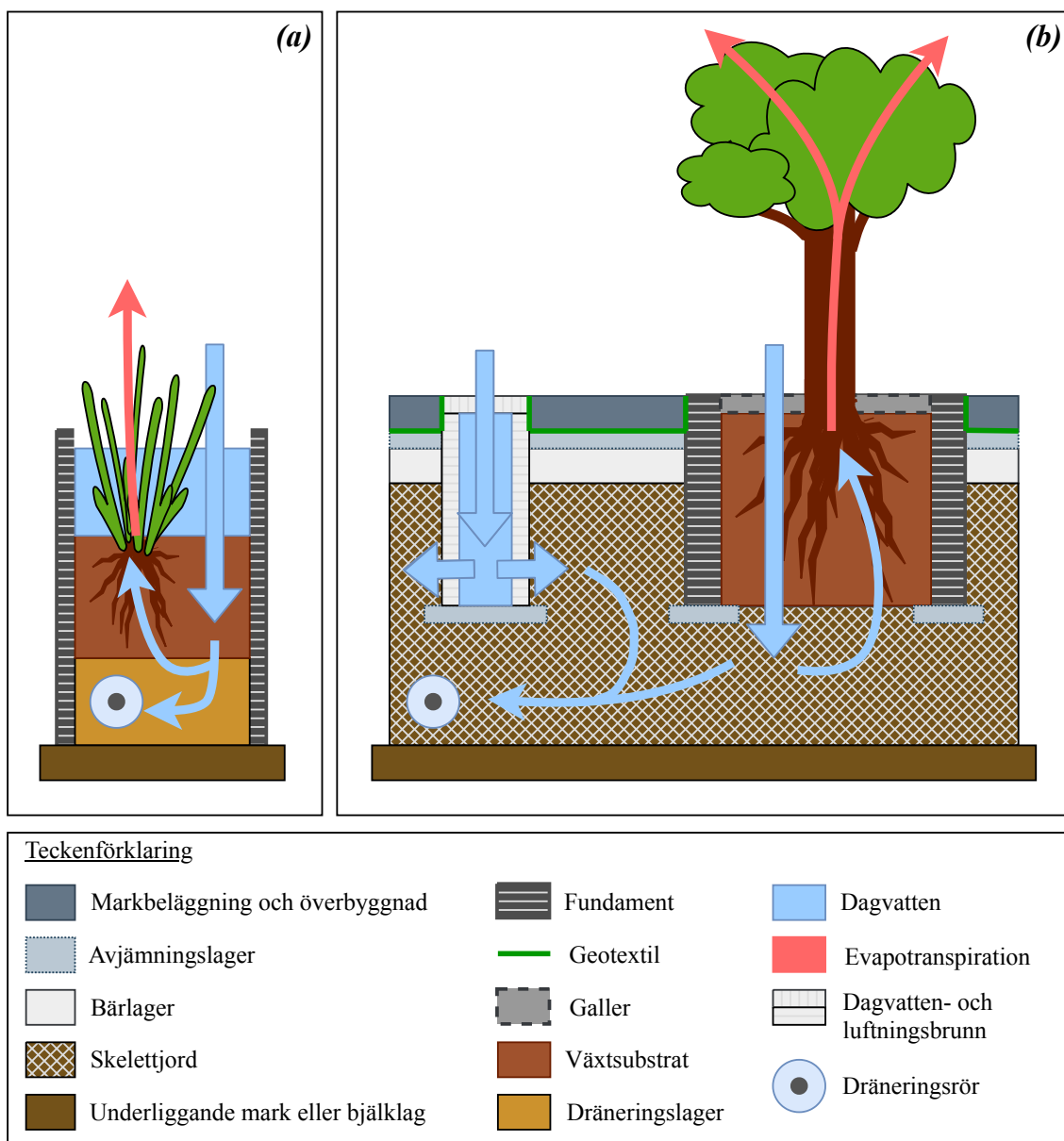
2.3.2 Växtbäddar

Växtbäddar är en dagvattenåtgärd som placeras i marknivå, innehållande vegetation som träd, buskar eller växter. Växtbäddar kan även kallas för dagvattenbiofilter eller rain gardens (Blecken 2016). Det finns flera varianter av växtbäddar, i figur 3 ses en nedsänkt växtbädd samt en växtbädd innehållande träd och skelettjord. Växtbäddars funktion är främst rening av dagvatten, men de kan även bidra med en viss fördröjning. Vid intensivare regn överskrids växtbäddens infiltrationsförmåga och växtbädden översvämmas, vilket kallas bräddning (ibid.). I växtbäddar renas dagvattnet då det filtreras genom ett filtermaterial eller genom skelettjorden och genom att näringsämnen tas upp av vegetationen (Stockholm vatten u.å. c, d). Både nedsänkta växtbäddar och växtbäddar med skelettjord bidrar med grönska till stadsmiljön.

Hos nedsänkta växtbäddar består växtsubstratet av ett filtermaterial. I botten kan ett dräneringslager med dräneringsrör läggas och ett översvämningsskydd i form av en bräddbrunn behövs för att avleda dagvatten vid intensivare regn (Stockholm vatten u.å. d). Växtbäddarna kan utformas med en botten som möjliggör perkolation av de filtrerade dagvattnet ner till grundvattnet eller utformas med tät botten. Anläggningsdjupet för en nedsänkt växtbädd bör vara minst en meter (ibid.). Vid filtreringen renas växtbäddar dagvatten både med avseende på partikelbundna och lösta föroreningar (ibid.) genom mekanisk filtrering, adsorption och upptag i växterna (Blecken 2016). De nedsänkta växtbäddarna kräver underhåll då filtermaterialets yta, inloppet samt bräddavloppet kan täppas igen (Stockholm vatten u.å. d). Även underhåll i form av skötsel av växtbäddens vegetation krävs.

Stockholm stad (2017) har utvecklat en modell för trädplantering i växtbäddar, kallad Stockholmsmodellen, vilken kan ses i figur 3b. I Stockholmsmodellen består skelettjorden av skärv (fraktion 90/150 mm) blandat med växtjord. I botten kan ett lager av biokol läggas, vilket fungerar som ett renande filter. Om växtbäddens botten är tät läggs även dräneringsrör in. Ovanpå skelettjorden placeras bärlager (makadam 32/63 mm), som bör vara luftigt för att möjliggöra transport av luft och vatten till trädets rotsystem. Gasutbytet möjliggörs även av luftningsbrunnar där dagvatten kan rinna in i växtbädden, se figur 3. Över bärlagret placeras ett avjämningslager (makadam 8/11 mm), vilket skyddar geotextilen. Geotextilen i sin tur är till för att skydda den luftiga växtbädden från att sättas igen av material från överbyggnaden och markbeläggningen. Själva trädet är omgivet av ett växtsubstrat, vilket till exempel kan vara en blandning av makadam (2/6 mm), biokol och kompost.

Växtbäddar med träd kan även planteras ovanpå bjälklag, till exempel i mark ovanför ett underjordiskt garage (ibid.). Skelettjorden renar dagvattnet främst med avseende på partikelbundna föroreningar och kan, utöver rening genom filtrering och växtupptag, även rena dagvattnet genom sedimentation (Stockholm vatten u.å. c). Underhåll krävs i form av rensning av brunnar samt byte av skelettjord. Minsta anläggningsdjup för en växtbädd med skelettjord är en halv meter (ibid.).



Figur 3: Schematisk skiss föreställande (a) en nedsänkt växtbädd och (b) en växtbädd med träd och skelettjord. Delfigur (b) är utformad enligt Stockholmsmodellen (Stockholm stad 2017). Hos den nedsänkta växtbädden samlas dagvatten och fördröjs ovanpå växtsubstratet, innan det renas genom att filtrera ner genom växtsubstratet bestående av ett filtermaterial. I växtbäddar med skelettjord rinner dagvattnet ner genom växtsubstratet eller en dagvatten- och luftningsbrunn och ansamlas i skelettjorden. Reningen sker när vattnet filtreras genom skelettjorden. Illustration: Maria Helin, inspirerad av Stockholm vatten (u.å. d) och Stockholm stad (2017).

2.3.3 Dagvatten i Uppsala kommun

Uppsala Vatten, eller Uppsala Vatten och Avfall AB, är ett kommunalt bolag som bland annat arbetar med dricksvatten och rening av avloppsvatten (Uppsala Vatten u.å. a). Uppsala Vattens övergripande mål för en långsiktigt hållbar dagvattenhantering är att bevara vattenbalansen (att den befintliga grundvattennivån inte ska påverkas negativt), att dagvattenhanteringen ska vara robust, att hänsyn ska tas till recipienterna som tar emot dagvatten

samt att dagvattenhanteringen ska berika stadslandskapet (Uppsala Vatten u.å. b). I Uppsala Vattens dagvattenhandbok (ibid.) beskrivs översiktligt under vilka omständigheter dagvattenanläggning som använder infiltration är lämpliga, baserat på hur förorenat dagvattnet är samt hur eventuell infiltration till Uppsalaåsen ser ut. Infiltrationen till Uppsalaåsen kan antingen vara direkt (vertikal, snabb infiltrering) eller indirekt (kombination av vertikal och horisontell infiltration). För områden med direkt infiltrering bör dagvattenhantering genom infiltrering inte användas. I områden med indirekt infiltrering kan dagvattenhantering genom infiltrering användas om dagvatten med måttligt föroreningsinnehåll renas. Infiltration bör inte användas på en plats med indirekt infiltration till Uppsalaåsen om föroreningsinnehållet förväntas vara högt.

Inom Uppsala kommun finns flera vattenskyddsområden, bland annat ett för Uppsala- och Vattholmaåsarna. Akademiska sjukhuset ligger inom den inre, primära skyddszonen för detta vattenskyddsområde (Uppsala Vatten 2018). Föroreningsinnehållet för dagvatten från Uppsala innerstad, där Akademiska sjukhuset finns, förväntas vara måttligt till högt (på en tregradig skala från lågt till högt) (Uppsala Vatten u.å. b). Enligt Uppsala kommuns ”Känslighetskartan för Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde” (Gustafsson et al. 2018, s. 18) ligger Akademiska sjukhuset inom ett område som tilldelats känslighetsklassen ”hög eller extrem känslighet”, med avseende på om grundvattnets kvalitet kan påverkas negativt av en förorening på markytan. Med tanke på Akademiska sjukhusets placering på Uppsalaåsen antas dagvattenåtgärder som bygger på infiltration utan underliggande tätning inte vara tillåtet vid Akademiska sjukhuset. Recipienten för dagvatten från Akademiska sjukhuset är Fyrisån, enligt karta som visar avrinningsområdet för respektive recipient i Uppsala tätort (Uppsala Vatten u.å. b, s. 29).

2.4 EKOSYSTEMTJÄNSTER

Ekosystemtjänster är tjänster som naturens ekosystem bidrar med till nytta för människor. Ekosystemtjänster delas ofta in i *försörjande* (till exempel dricksvatten eller odlade råvaror som vi äter), *reglerande* (till exempel rening av luften), *kulturella* (till exempel möjlighet till friluftsliv) och *stödjande* ekosystemtjänster (till exempel produktion av syre genom fotosyntesen) (Naturvårdsverket 2019c). De stödjande ekosystemtjänsterna krävs för att stödja de försörjande, kulturella och reglerande ekosystemtjänsterna. Naturens ekosystem är multifunktionella då de bidrar med flera ekosystemtjänster samtidigt (ibid.). I den här rapporten avser därför begreppet *multifunktionella dagvattenåtgärder* de dagvattenåtgärder som har potential att bidra med flera ekosystemtjänster samtidigt. Detta ska skiljas från begreppet *multifunktionella ytor* som också förekommer i dagvattensammanhang, och som snarare associeras med större ytor som kan ha en helt annan funktion utöver dagvattenhanteringen¹. Till exempel en gräsplan eller lekplats som kan översvämmas vid kraftig nederbörd.

I Naturvårdsverkets rapport ”Ekosystemtjänsternas bidrag till god urban livsmiljö” sammanfattar Dahl et al. (2017) relevanta ekosystemtjänster från urban natur. Ekosystemtjänster som tas upp är till exempel den urbana naturens bidrag med biologisk mångfald och livsmiljöer för olika arter, påverkan på lokalklimatet och luftkvaliteten, reducering av buller, rening av vatten, skydd mot översvämningar, förbättrad mental och fysisk hälsa samt möjlighet till rekreation och sociala interaktioner. Prudencio och Null (2018) identifierar

¹Kristina Wilén, VA- och dagvattenutredare, WSP, e-post 2020-06-11

vilka typer av ekosystemtjänster som främst studerats med koppling till gröna dagvattenåtgärder. Flest studier har undersökts *försörjande* (till exempel nybildning av grundvatten genom infiltration) följt av *reglerande* ekosystemtjänster (till exempel rening av dagvatten och flödesutjämning). Även *kulturella* (till exempel för rekreation eller användning i skolundervisning) och *stödjande* ekosystemtjänster (till exempel gröna dagvattenåtgärders påverkan på den biologiska mångfalden) har studerats, om än i ett färre antal studier.

Langemeyer et al. (2020) använde multikriterieanalys, i form av två bayesiska nätverksmodeller (eng. Bayesian Belief Network (BBN) models), för att utvärdera placering av gröna tak i Barcelona. Metoden utfördes i GIS och i BBN-mjukvaran HUGIN. Den första BBN-modellen utvärderade behovet av ekosystemtjänster för olika platser i Barcelona, utifrån ett urval av ekosystemtjänster som gröna tak kan förväntas bidra med. Urvalet gjordes av en expertgrupp. Expertgruppen rangordnade även vilka ekosystemtjänster som de ansågs borde prioriteras i Barcelona, enligt följande: *Temperaturreglering*, *social sammanhållning*, *habitat och pollinering*, *rekreation och vila* samt *flödesreglering*. Den andra BBN-modellen utvärderade vilken typ av grönt tak som vore mest lämpligt, med avseende på att taket skulle ha potential att bidra med de utvalda ekosystemtjänsterna. De typerna av gröna tak som undersöktes var extensiva, semi-intensiva, intensiva, naturliga (med vilda växter och lågt skötselbehov) samt tak för odling av grönsaker och frukt. Resultatet visade att i Barcelona var behovet av ekosystemtjänsten *habitat och pollinering* störst, men det fanns även ett stort behov av *social sammanhållning* och *temperaturreglering*. De typer av gröna tak som metoden föreslog för Barcelona var främst naturliga respektive intensiva.

Under rubrik till 2.4.1 till 2.4.4 presenteras olika ekosystemtjänster relevanta för diskussion kring grön infrastruktur och gröna dagvattenåtgärder. Ekosystemtjänsterna grupperas här utifrån olika aspekter en grön dagvattenåtgärd kan tänkas bidra med, nämligen *rening av dagvatten*, *klimatanpassning* (flödesreglering och påverkan på lokalklimatet) samt *hälsa*. Inledningsvis presenteras gröna dagvattenåtgärders bidrag till *biologisk mångfald* under en egen rubrik.

2.4.1 Biologisk mångfald

Biologisk mångfald eller biodiversitet definieras som ”artrikedom, genetisk variation inom arter samt mångfalden av ekosystem” (NE u.å. e). FN:s konvention om biologisk mångfald beskriver begreppet som mångfald och variansrikedom både inom och mellan arter, samt hos ekosystem (Naturvårdsverket 2020). Den biologiska mångfalden är som tidigare nämnts viktig då den utgör en stödjande ekosystemtjänst, som krävs för att de andra grupperna av ekosystemtjänster ska fungera. Den biologiska mångfalden är även viktig då den gör ekosystem mer resilienta gentemot effekterna av ett förändrat klimat (Dahl et al. 2017).

Filazzola, Shrestha och MacIvor (2019) undersökte med en metaanalys evidensen för den gröna infrastrukturens bidrag till den biologiska mångfalden. Metaanalysen bestod av 33 studier publicerade mellan 1980 och 2019. Resultatet visade att grön infrastruktur signifikant ökar den biologiska mångfalden vid jämförelse med den traditionella, grå infrastrukturen. Ingen signifikant skillnad sågs mellan grön infrastruktur och naturliga motsvarigheter (till exempel skog eller gräsmark). Enligt författarna kan det senare bero på att de naturliga motsvarigheter som användes som jämförelse i många fall var små naturliga miljöer belägna i städer, vilket talar för att dessa kan ha mindre biologisk mångfald

än andra områden utanför städerna. Filazzola, Shrestha och MacIvor (2019) poängterar att resultatet visar den gröna infrastrukturens fördelar jämfört med grå infrastruktur, men att grön infrastruktur inte bör prioriteras framför bevarandet av naturliga miljöer.

2.4.2 Rening av dagvatten

Enligt Prudencio och Null (2018) utgör reglerande ekosystemtjänster som rening av vatten, flödesfördröjning och klimatanpassning de näst mest studerade ekosystemtjänsterna kopplat till grön dagvattenhantering. Detta är väntat då huvudsyftena med implementeringen av dagvattenåtgärder att rena dagvattnet och att uppnå en fördröjning av dagvattenflödet.

Svenskt vattens rapport ”Kunskapssammanställning: Dagvattenrening” sammanfattar mekanismerna för hur gröna dagvattenåtgärder kan rena dagvatten (Blecken 2016). Växtbäddar renar dagvattnet då det filtreras genom växtsubstratet eller skelettjorden. Reningen sker antingen mekanisk på grund av filtreringen, genom upptag i vegetationen eller adsorption till partiklar. Vattnet som passerar ett grönt tak är oftast inte förorenat, och därför bidrar egentligen inte gröna tak till dagvattenrening (ibid.). Däremot kan näringsämnen följa med avrinningen från gröna tak.

2.4.3 Klimatanpassning

De pågående klimatförändringarna kommer innebära både ett varmare klimat och mer nederbörd i Sverige (Naturvårdsverket 2019b). Flödesfördröjning är därför en form av klimatanpassning som skyddar mot de översvämningar som riskerar att drabba samhället i spåren av ett förändrat klimat. Även gröna dagvattenåtgärders påverkan på temperaturen lokalt och motverkan av fenomenet urban värmeö är en klimatanpassningsåtgärd.

I Svenskt vattens rapport ”Simulerade effekter av trög avvattning” (von Scherling, Svensson & Sörelius 2020) beskrivs två mekanismer för hur höga dagvattenflöden kan förebyggas, nämligen genom att minska avrinningen till ledningsnäten samt genom att fördröja flödet. Minskad avrinning kan dels uppnås genom att dagvattnet inte alls når ledningsnätet, till exempel genom att låta det infiltrera marken istället, och dels genom ökade vätningsförluster. Gröna tak bidrar till minskad avrinning genom ökade vätningsförluster, då gröna tak suger upp vatten och avger ett utflöde av vatten först när takets fältkapacitet överskridits. Termen *fältkapacitet* är ett mått på hur mycket vatten jorden klarar av att hålla mot gravitationen. Flödesfördröjningen och volymminskningen sker genom att taket magasineras nederbörd, att vegetationen tar upp vatten samt att avdunstning sker från taket (Pettersson Skog et al. 2017; Stockholm vatten u.å. b). Dessa dagvattenrelaterade effekter ses hos alla gröna tak, men tjockare tak ger större reduktion av mängden dagvatten. Att fördröja flödet hos dagvatten kan uppnås på två sätt, antingen genom att minska avrinningshastigheten eller genom att använda vad von Scherling, Svensson och Sörelius (2020) beskriver som en ”flödesbroms”. Avledning av dagvatten i vegetationstäckta diken är ett exempel på det förra och användning av växtbäddar är ett exempel på det senare. En växtbädd tar emot ett högre flöde av dagvatten än vad som leds vidare, vilket innebär att dagvatten magasineras i växtbädden. Växtbäddar bidrar även med ökade vätningsförluster genom att bäddens växtsubstrat mättas innan den leder dagvatten vidare till ledningsnätet.

För att studera urban grönskas koppling till olika ekosystemtjänster använder många studier indexet NDVI (eng. Normalized difference vegetation index). NDVI definieras som

kvoten mellan nära-infrarött ljus minus synligt ljus och nära-infrarött ljus plus synligt ljus (Heo & Bell 2019; Rojas-Rueda et al. 2019). Indexet är ett mått på vegetationens densitet och beräknas utifrån satellitdata. NDVI antar värden mellan +1 (hög densitet av vegetation) och -1 (vatten). Ett värde nära 0 indikerar att ingen vegetation finns. Venter, Krog och Barton (2020) undersökte grön infrastruktur kopplat till effekterna av den urbana värmeö i Oslo, genom att undersöka kopplingen mellan bland annat NDVI och temperaturen vid markytan. Studiens resultat visade dels att markområden innehållande asfalterade ytor, låga och medelhöga byggnader avgav mest värme. Detta till skillnad från markområden innehållande träd, buskar, gräs och låga byggnader. Vidare fann studien även en signifikant negativ korrelation mellan NDVI och markens ytemperatur, samt att områden som till 100 % var täckta av ett lövverk (eng. tree canopy cover) hade lägre ytemperatur vid marken jämfört med områden helt utan lövverk.

Zölch et al. (2016) undersökte hur grön infrastruktur i form av träd, gröna tak och fasader kan användas för att sänka PET (eng. Physiological Equivalent Temperature) i gatuplanet. Studien bygger på en simulering av Münchens mikroklimat i programvaran ENVI-met. Studien visar att träd sänker PET mest (13 %), då de både ger skugga och bidrar med evapotranspiration. Gröna fasader ger också en sänkning av PET (5 % - 10 %). Gröna tak däremot sänkte inte PET i gatuplanet, vilket av författarna tros bero på att de inte är belägna vid marknivå. Zölch et al. (ibid.) poängterar att störst minskning av PET inte nås genom att endast fokusera på att procentuellt öka andelen gröna ytor, utan att det även är viktigt att placera de gröna strukturerna strategiskt på värmeutsatta platser. Francis och Jensen (2017) har undersökt evidensen för hur gröna tak kan bidra med ekosystemtjänster. Två ekosystemtjänster som artikeln behandlar är minskning av byggnaders energiförbrukning samt motverkan av fenomenet urban värmeö. Författarna anser att det finns ett starkt stöd för att gröna tak sänker temperaturen på en fotgängares nivå, inom intervallet 0,03-3 °C. Även stödet för att gröna tak sänker energiförbrukningen hos en byggnad anser författarna är starkt. Resultaten för det senare varierade dock mellan att den årliga energiförbrukningen byggnader med gröna ökade med 7 % till att den minskade med 90 %. Störst minskning i energiförbrukning sågs hos oisolerade byggnader.

2.4.4 Hälsa

Flera studier har konstaterat kopplingar mellan hög NDVI och olika aspekter av hälsa, både tvärsnittsstudier (Dzhambov et al. 2019; Heo & Bell 2019) och longitudinella kohortstudier (Rojas-Rueda et al. 2019). I en metaanalys fann Rojas-Rueda et al. (ibid.) en signifikant koppling mellan högre grad av grönska (per 0,1 NDVI inom 500 meter från bostaden) och minskad mortalitet (oavsett orsak till dödligheten). En annan review konstaterar att tillgång till grönområden påverkar barns mentala välmående, kognitiva utveckling samt generella hälsa positivt (McCormick 2017).

Markevych et al. (2017) föreslår ett tvärvetenskapligt ramverk för att förklara kopplingen mellan grönska och hälsa. De hälsofrämjande effekterna delas upp i tre kategorier, nämligen *mindre exponering och skada* (eng. reducing harm), *uppbyggande kapaciteter* (eng. building capacities) samt *återställande kapaciteter* (eng. restoring capacities).

Den första kategorin rör att minska exponering för skadliga miljöfaktorer som luftföroreningar, höga temperaturer och buller. Gröna tak har visats minska mängden luftförore-

ningar (Francis & Jensen 2017). Heo och Bell (2019) fann att områden med lågt NDVI generellt hade fler sjukhusvistelser till följd av hjärtkärl- eller lungsjukdom kopplad till luftföroreningar (partiklar med diametern 10 respektive 2,5 μm , PM_{10} respektive $\text{PM}_{2,5}$). Även buller påverkar människors hälsa negativt. Vid exponering för buller ses kognitiva effekter som nedsatt läsförståelse, minnesförmåga, sämre uppmärksamhet och förmåga att lösa problem. Långvarig exponering för trafikbuller i boendemiljön har kopplats till hjärtinfarkt, högt blodtryck och stroke (Andersson & Pershagen 2020). Grön infrastruktur som träd och häckar kan användas för att minska trafikbuller i utomhusmiljö, vilket beskrivs av Van Renterghem et al. (2015) i en reviewartikel som undersöker evidensen för att använda naturliga lösningar för bullerreducering. Grupper av träd, gröna fasader och gröna tak kan reducera bullernivåerna genom att de får ljudvågorna att byta riktning eller genom att de absorberar energin från ljudvågorna och omvandlar den till värme.

I den första kategorin ryms även hälsoeffekterna av fenomenet urban värmeö. Besöken till psykiatriakuten på Sahlgrenska sjukhuset i Göteborg visade sig öka med 14 % respektive 22 % under 3 respektive 14 dagar efter ett tillfälle med hög temperatur, under månaderna maj till augusti år 2012 till 2017 (Carlsen et al. 2019). Ett tillfälle med hög temperatur definierades som de tillfällen då dygnsmedeltemperaturen översteg den 95:e percentilen. Venter, Krog och Barton (2020) fann en signifikant korrelation mellan temperaturen vid marknivån och antalet patientbesök kopplade till hud- och subkutana sjukdomar i Oslo under sommaren 2018. Ingen signifikant korrelation sågs dock mellan temperaturen vid marknivån och antalet patientbesök generellt eller till antalet patientbesök för sjukdomar kopplade till nerv- eller cirkulationssystemet.

Den andra kategorin handlar om att bygga upp motståndskraft, vilket innefattar att gröna områden underlättar fysisk aktivitet och sociala kontakter (Markevych et al. 2017). Den tredje och sista kategorin rör till exempel kopplingen mellan grönska och återhämtning från fysiologisk stress. En studie undersökte patienter som återhämtade sig efter kolecystektomioperationer i USA under år 1972 till 1981. Studien visar att patienter med fönster som gav utsikt över träd (jämfört med fönster mot en tegelvägg) låg inlagda kortare tid, behövde färre starka eller medelstarka smärtstillande läkemedel, hade något färre komplikationer samt gav upphov till färre ”negativa” anteckningar gjorda av sjuksköterskorna (till exempel angående att patienten var ledsen eller upprörd) (Ulrich 1984). Högre NDVI (inom en radie av 500 meter från bostaden) har även kopplats till en lägre grad av ångest och depression (Dzhambov et al. 2019). Dzhambov et al. (ibid.) anser att förklaringen ligger i gröna områdens påverkan genom både den andra och tredje kategorin (*uppbyggande* respektive *återskapande kapacitet*). Enligt författarna har gröna områden potential att främja hälsa och psykologisk motståndskraft genom att skapa möjlighet för mindfulness och genom att motverka grubblande. En studie av Hedblom et al. (2019) undersökte hur återhämtningen från fysiologisk stress (i form av milda elstötar) påverkades av olika sinnesintryck. Försökspersonerna i studien utsattes för syn-, ljud- och luktintryck från en urban miljö, en park samt en skog, samtidigt som elstötarna administrerades. Resultatet visade att grönområdena (park och skog) minskade stressresponsen signifikant, vilket den urbana miljön inte gjorde. Resultatet visade även att lukter hade större inverkan på stressresponsen, jämfört med syn- och ljudintryck.

2.5 MULTIKRITERIEANALYS

Vid utvärdering av olika alternativ kan en multikriterieanalys (MKA) utföras. MKA innebär att olika kriterier tas i beaktande på ett strukturerat och transparent sätt, för att sammantaget bedöma hur väl ett visst projekt eller alternativ uppfyller kriterierna (Rosén et al. 2009). I Communities and Local Governments (DCLG) (2009) manual för utförandet av multikriterieanalyser beskrivs processens åtta olika steg ((1)-(8), se nedan).

- (1) **Bestäm målet med analysen:** I det första steget beslutas vilket syfte analysen har. Hur situationen för det som ska analyseras ser ut i nuläget undersöks även. Vidare tas beslut om vilken typ av MKA som ska utföras, vilka aktörer som kan bidra i analysen samt när och hur de medverkande ska bidra.
- (2) **Identifiera vilka möjliga alternativ det finns att välja mellan:** Beslut tas om vilka alternativ som ska analyseras. Observera att det är viktigt att utförarna av en MKA är öppna för att dessa alternativen kan komma att förändras under processens gång.
- (3) **Välj kriterier och gruppera dessa:** De kriterier som ska utgöra basen i analysen väljs. Valet kan antingen göras utifrån analysens övergripande syfte eller utifrån de alternativ som valts. Kriterierna ska vara specifika, mätbara och kunna möjliggöra en bedömning av alternativets konsekvenser. För att underlätta den kommande poängsättningen kan kriterierna grupperas i ett så kallat värde-träd (eng. value tree). Grupperingen kan ske utifrån aspekter som kostnader eller nytta till exempel, och kan synliggöra konflikter mellan olika mål för analysen.
- (4) **Poängsätt kriterierna:** Inled genom att kvalitativt beskriva vilka konsekvenser eller vilken påverkan varje kriterium medför för de olika alternativen. En prestandamatrix (eng. performance matrix) kan skapas för detta syfte. Prestandamatrixen innehåller samtliga alternativ och kriterier. Nästa steg är att poängsätta alla kriterier på samma skala, för att de olika kriterierna ska kunna jämföras med varandra. Slutligen granskas poängsättningen för att säkerställa att den genomförs på ett konsekvent sätt.
- (5) **Tilldela varje kriterium en vikt:** Varje kriterium tilldelas en vikt baserat på hur relevant eller viktigt det aktuella kriteriet anses vara för alternativet i fråga.
- (6) **Beräkna en slutpoäng:** Baserat på de olika kriteriernas poäng och vikter beräknas en slutpoäng för varje alternativ.
- (7) **Utvärdera resultatet:** Slutpoängen möjliggör en jämförelse mellan alternativen.
- (8) **Utför en känslighetsanalys:** Ett viktigt steg för att utvärdera hur beslut kring poängsättning eller viktning påverkat slutpoängen och resultatet.

Rosén et al. (ibid.) beskriver att fördelarna med en MKA dels är dess transparens, och dels att det framgår vilka ställningstaganden som ligger till grund för ett beslut. Transparensen kan även underlätta kommunikation mellan olika aktörer. Ytterligare en fördel är att olika åsikter tillåts komma till tals under processen. Nackdelar med MKA enligt Rosén et al. (ibid.) är att viss godtycklighet finns i metoden, till exempel vid utformningen av kriteriernas vikter, och att även en dåligt utförd MKA kan ge sken av att vara vetenskaplig.

2.5.1 Kriterier och poängsättning

Kriterier utgör basen för valet mellan olika alternativ i en MKA och kan delas upp i restriktioner och faktorer (Eastman et al. 1995). Restriktioner är kriterier som beskriver en begränsning eller försämring. Faktorer är kriterier som beskriver en förbättring eller något positivt. En restriktion kan till exempel vara mark som helt utesluts ur en lokaliseringsutredning med MKA och en faktor kan vara mark som medför något önskvärt till exempel möjlighet att rena smutsigt dagvatten. Uppsala kommun (2019) använde MKA vid en lokaliseringsutredning för ett nytt avloppsverk. I det fallet delades restriktionerna in i *primära* (de restriktioner som representerar förbjudna områden som inte inkluderades i analysen) och *sekundära restriktioner* (representerar områden som medför någon negativ aspekt eller som helst inte ska tas i anspråk, dessa inkluderades i analysen och rangordnades utifrån hur begränsande de uppskattades vara).

Poängsättningen P av kriterierna kan utföras på flera sätt. Ett tillvägagångssätt är poängsättning med linjär skalning (0 till +1) enligt ekvation (7) (Eastman et al. 1995), där $P_{\max}$ respektive $P_{\min}$ är kriteriets maximala respektive minimala poäng, $P_{\text{ursprunglig}}$ är den poäng kriteriet har innan omskalning och P_i är den omskalade poängen för kriterium i .

$$P_i = \frac{P_{\text{ursprunglig}} - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} \quad (7)$$

Poängsättningen innebär att kriterier med olika skalor standardiseras till en gemensam skala, vilket möjliggör jämförelse mellan samt summering av de olika kriterierna. I ekvation (7) poängsätts kriterier där en hög poäng innebär något positivt i förhållande till alternativet i fråga, det vill säga en hög poäng är bättre än en låg poäng.

2.5.2 Rangordning med Delphimetoden

Delphimetoden utvecklades inom organisationen RAND av Dalkey och Helmer på 1950-talet (Dalkey & Helmer 1962; Dalkey 1969). Syftet var att skapa ett tillvägagångssätt för att få en grupp av experter att enas och nå konsensus (Dalkey & Helmer 1962). Delphimetoden som presenterades av Dalkey och Helmer hade tre kännetecken: Anonymitet (genom användning av enkäter eller kommunikation online), kontrollerad feedback till gruppen under processens gång samt statistisk sammanställning av gruppmedlemmarnas respons (för att undvika konformitet) (Dalkey 1969).

Initialt användes Delphimetoden för att utföra framtidsprognoser med hjälp av en grupp experter (Helmer 1967). Idag används Delphimetoden inom flera områden till exempel för att bestämma vikterna vid en MKA. Lee, Jun och Kang (2019) använde en modifierad version av Delphimetoden för att bestämma kriterier och vikter vid utförandet av en MKA. Studiens syfte var att utveckla en metod för att finna och prioritera avrinningsområden i behov av åtgärder för hantering av diffusa föroreningskällor. Vid lokaliseringens utredningen för ett nytt avloppsreningsverk i Uppsala använde Uppsala kommun (2019) Delphimetoden för att rangordna kriterierna.

En typ av Delphimetod är rankningstypen (eng. "ranking-type") som används för att, genom att nå ett gruppkonsensus, bestämma hur viktigt en aspekt är relativt andra aspekter. Okoli och Pawlowski (2004) har utvärderat rankningstypen av Delphimetoden (härefter

kallad Delphimetoden). Okoli och Pawlowski (2004) beskriver användningen av Delphi-metoden stegvis, med utgångspunkt i tidigare utfört arbete av Schmidt (1997). Okoli och Pawlowski (2004) delar in utförandet av Delphimetoden i följande steg ((1)-(5)).

- (1) **Skapa ett nomineringsdokument:** Skriv ned de expertområden som bör finnas representerade i expertgruppen, till exempel konsulter inom dagvatten, landskapsarkitektur och så vidare. Använd litteratur inom ämnet vid valet av expertområden. Efter att alla expertområden är utvalda skrivs namn på potentiella gruppmedlemmar inom de olika områdena in i dokumentet.
- (2) **Första kontakten:** Initial kontakt med potentiella gruppmedlemmar. Vid kontakten beskrivs Delphimetoden och information om gruppmedlemmarnas kvalifikationer samlas in. Be de kontakta gruppmedlemmarna nominera ytterligare experter.
- (3) **Ranka gruppmedlemmarna utifrån kvalifikation:** Utförs av forskarna som håller i studien. Gruppmedlemmarna delas in i delgrupper utifrån vilket expertområde de tillhör. Varje forskare rankar medlemmarna i varje delgrupp var och en för sig, resultatet sammanställs sedan. De gruppmedlemmar som rankas högst inkluderas i expertgruppen.
- (4) **Andra kontakten:** Gruppmedlemmarna bjuds in att delta. Varje delgrupp skapar en expertpanel och bör innehålla 10-18 personer. Vid kontakt förklaras vad studiens syfte samt vad gruppmedlemmarna åtar sig att göra.
- (5) **Tredje kontakten - administrering av enkäter:** Den Delphimetod som beskrivs av Okoli och Pawlowski (ibid.) är en ren enkätstudie, helt utan fysiska sammankomster. Administreringen av enkäter sker i flera omgångar med olika syften, nämligen för (i) brainstorming, (ii) urval av kriterier och (iii) rangordning av de utvalda kriterierna. Administreringen av enkäter utförs enligt följande:
 - (ia) **Den första enkäten:** Be gruppmedlemmarna brainstorma kriterier de anser lämpliga utan att rangordna kriterierna. Forskaren sammanställer listorna från gruppmedlemmarna (oavsett vilken delgrupp de tillhör), dubletter tas bort och eventuella fall där ett kriterium benämnts med olika termer korrigeras.
 - (ib) **Den andra enkäten:** Skicka ut den sammanställda listan till samtliga gruppmedlemmarna (oavsett delgrupp) för validering, korrigeras listan baserat på feedback från gruppmedlemmarna. Låt ordningen av kriterier i den sammanställda listan vara slumpad, för att inte påverka resultatet.
 - (ii) **Den tredje enkäten:** Den sammanställda listan skickas till samtliga gruppmedlemmar, som väljer ut minst tio kriterier från listan (utan att rangordna kriterierna). Forskarna tittar på enkätsvaren för en delgrupp i taget, och sammanställer listor med de kriterier som valdes ut av minst 50 % av delgruppens medlemmar.
 - (iia) **Den fjärde enkäten:** Be gruppmedlemmarna rangordna kriterierna i listan som hör till deras respektive delgrupp. Gruppmedlemmarna rangordnar kriterierna individuellt, utan att diskutera sinsemellan. Be även medlemmarna motivera och förklara sina val.

- (iiib) **Sammanställning med Kendall's W :** Schmidt (1997) föreslår att graden av samstämmighet gällande hur gruppmedlemmarna (inom varje delgrupp) har rangordnat kriterierna i respektive lista kvantifieras med det statistiska testet Kendalls W . Testet resulterar i W mellan 0 och 1, där 0 representerar inget konsensus alls och 1 representerar fullständigt konsensus. Schmidt (ibid.) anger W lika med eller större än 0,7 som riktvärde för starkt konsensus. Utöver graden av samstämmighet beräknas även varje kriteriums medelrangordning.
- (iiic) **Återkoppla till gruppmedlemmarna:** Efter sammanställningen sker återkoppling till gruppmedlemmarna i respektive delgrupp. Återkopplingen bör innehålla kriteriernas medelrangordning, storleken hos Kendalls W samt en sammanställning av gruppmedlemmarnas motiveringar.
- (iiid) **Eventuell upprepning av steg (iiia) och (iiic):** Om Kendalls W är mindre än 0,7 följs återkopplingen till delgrupperna av ytterligare en enkät där gruppmedlemmarna får rangordna kriterierna ytterligare en gång. Upprepningen sker till dess W når ett värde större eller lika med 0,7 alternativt tills dess rankerna mellan två på varandra följande upprepningar inte skiljer sig signifikant åt eller tills dess det maximala antalet upprepningar som gruppmedlemmarna åtagit sig att genomföra är uppnått.

Kendalls samstämmighetskoefficient W (benämns härnäst Kendall's W , eng. Kendall's coefficient of concordance) beskriver graden av samstämmighet. Testet är ett icke-parametriskt (van den Berg u.å.), vilket betyder att det inte görs något antagande om datamaterialet är normalfördelat eller inte (Alm & Britton 2008). Säg att antalet kriterier är n stycken och antalet deltagare i expertgruppen är m stycken. För varje enkätomgång summeras kriteriets totala rank (R_{total} , summan av expertgruppsdeltagarnas olika ranker för kriteriet) och det aritmetiska medelvärdet av de totala rankerna ($\bar{R}$) beräknas. Totalkvadratsumman (S), eller summan av den kvadrerade avvikelserna från medelvärdet, beräknas enligt ekvation (8) (Alm & Britton 2008; Kendall & Babington Smith 1939).

$$S = \sum_{i=1}^n (R_{\text{total}} - \bar{R})^2 \quad (8)$$

Slutligen bestäms Kendalls W . Kendalls W definieras som skillnaden mellan summan av den observerade totala ranksummans avvikelse från medelvärdet i kvadrat (S_{obs}), genom den maximalt möjliga summan av den totala ranksummans avvikelse från medelvärdet i kvadrat (S_{max}), enligt ekvation (9) (Kendall & Babington Smith 1939). Kendalls W är med andra ord den observerade variansen hos de totala rankerna jämfört med den maximalt möjliga variansen hos de totala rankerna (van den Berg u.å.). När expertgruppen är helt enig (alla ger samma kriterium högst ranking, näst högst ranking och så vidare) är variansen hos R_{total} som störst, vilket att W antar värdet 1. Om expertgruppen istället är totalt oenig (expertgruppen rangordnar kriterierna helt olika) blir variansen hos R_{total} som minst, och W antar värdet 0.

$$W = \frac{S_{\text{obs}}}{S_{\text{max}}} = \left\{ S_{\text{max}} = \frac{m^2(n^3 - n)}{12} \right\} = \frac{12S_{\text{obs}}}{m^2(n^3 - n)} \quad (9)$$

I den Delphimetod som användes av Uppsala kommun (2019) utsågs en referensgrupp bestående av experter anställda på Uppsala vatten eller Uppsala kommun. Referensgruppen hade fysiska möten, till skillnad från den kontakt enbart via enkäter eller online som beskrivs av Okoli och Pawlowski (2004). Kriterierna identifierades och rangordnades av referensgruppen, vilket överensstämmer medan Okoli & Pawlowskis (2004) metod. Rangordningen utfördes genom att varje medlem i referensgruppen enskilt rangordnade kriterierna (de sekundära restriktionerna och faktorerna rangordnades separat). Detta följdes av att resultatet sammanställdes för hela referensgruppen. Det sammanställda resultatet skickades ut till medlemmarna i referensgruppen, som sedan rangordnade kriterierna på nytt. Således användes bara två omgångar med enkäter, till skillnad från minst fyra omgångar i Okoli & Pawlowskis (2004) metod, vilket kan förklaras av att endast en referensgrupp (utan delgrupper) användes. Baserad på rangordningen togs kriteriernas vikter fram av konsulterna som ansvarade för lokaliseringsutredningen.

2.5.3 Viktning

Olika metoder kan användas vid fastställandet av vikter för respektive kriterium. Roberts och Goodwin (2002) delar in metoderna i tre grupper, nämligen *direkt betygsättning* (eng. direct rating), *poängallokering* (eng. point allocation) och *rangordning* (eng. ranking). Viktningsmetoder kan även delas in utifrån om de kräver specifik programvara för att beräknas eller inte, där direkt betygsättning är ett exempel på en viktningss metod som inte kräver programvara (Németh et al. 2019). Vidare kan viktningss metoder även delas in i subjektiva och objektiva. Samtliga ovan nämnda viktningss metoder är subjektiva då de bygger på användandet av en expertgrupp (Odu 2019).

Direkt betygsättning går ut på att kriteriet som anses minst betydelsefullt får en viss poäng (till exempel 1 poäng). Det kriterium som anses näst minst betydelsefullt får sedan en poäng baserat på hur betydelsefullt det anses vara i förhållande till det minst betydelsefulla kriteriet (till exempel 5 poäng). Resterande kriterier poängsätts på motsvarande sätt. Avslutningsvis normaliseras poängen genom division med summan av samtliga kriteriers poäng. Vid *poängallokering* har poängsättaren istället ett förutbestämt antal poäng att fördela över de olika kriterierna, där det viktigaste kriteriet får högst poäng och de minst viktiga kriteriet får lägst. Om den totala poängsumman 100 fördelas över kriterierna krävs ingen normalisering av vikterna (Roberts & Goodwin 2002). Till den tredje gruppen *rangordning* hör *centroid rangordning* (ROC, eng. Rank Order Centroid) och *summerad rangordning* (RS, eng. Rank Sum). För beräkning av vikter enligt ROC se ekvation (10) och för RS se ekvation (11) (ibid.).

$$\text{Vikt}_{i, \text{ROC}} = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^n \frac{1}{j} \quad i = 1, \dots, n \quad (10)$$

$$\text{Vikt}_{i, \text{RS}} = \frac{2(n+1-R_i)}{n(n+1)} \quad i = 1, \dots, n \quad (11)$$

I ekvation (10) och (11) är Vikt_i vikten för kriterium i , R_i är ranken för kriterium i , n är antalet kriterier och j är ranken hos kriterium i . Vid en MKA där slutpoängen beräknas med linjär additiv metod (se rubrik 2.5.4) ska summan av vikterna vara 1 (eller 100 %) (DCLG 2009; Eastman et al. 1995).

2.5.4 Linjär additiv metod

Linjär additiv metod är en vanligt metod inom MKA (DCLG 2009; Eastman et al. 1995; Rosén et al. 2009). Metoden innebär att alternativets slutpoäng (SP) fås då varje kriterium i :s poäng (P_i) multiplicerat med dess vikt (V_i) summeras för varje enskilt alternativ (Rosén et al. 2009), se ekvation (12). Antalet kriterier betecknas n .

$$SP = \sum_{i=1}^n V_i P_i \quad (12)$$

Ett krav för linjär additiv metod är att samtliga kriterier är oberoende av varandra. Det innebär att varje kriterium ska kunna poängsättas utan kunskap om de övriga kriterierna eller hur de övriga kriterierna poängsatts (DCLG 2009). Ytterligare ett krav är att slutpoängen måste vara linjärt additiv (Rosén et al. 2009).

2.5.5 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys utförs för att utvärdera hur stabilt resultatet av en undersökning är (Dahl et al. 2017). Syftet är att undersöka hur känsligt resultatet är för förändringar i utförande eller i den data som använts för att ta fram resultatet. Rosén et al. (2009) betonar att en känslighetsanalys behöver utföras vid användningen av linjär additiv metod. Detta för att utvärdera hur valet av vikter påverkar slutresultatet.

Känslighetsanalyser är ovanliga i studier vars metod utgörs av en rumslig (eng. spatial) multikriterieanalys i GIS (Delgado & Sendra 2004). I de fall där en känslighetsanalys utförts har den hittills främst fokuserat på hur resultatet påverkats när multikriterieanalysens vikter varierats, eftersom vikterna ofta kritiserats för att utgöra ett subjektivt moment i metoden (Ligmann-Zielinska & Jankowski 2008). Det finns även fall där kriteriernas poängsättning varierats eller där olika typer av multikriterieanalysmetoder använts för att se hur resultatet påverkats (Delgado & Sendra 2004). Både Delgado och Sendra (2004) och Ligmann-Zielinska och Jankowski (2008) betonar skillnaden mellan känslighetsanalys och osäkerhetsanalys, och konstaterar att det i fallet rumslig multikriterieanalys oftast är frågan om det senare. I en osäkerhetsanalys är ”framåtriktad” då den undersöker hur indata påverkar resultatet, medan känslighetsanalysen är ”bakåtriktad” då den undersöker resultatets robusthet och var resultatets osäkerhet kommer ifrån.

Ett exempel på en känslighetsanalys utformad för att systematiskt utvärdera multikriterieanalysens vikter ges av Chen, Yu och Khan (2010). Författarna utformade ett GIS-verktyg som bygger på viktningsmetoden Analytisk hierarkisk process (AHP, eng. Analytic hierarchy process). AHP är en viktningsmetod där kriteriernas vikter skapas genom att parvis jämföra hur viktiga de olika kriterierna anses vara. Känslighetsanalysen utformad av Chen, Yu och Khan (ibid.) gick ut på att storleken hos vikten för ett kriterium i taget ändrades med en viss procent (till exempel 20 %), samtidigt som resterande vikters storlek korregerades för att summan av vikterna fortfarande skulle bli lika med ett. Upprepade simuleringar genomfördes för varje enskilt kriterium (till exempel 40 stycken från minus 20 % till plus 20 %). När alla kriteriers vikter undersökts sammanfattades resultatet i tabell- och kartform för att kunna utvärderas.

3 MATERIAL OCH METOD

De kommande rubrikerna beskriver metoden för projektets olika faser, vilka kan ses i figur 4. Under rubrik 3.3 beskrivs det övergripande målet med multikriterieanalysen. Framtagningen och utformning av kriterierna presenteras under rubrik 3.3.1, vilket motsvarar frågeställning (i) och delar av frågeställning (ii). Vidare beskrivs genomförandet av workshopen (och rangordningen av kriterierna) enligt Delphimetoden, användningen av det statistiska testet Kendalls W samt beräkningen av multikriterieanalysens vikter under rubrik 3.3.2 till rubrik 3.3.3. Dessa rubriker beskriver hur resterande del av frågeställning (ii) besvarades. Rubrik 3.3.4 beskriver hur frågeställning (iii) besvarades genom summering av resultatet i ArcMap. Detta följs under rubrik 3.3.5 och rubrik 3.3.6 av en beskrivning av hur känslighetsanalysen utfördes samt ett förslag på hur en expertbedömning skulle kunna utföras. Initialt presenteras en områdesbeskrivning över Akademiska sjukhuset samt en beskrivning av det datamaterial som användes i projektet, under rubrik 3.1 respektive rubrik 3.2.



Figur 4: Beskrivning av den övergripande arbetsprocessen för projektet.

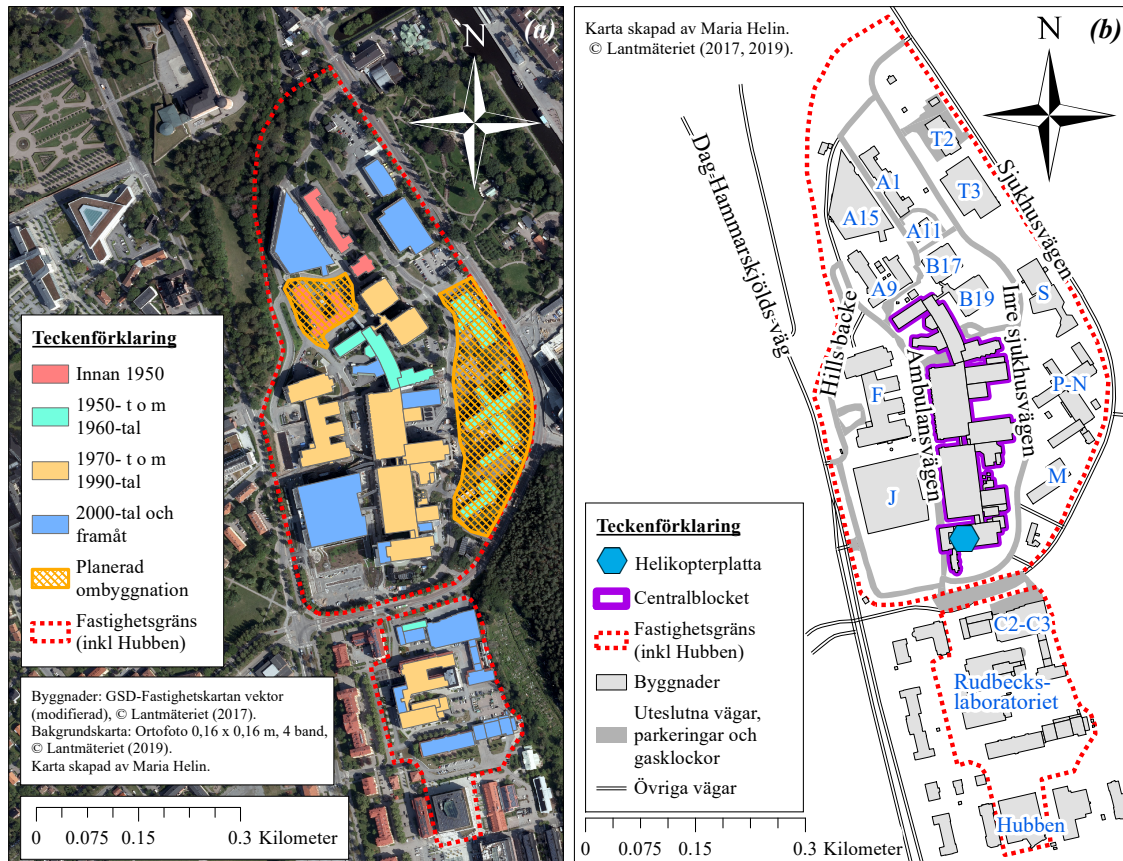
3.1 OMRÅDESBESKRIVNING

Akademiska sjukhuset är beläget på Uppsalaåsen i centrala Uppsala, väster om Fyrisån och Centralstationen. I öster gränsar Akademiska sjukhuset till Stadsträdgården och i nordväst till Uppsala slott och Botaniska trädgården, se figur 5a. Sjukhusområdet är till stor del omringat av vägarna Dag Hammarskjölds väg och Sjukhusvägen, se figur 5b. Inom sjukhusets område utgör den Inre sjukhusvägen (för bussar, besökande till sjukhuset samt ambulanstrafik) samt Ambulansvägen (endast för ambulanstrafik) de största vägarna.

Sedan 1981 drivs Akademiska sjukhuset av Region Uppsala (före detta Landstinget i Uppsala län) (Region Uppsala u.å.). Sjukhuset omsätter 10 miljarder kronor varje år, har 850 stycken vårdplatser och är arbetsplats för 8 500 anställda (Region Uppsala 2020).

Akademiska sjukhusets äldsta byggnad stod klar 1866. Denna byggnad utgör, tillsammans med ytterligare två byggnader som tillkom under 1900- respektive 1920-talet, de enda kvarvarande byggnaderna från perioderna som i Akademiska sjukhusets utvecklingsplan kallas för Solitärsjukhuset, Paviljongsjukhuset respektive Sjukhusstaden (Region Uppsala 2015). Byggnaderna kan ses i figur 5a. Vid tiden då Solitärsjukhuset (1860-tal) uppfördes låg Akademiska sjukhuset avskilt och separerat från resten av staden. Under perioden

för Paviljongsjukhuset (1900-tal) uppfördes olika avdelningar för bland annat gyneкологи och bröstsjuka, då den vetenskapliga utvecklingen gått framåt och specialiseringar uppstått inom medicinen. Under 1920-talet tillkom Sjukhusstaden, vilken ersatte Solitär- och Paviljongssjukhusen. Byggnaderna omgavs av parker och trädgårdar designade av trädgårdsarkitekten Ruth Brandberg, då det ansågs förbättra läkningen (Region Uppsala 2015). I Sjukhusstaden fanns även personalbostäder för läkare och sjuksköterskor.



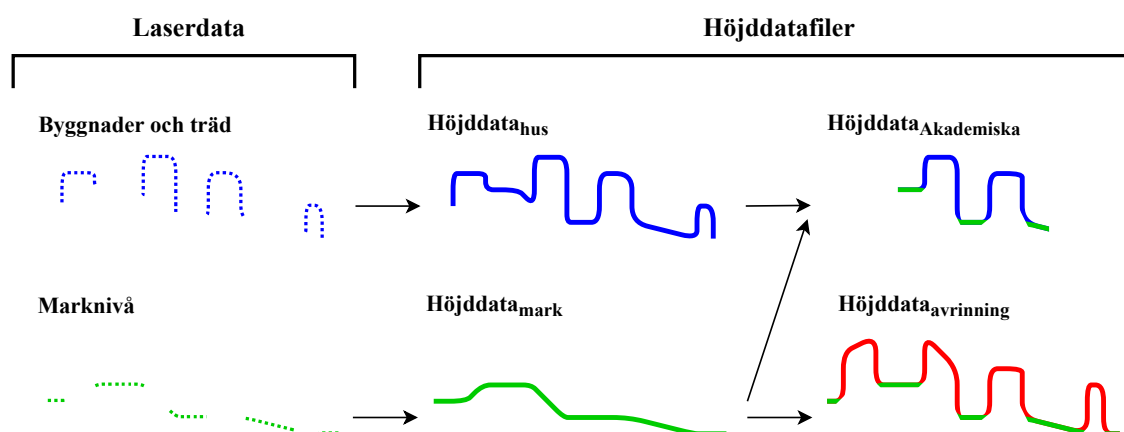
Figur 5: Beskrivning av Akademiska sjukhuset. Delfigur (a) beskriver utvecklingen av bebyggelsen på Akademiska sjukhuset, vilken tillkommit under en period om ungefär 150 år. Delfigur (b) visar namn på byggnader samt vägar på och i anslutning till Akademiska sjukhuset. Helikopterplattans plats finns även utmarkerad.

Från 1950-talet och framåt förändrades sjukhusets karaktär och det som Akademiska sjukhusets utvecklingsplan kallar Blocksjukhuset byggdes med inspiration från USA. Byggnaderna utformades i sammanhängande block, och den karaktär som dominerar sjukhusområdet idag (ibid.). De senast uppförda byggnaderna på sjukhusområdet är Psykiatrins hus (A15) och J-huset, se figur 5. Akademiska sjukhusets område omfattar idag en yta om cirka 25 hektar (ibid.). Byggnaden Hubben ligger egentligen utanför Akademiska sjukhusets fastighetsgräns, men inkluderades i multikriterieanalysen i samråd med Region Uppsala (då Region Uppsala nyttjar lokalerna). Ett område väster om Dag Hammarskjölds väg rymmer egentligen inom fastighetsgränsen, men har exkluderats i samråd med Region Uppsala. Fastighetsgränsen i figurerna motsvarar såldes inte Akademiska sjukhusets faktiska fastighetsgräns utan visar vilket område som inkluderats i multikriterieanalysen.

3.2 DATAMATERIAL

I projektet användes material från Lantmäteriet. Materialet hämtades med licens för Forskning, utbildning och kulturverksamhet (FUK). Det material som användes var GSD-Fastighetskartan vektor (bebyggelse (ytskikt byggnader) respektive kommunikation (linjeskikt med vägar)), Ortofoto (4 band, 0,16x0,16 m) samt laserdata NH (höjd RH 2000, punkttäthet 0,5-1 punkt per m²). Koordinatsystem för samtliga data var SWEREF 99 TM. Fastighetskartan (bebyggelse) modifierades manuellt (inom Akademiska sjukhusets område) innan användning, på det sättet att tak över cykelställ och entréer togs bort samt att formen för byggnader som ska byggas om modifierades. Luftbroarna mellan byggnaderna exkluderades även.

Baserat på laserdata från Lantmäteriet skapades höjddatafiler i ArcMap, med upplösningen 1x1 meter. Genom att skapa en lasdatabas (eng. Las Database) av Lantmäteriets laserdata kunde en höjddatafil skapas med hjälp av verktyget laserdataset till raster (eng. Laser Dataset to raster). Inledningsvis skapades två höjddatafiler (höjddata_{mark} respektive höjddata_{hus}) genom att filtrera ut de laserpunkter som representerade marknivå respektive byggnader och träd, se figur 6. Baserat på dessa höjddatafiler skapades ytterligare två höjddatafiler (höjddata_{Akademiska} respektive höjddata_{avrinning}). För utförligare beskrivning av tillvägagångssättet vid skapandet av höjddatafilerna, se appendix B.



Figur 6: Översiktlig beskrivning av de höjddatafiler som skapades utifrån laserdata från Lantmäteriet. Tre höjddatafiler användes till projektets kriterier: höjddata_{mark} (för beräkning av marklutning), höjddata_{Akademiska} (för beräkning av globalstrålning samt synlighet) och höjddata_{avrinning} (för beräkning av avrinningsområden). Illustration: Maria Helin.

Sammanfattningsvis användes följande tre höjddatafiler vid skapandet av projektets kriterier.

- (A) **Höjddata_{mark}:** Utgjordes av marknivån för ett större område runt Akademiska sjukhuset. Höjddatafilen användes för att beräkna marklutningen på Akademiska sjukhuset.
- (B) **Höjddata_{avrinning}:** Utgjordes av marknivån samt byggnader för ett större område runt Akademiska sjukhuset. Byggnaderna tilldelades den påhittade höjden 10 meter. Höjddatafilen användes för att beräkna avrinningsområden.

- (C) **Höjddata**^{Akademiska}: Utgjordes av marknivån samt byggnadernas verkliga höjder, för ett mindre område bestående av Akademiska sjukhuset och närliggande byggnader och vägar. Höjddatafilen användes för beräkning av synlighet och globalstrålning.

I projektet användes även lufttemperaturdata, vilken laddades ner från Sveriges meteorologiska och hydrologiska instituts (SMHI) hemsida. Data tillhandahålls av SMHI som öppna data (licens Creative Commons Erkännande 4.0 SE). En mätstation (Uppsala Aut, stationsnummer 97510) belägen i centrala Uppsala valdes ut som approximation för Akademiska sjukhuset. Lufttemperaturdata bestod av momentanvärden uppmätta en gång per timme (i enheten Celsius). I projektet användes lufttemperaturdata insamlad under sommarmånaderna 2019 (perioden 2019-06-01 till 2019-08-30), för att avgöra vilken period under sommaren 2019 som var varmest. Medelvärde för varje sju-dagarsperiod (med start 2019-06-01) beräknades, för att undersöka vilken sjudagarsperiod som hade högst medeltemperatur. Resultatet visade att sjudagarsperioden 2019-07-20 till 2019-07-26 var varmest (medeltemperatur 21 °C).

Examensarbetare Lampinen (2020) bidrog med ett skyfallskarteringsraster (med upplösningen 2x2 meter, koordinatsystem SWEREF 99 TM) framtaget i programvaran MIKE 21. En skyfallskartering visar vilka områden som översvämmas till följd av kraftig nederbörd, då dagvattensystemets och markens förmåga att leda bort vattnet överskrids (MSB 2017). Skyfallskarteringsrastret visade det maximala vattendjupet i varje pixel vid ett blockregn med 30 minuters varaktighet och en återkomsttid på 100 år. En återkomsttid på 100 år innebär att sannolikheten för att ett regn av den storleken ska inträffa under ett enskilt år $1/100$ (eller 1 %) (ibid.). Det kallas för ett 100-årsregn. För skyfallskarteringen användes en infiltrationsmodul för att simulera infiltration av vatten på gröna ytor. Vid framställningen av skyfallskarteringsrastret använde Lampinen (2020) datamaterial från Lantmäteriet (GSD-Höjddata grid 2+, GSD-Fastighetskartan vektor (bebyggelse, kommunikation), Ortofoto (IRF 0,25 m tiles)) samt Sveriges geologiska undersökning (SGU) (Jordarter 1:25 000-1:100 000). En noggrannare beskrivning av hur skyfallskarteringen utfördes ligger utanför ramarna för det här projektet. För en mer detaljerad beskrivning, se Lampinen (ibid.).

3.3 MULTIKRITERIEANALYS

Målet med multikriterieanalysen var att lokalisera vilka platser som, utifrån de inkluderade kriterierna, är mest lämpade för en multifunktionell dagvattenåtgärd. De multifunktionella dagvattenåtgärder som avsågs var antingen växtbäddar eller gröna tak. Analysen utfördes därför med generella kriterier som passar både växtbäddar och gröna tak. De **alternativen** som undersöktes var alla alternativa placeringar av en multifunktionell dagvattenåtgärd inom sjukhusets område (exklusive de områden som klassificerats som primära restriktioner). För fallstudien avser detta Akademiska sjukhusets område i Uppsala. För att besluta om vilken dagvattenåtgärd som lämpar sig för de platser analysen resulterade i skulle en expertbedömning kunna utföras som ett sista steg. Notera att expertbedömningen inte ryms inom ramen för det här examensarbetet. Slutprodukten är istället de platser som analysen resulterade i för fallstudien av Akademiska sjukhuset samt en känslighetsanalys med avseende på valet av vikter.

3.3.1 Kriterier och poängsättning

Som vid den MKA Uppsala kommun (2019) använde för lokalisering av ett nytt avloppsreningsverk så delades kriterierna upp i primära och sekundära restriktioner samt faktorer. Varje kriterium utgjordes av ett eget rasterlager i ArcMap. Valet av kriterier baserades på en litteraturstudie samt samtal med yrkesverksamma som kommer i kontakt med dagvattenhantering på olika sätt i sitt yrkesliv. Personerna som deltog i samtal var yrkesverksamma inom landskapsarkitektur eller anställda på Region Uppsala inom drift och teknikförvaltning. Kriterierna delades upp i två undergrupper baserat på vilken karaktär kriteriet hade, nämligen *Praktiska kriterier* och *Ekosystemtjänster*. Kriterierna placerades på ett överskådligt sätt in i ett värde-träd baserat på dessa undergrupper. De praktiska kriterierna utgörs främst av restriktioner som skulle omöjliggöra eller försvåra byggandet av en dagvattenåtgärd, till exempel vägar, parkeringar och brant marklutning. Kriterierna som berör ekosystemtjänster är faktorer som representerar en ekosystemtjänst som en grön dagvattenåtgärd kan bidra med, till exempel rening av vatten eller fördröjning av flödet. Det finns även några praktiska faktorer, exempelvis kriterierna *Planerad ombyggnation* och *Utvändiga stuprör*. Dessa faktorer representerar platser där ett pågående byggprojekt eller närheten till utvändiga stuprör underlättar anläggning av nya dagvattenåtgärder (eller komplettering av redan befintlig dagvattenhantering).

De personer som deltog i samtal om kriterierna fick en skriftlig förfrågan via e-post. Till förfrågan bifogades en beskrivning av examensarbetet (dokumentet *Information_multi-kriterieanalys*), där projektets syfte och metod beskrevs översiktligt. Till förfrågan bifogades även en samtyckesblankett (dokumentet *Samtycke_samtal*) som beskrev hur deras bidrag skulle användas samt hur den tillfrågade skulle komma att omnämnas i rapporten. De tillfrågade lämnade informerat samtyckte till att delta skriftligen genom att fylla i samtyckesblanketten. I appendix A ses den skriftliga information samt samtyckesblanketten de tillfrågade fick. Alla samtal skedde enskilt (mellan examensarbetaren samt den tillfrågade personen). Vid mötet för respektive samtal inledde examensarbetaren med att kortfattat beskriva samtyckesblanketten samt projektets metod och syfte. Den medverkande gavs tillfälle att ställa frågor. Vidare inleddes själva samtalet med frågan ”Vilka aspekter eller kriterier anser du är viktiga att inkludera vid valet av plats för dagvattenåtgärd inom ett sjukhusområde?”. Därefter var ordet fritt. Examensarbetaren antecknade under samtalets gång. Ingen inspelning utfördes.

När alla samtal och litteraturstudien slutförts sammanställdes en lista med kriterier, se tabell 1 till 4. I samråd med handledare på WSP och kontaktperson vid Region Uppsala togs beslut om vilka kriterier som skulle inkluderas i fallstudien av Akademiska sjukhuset i Uppsala. Totalt 16 av de 21 kriterierna inkluderades i fallstudien. Kriterierna poängsattes enligt lämplig skala och ett rasterlager skapades för varje enskilt kriterium. För att alla lager skulle vara angivna på ett enhetligt sätt (med -1 och 0 poäng respektive på en skala mellan 0 och +1) skalades vissa rasterlager om. Linjär omskalning användes enligt ekvation (7). I tabell 1 till 4 beskrivs hur kriterierna utformades samt vilka verktyg i ArcMap som användes för att skapa kriterierna. I de följande styckena beskrivs metoden för skapandet av vissa kriterier i mer detalj.

De primära restriktionerna bestod av *Uteslutna vägar och parkeringar*, *Uteslutna tak* och *Gasklockor*, se tabell 1. Dessa baseras på Lantmäteriets fastighetskarta i alla fall förutom Psykiatrins hus (A15), vilket baserades på Lantmäteriets ortofoto. Även vissa

av vägarna och utmarkeringen av gasklockorna baserades på Lantmäteriets ortofoto. I de fallen vägarna fanns utmarkerade på Lantmäteriets fastighetskarta användes dessa.

Eftersom gröna dagvattenåtgärder kan sänka lufttemperaturen lokalt skapades kriteriet *Temperatur*, med tanken att en varm plats skulle ha mest nytta av en temperatursänkning. Lufttemperatur är den genomsnittliga kinetiska energin hos luftens molekyler (SMHI 2014). Molekylerna i luften får sin rörelseenergi främst från solstrålning. Mängden globalstrålning per ytenhet sett över tid (Wh m^{-2}) används därför som approximation för lufttemperatur, med antagandet att det främst är mängden globalstrålning som styr hur hög lufttemperaturen blir. Globalinstrålning (Wh m^{-2}) beräknas i ArcMap med verktyget *Solstrålningsarea* (eng. Area Solar Radiation) (ESRI u.å.), med höjdfilen höjddata^{Akademiska} som indata. Analysen utfördes för perioden 2019-07-13 till 2019-08-02, vilket representerar den varmaste sjudagarsperioden under sommaren 2019 samt de sju dagarna för respektive efter den perioden. Detta då tidigare studier funnit att gröna taks motverkan av fenomenet urban värmeö är som störst under årets varma perioder (Francis & Jensen 2017). Valet av tidsperiod baserades på lufttemperaturdata från SMHI, se rubrik 3.2.

För ett flertal av kriterierna användes verktyget *Buffert* (eng. Buffer), vilket är ett verktyg som lägger till en zon på ett visst antal meter runt den aktuella punkt-, linje- eller polygonshapefilen. Ett av de kriterier där verktyget *Buffert* användes var kriteriet *Nåbarhet*, genom att ett område inom 125 meter från de viktigaste patiententréerna beräknades i ArcMap. I kriteriet baserades avståndets storlek (125 meter) på Uppsala kommuns parkplan (Uppsala kommun 2013). I parkplanen anges att det längsta avståndet från bostaden till grönska, lek- och promenadmöjligheter bör vara 300 meter. Enligt Wallberg et al. (2010) är normal hastigheten för en fotgängare 5 km h^{-1} ($1,4 \text{ m s}^{-1}$) vid barmark. Tiden det tar att gå 300 meter i normal hastighet är därför 214 sekunder. Enligt en reviewartikel av Peel, Kuys och Klein (2013) har äldre patienter (≥ 70 år, inom öppen- och slutenvård) en gånghastighet på ungefär $0,58 \text{ m s}^{-1}$. På den tid det normalt tar att gå 300 meter hinner en äldre person ungefär 125 meter.

Både kriterierna *Nåbarhet* och *Synlighet* syftar till att representera patienters och personals möjlighet att nå eller se gröna områden på sjukhuset. Kriteriet *Synlighet* visar vilka ställen som många svårt sjuka patienter skulle kunna se, även om de inte kan röra sig utomhus. Kriteriet *Nåbarhet* ger ytterligare en dimension av grönskans möjlighet att påverka patienternas (och personalens) hälsa. Weerasuriya, Henderson-Wilson och Townsend (2019) identifierade genom intervjuer vad som underlättar respektive försvårar tillgången till gröna områden i sjukhusmiljö. En av faktorerna som identifierades var medvetenhet om att det gröna området fanns, till exempel huruvida det var synligt från fönster och dörrar eller inte. Detta talar för att inkludera kriteriet *Synlighet*, och inte endast kriteriet *Nåbarhet*. En annan faktor som identifierades av Weerasuriya, Henderson-Wilson och Townsend (ibid.) var tillgänglighet, huruvida det var möjligt för personer med olika förutsättningar att ta sig till och vistas i det gröna området. Till exempel efterfrågades belysning och möjlighet att sitta ner. Ytterligare andra faktorer var upplevelse av sol, vind och frisk luft, vilket var positivt. Men även att skydd mot elementen, som skugga, var viktigt. Hedblom et al. (2019) visade, som tidigare nämnts, att lukter (från gröna områden som parker eller skogar) har en större påverkan på den fysiologiska stressresponsen än syn- och ljudintryck. Detta talar för att även kriteriet *Nåbarhet* är relevant att inkludera.

Tabell 1: Primära restriktioner vid multikriterieanalys för lokalisering av multifunktionella dagvattenåtgärder inom ett sjukhusområde

Primär restriktion	Förklaring	Poängsättning
Uteslutna vägar och parkeringar	De stora vägarna inom Akademiska sjukhusets område uteslöts (trottoarer, cykelbanor och mindre vägar uteslöts inte, för att ge möjlighet för MKA att visa var växtbäddar längst med vägarna skulle kunna anläggas). Kriteriet baseras på Lantmäteriets fastighetskarta (kommunikation), vilka breddades till 4 meter (med verktyget <i>Buffert</i>) samt modifierades utifrån Lantmäteriets ortofoto (genom att vissa vägar lades till manuellt).	Ingen poängsättning
Uteslutna tak	Tak som inte är aktuella för bebyggelse av grönt tak uteslöts. Till exempel branta tak och helikopterplattan. Byggnadernas form och placering baserades på Lantmäteriets fastighetskarta (bebyggelse) (förutom hus A15 som baserades på Lantmäteriets ortofoto).	Ingen poängsättning
Gasklockor	Sjukhusets gasklockor för syrgas markerades ut manuellt baserat på Lantmäteriets ortofoto.	Ingen poängsättning

Tabell 2: Sekundära restriktioner vid multikriterieanalys för lokalisering av multifunktionella dagvattenåtgärder inom ett sjukhusområde

Sekundär restriktion	Förklaring	Poängsättning
Viktiga entréer	Mark (utomhus) i anslutning till viktiga patient- och personalentréer, då krav på framkomlighet och tillgänglighet finns vid entréerna. Radien valdes baserat på Lantmäteriets ortofoto (45 meter för de största respektive 20 meter för de mindre entréerna). Zonen skapades med verktyget <i>Buffert</i> i ArcMap. Urvalet av entréer gjordes i samråd med Region Uppsala.	-1
Parkeringar	Utomhusparkeringar markerades ut manuellt baserat på Lantmäteriets ortofoto.	-1
Konstföremål	Konstföremål markerades ut baserat på Lantmäteriets ortofoto. En buffertzona (2 meter) beräknades runt konstföremålet med verktyget <i>Buffert</i> .	-1
Marklutning > 5 %	Marklutning större än 5 %, då det är svårt att anlägga dagvattenåtgärder vid brant marklutning. Lutningen beräknades med verktyget <i>Lutning</i> (eng. Slope) i ArcMap. Mark där byggnader står inkluderades inte.	-1

Tabell 3: Faktorer (de första 6 av 14) vid multikriterieanalys för lokalisering av multifunktionella dagvattenåtgärder inom ett sjukhusområde

Faktor	Förklaring	Poängsättning
Temperatur	Mängden globalinstrålning (Wh m^{-2}) beräknas i ArcMap med verktyget <i>Solstrålningsarea</i> . Höjdfilen höjddata _{Akademiska} användes som indata. Baserat på lufttemperaturdata från SMHI valdes den sjudagarsperiod med varmast medeltemperatur under sommaren 2019 som analysperiod (inklusive sju dagar före och efter den aktuella perioden). Analysperioden som valdes var 2019-07-13 till 2019-08-02.	Linjär omskalning till poäng mellan 0 och +1.
Utvändiga stuprör	Ett rasterlager som angav en zon (2 meter) runt byggnader med utvändiga stuprör skapades, då detta är platser där befintlig dagvattenhantering relativt lätt kan kompletteras med fördröjande och renande åtgärder. Byggnadernas form och placering baserades på Lantmäteriets fastighetskarta (bebyggelse).	+1
Skyfall	Ett rasterlager från Lampinen (2020) som visar det maximala vattendjupet (m) vid ett 100-årsregn med 30 minuters varaktighet. Rasterlagrets upplösning konverterades från 2x2 meter till 1x1 meter. Mark där byggnader står exkluderades.	Linjär omskalning till poäng mellan 0 och +1.
Kylbehov	De byggnader som (baserat på typ av verksamhet) har ett stort behov av att kyla sina lokaler markerades ut. Detta då ett grönt tak på dessa byggnader skulle kunna bidra till att kyla ner byggnaderna. Byggnadernas form och placering baserades på Lantmäteriets fastighetskarta (bebyggelse).	+1
Entréskydd	Entréer har krav på sig att vara utformade på att på ett sätt som gör dem lättillgängliga, vilket medför en risk för inläckage av vatten vid kraftig nederbörd. Ett urval av entréer valdes ut i samråd med Region Uppsala. Avrinningsområdet till varje entré togs fram med verktygen <i>Fyll</i> , <i>Flödesriktning</i> , <i>Flödesansamling</i> och <i>Avrinningsområde</i> i ArcMap. Områden uppströms entréerna inkluderades som kriterium. Kriteriet inkluderade inte mark där byggnader står.	+1
Nåbarhet	Områden inom en radie av 125 meter från de viktigaste patiententréerna markeras ut med verktyget <i>Buffert</i> (i ArcMap), och gavs +0,5 poäng. För mark som hamnade inom zonen från flera patiententréer adderades poängen från de olika entréerna. Mark där byggnader står exkluderades.	Mark inom radien från en respektive två entréer tilldelades +0,5 respektive +1 poäng.

Tabell 4: Faktorer (resterande 8 av 14) vid multikriterieanalys för lokalisering av multifunktionella dagvattenåtgärder inom ett sjukhusområde

Faktor	Förklaring	Poängsättning
Rening	Ett rasterlager som angav en zon (2 meter) runt parkeringsplatser eller tungt trafikerade vägar. Parkeringsplatserna och de utvalda vägarna markerades utifrån lantmäteriets ortofoto. Zonen beräknades med verktyget <i>Buffert</i> i ArcMap. Parkeringsplatser och tungt trafikerade vägar ger upphov till förorenat dagvatten, vilket skulle kunna renas i anslutning till dessa platser.	+1
Planerad ombyggnation	De byggnader (samt omkringliggande mark) där ombyggnation är planerad ritades ut baserat på Lantmäteriets ortofoto samt Akademiska sjukhusets fastighetsutvecklingsplan (Region Uppsala 2015).	+1
Synlighet	Synligheten från alla de utvalda fasaderna utvärderades med verktyget <i>Siktfält</i> . Markområden som är synliga från flera fasader fick högre poäng av verktyget. Husen exkluderades inte, då även synliga tak var av intresse.	Linjär omskalning till poäng mellan 0 och +1.
Buller*	Områden i anslutning till bullerutsatta miljöer (till exempel längst med stora vägar) skulle kunna inkluderas som kriterium, då gröna tak eller grupper av träd kan reducera bullernivån (Van Renterghem et al. 2015).	-
Luftkvalitet*	Områden med sämre luftkvalitet skulle kunna inkluderas som kriterium, då till exempel gröna tak kan bidra till en bättre luftkvalitet (Francis & Jensen 2017).	-
Biologisk mångfald*	Gröna dagvattenåtgärder bidrar med grönska och en ökad biologisk mångfald i den urbana miljön (Filazzola, Shrestha & MacIvor 2019). Gröna dagvattenåtgärder skulle även kunna vara del av gröna korridorer som länkar samman olika delar av stadsmiljön. Områden lämpliga som gröna korridorer skulle kunna inkluderas som en faktor.	-
Nybildning av grundvatten*	Mark lämplig för dagvattenåtgärder som bygger på infiltration. Dessa renar dagvattnet när det filtreras ner genom marken, för att till slut nå grundvattnet.	-
Underbyggd mark med bjälklag*	Mark där dagvattenåtgärden skulle byggas ovanpå ett bjälklag skulle kunna inkluderas som faktor, då bjälklaget skulle utgöra ett extra hinder för dagvattnet att infiltrera till grundvattnet.	-

* Dessa kriterier inkluderades inte i fallstudien av Akademiska sjukhuset.

Kriteriet *Synlighet* skapades med verktyget *Siktfält* (eng. Viewshed). Synligheten beräknades från några utvalda fasader där många ineliggande patienter skulle kunna se ut genom fönstren. Fasaderna markerades ut manuellt med linjer (eng. polylines) baserat på Lantmäteriets fastighetskarta (bebyggelse) och uppgift från Region Uppsala. Byggnadernas höjder utlästes manuellt ur höjdfilen *Höjddata_{Akademiska}*, genom att subtrahera marknivå från takens höjd. Linjerna tilldelades sedan byggnadernas höjd minus två meter, vilket fick representera den ungefärliga positionen för fönstren på byggnadernas översta våning. I ArcMap består en linje av två vertex eller punkter (eng. vertices), sammanbunda med varandra av ett linjesegment. Verktöget *Siktfält* poängsätter varje pixel utifrån hur många vertex som pixeln är synlig ifrån. En högre poäng innebär att pixeln i kriteriets rasterlager är synlig från fler fasader.

Kriteriet *Entréskydd* skapades med verktygen *Fyll* (eng. Fill), *Flödesriktning* (eng. Flow Direction), *Flödesansamling* (eng. Flow Accumulation) och *Avrinningsområde* (eng. Watershed) under hydrologi i verktygslådan spatial analys (eng. Spatial Analysis) i ArcMap. Filen *höjddata_{avrinning}* användes som indata i verktyget *Fyll* och resultatet användes som indata till verktyget *Flödesriktning*. Resultatet från den analysen användes i sin tur som indata till verktyget *Flödesansamling*. Resultatet visar var vatten tenderar att ansamlas och rinna i terrängen, och användes för att placera ut punkter att beräkna avrinningsområden ifrån. Punkterna placerades ut inom maximalt 30 meter från de utvalda entréerna. Punkterna, tillsammans med resultatet från analysen med verktyget *Flödesriktning*, användes för att beräkna avrinningsområdet (sammanslaget för samtliga entréer) med verktyget *Avrinningsområde*.

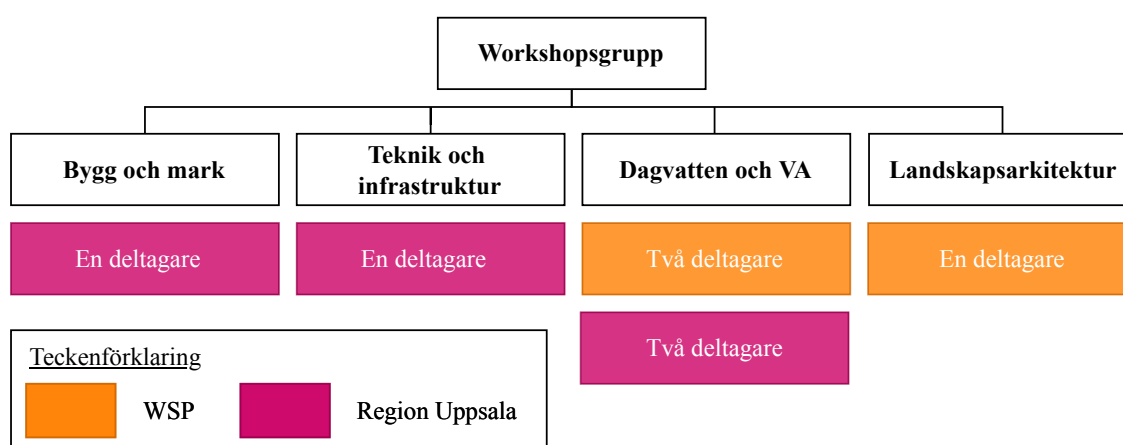
3.3.2 Rangordning med Delphimetoden

Det här projektet använde en utformning av Delphimetoden som inspirerats från Okoli och Pawlowski (2004) och den lokaliseringsutredning som gjordes för lokalisering av ett nytt avloppsreningsverk i Uppsala kommun (Uppsala kommun 2019). Rangordningen utfördes med Delphimetoden, enligt följande: (1) Ett nomineringsdokument skapades, innehållande områdena Dagvatten, Konsultperspektiv, Landskapsarkitektur, Beredskap/säkerhet, drift (mark, dagvatten), markanvändning/gator osv. Namn på potentiella gruppmedlemmar skrevs in under respektive område, i samråd med kontaktperson på Region Uppsala. Vissa personer representerade flera kategorier i nomineringsdokumentet. Ungefär tio till elva personer bjöds in att delta. Datum för workshop sattes till den 15 april 2020. (2) Kontakt togs med tilltänka gruppmedlemmar via e-post, där information om examensarbetets syfte och metod (dokumentet *Information_multikriterieanalys* och samtyckesblanketten *Samtycke_workshop*, se appendix A) bifogades. Ingen ranking av gruppmedlemmar genomfördes. (3) Administrering av samtliga enkäter skedde under en workshop den 15 april 2020 (kl 12.30-16.00). Workshopen genomfördes på distans, med presentation av kriterier och redovisning av resultatet via Skype. Kriterierna presenterades grupperade i ett värderåd. Då endast en referensgrupp (utan undergrupper) används uppskattades två enkätomgångar behövas för rangordningen av kriterierna. Information om gruppdeltagarna (namn, yrkestitel, arbetsgivare) samlades in för att i rapporten kunna beskriva gruppens sammansättning, vilken kan ses i figur 7. Totalt sju personer deltog (exklusive examensarbetaren som ledder workshopen). Workshopen inleddes med att examensarbetaren informerade om examensarbetets syfte och metod, hur workshopen praktiskt skulle genomföras samt hur kriterierna utformats och poängsatts. Deltagarna lämnade skriftligt,

informerat samtycke till att delta (dokumentet *Samtycke_workshop* användes, se appendix A). Workshopen genomfördes enligt följande fyra steg.

- (I) Gruppmedlemmarna ombads att individuellt (utan att diskutera med varandra) rangordna kriterierna (faktorer och sekundära restriktioner tillsammans) utifrån hur viktiga kriterierna ansågs vara att ta hänsyn till vid val av plats för en dagvattenåtgärd inom ett sjukhusområde. Gruppmedlemmarna ombads även att (kort) prioritera valen av de kriterier som tilldelats högst rangordning (rang ett till fem). Svaren samlades in med ett googleformulär. För att inte påverka gruppmedlemmarnas val av rangordning så följde listan i googleformuläret inte värdeträdet uppdelning eller uppdelningen i faktorer och sekundära restriktioner, utan kriterierna presenterades i omkastad ordning. Listan i googleformuläret följde inte heller examensarbetarens uppfattning om vilka kriterier som borde prioriteras högt eller ej.
- (II) Examensarbetaren sammanställde resultatet genom att beräkna medelrangordningen för varje kriterium samt beräkna Kendalls W . Resultatet presenterades för gruppmedlemmarna. Även en sammanställning av gruppens motiveringar presenterades. Gruppen fick möjlighet att diskutera resultatet med varandra.
- (III) Gruppmedlemmarna ombads därefter att individuellt rangordna kriterierna igen (faktorer och sekundära restriktioner). Svaren samlades in med ett googleformulär.
- (IV) Examensarbetaren sammanställde resultatet igen och presenterade för gruppen. Processen avslutades med en kort diskussion efter den andra rangordningsrundan.

För beräkningen av Kendalls W användes RStudio Version 1.2.5033 samt funktionen *kendall* ur paketet *irr* (Gamer et al. 2019). För att kunna använda funktionen *kendall* behövdes även paketet *lpSolve* (Berkelaar 2020). För att beräkna medelrangordningen för varje kriterium skapades en matris i form av en datatabell (eng. data tabell), för vilket paketet *data.table* (Dowle 2019) användes. I appendix C ses det skript som användes vid workshopen.



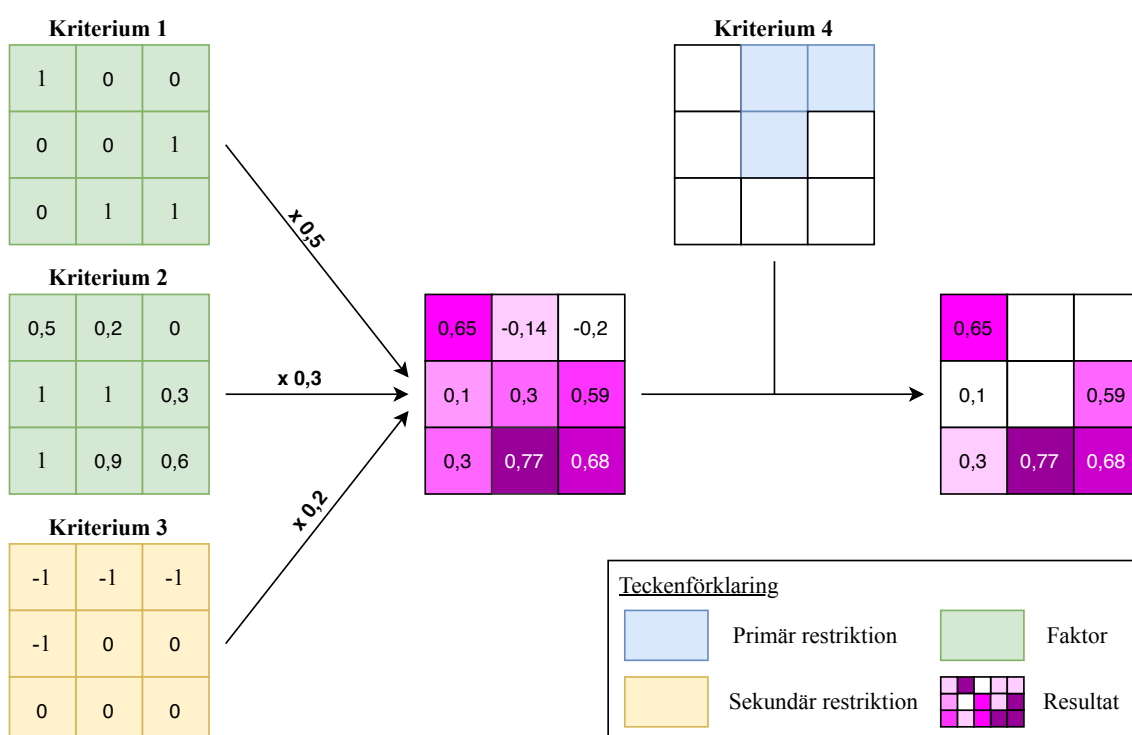
Figur 7: Workshopgruppen bestod av totalt sju deltagare (fyra anställda på Region Uppsala och tre anställda på WSP). Den schematiska figuren visar inom vilket yrkesområde respektive gruppdeltagare är yrkesverksam. Illustration: Maria Helin.

3.3.3 Viktning

Viktningen utfördes enligt två metoder: ROC och RS. Vikter enligt ROC- och RS-metoden togs fram av examensarbetaren utifrån den rangordning som fastställdes under workshopen, enligt ekvation (10) och (11). Vid de fall olika kriterier fick samma medelrangordning tilldelades kriterierna samma rang och vikt (en medelrang och medelvärdesvikt).

3.3.4 Utförande av linjär additiv metod i ArcMap

Multikriterieanalysen utfördes i ArcMap 10.7.1. Ett enskilt rasterlager skapades för de olika faktorerna och de sekundära restriktionerna, se figur 8. Summeringen enligt linjär additiv metod utfördes med rasterkalkylatorn i ArcMap, där vikterna beräknade utifrån workshopens resultat användes. Summeringen skedde enligt ekvation (12).



Figur 8: Schematisk beskrivning av summeringen i ArcMap enligt linjär additiv metod. Samtliga pixlar i rasterlagren för faktorer (här kriterium 1 och 2) och sekundära restriktioner (här kriterium 3) multiplicerades med den vikt som tillhörde respektive kriterium. Summering utfördes enligt ekvation (12). Det resulterande rasterlagret innehöll en slutpoäng per pixel. Pixlar som motsvarade de primära restriktionerna uteslöts. Resultatet av multikriterieanalysen blev ett rasterlager, där en högre slutpoäng innebar att platsen var lämpligare för placering av en dagvattenåtgärd. Illustration: Maria Helin.

Innan summeringen utfördes reklassificerades vissa faktorer (de som inte var poängsatta på en skala mellan 0 och +1) enligt ekvation (7), för att skalan 0 till +1 skulle erhållas för samtliga faktorer. För de primära restriktionerna skapades ett gemensamt rasterlager som angav vilka områden som inte inkluderades i resultatet av multikriterieanalysen. Dessa områden uteslöts ur analysen med hjälp av rasterkalkylatorn. Uteslutningen skedde

innan eventuell omskalning av kriteriernas poängsättning. Multikriterieanalysens resultat, bestående av två rasterlager (ett där ROC- respektive ett där RS-metoden användes), hade upplösningen 1x1 meter.

3.3.5 Känslighetsanalys

Den vanligaste typen av känslighetsanalys för rumsliga multikriterieanalyser är att undersöka hur resultatet påverkas när storleken hos analysens vikter varierar (Delgado & Sendra 2004; Ligmann-Zielinska & Jankowski 2008). I tidigare studier har en sådan känslighetsanalys till exempel utförts genom att utföra upprepade simuleringar där värdet för en vikt åt gången varierats (Chen, Yu & Khan 2010).

Känslighetsanalysen i det här projektet bestod i att undersöka hur valet av viktningss metod påverkade resultatet, det vill säga hur känsligt resultatet var för valet av viktningss metod. Känslighetsanalysen utfördes genom att visuellt jämföra resultatsrastret vid användning av ROC- respektive RS-metoden, för att se om platserna med högst slutpoäng skiljde sig åt. Vid jämförelsen färglades resultatsrastret på två sätt, dels baserat på poäng och dels baserat på antalet pixlar. För att underlätta jämförelsen uteslöts pixlarna med låga poäng i båda fallen.

Färgläggningen baserat på poäng utfördes genom att poängskalan (för respektive resultatsraster) delades upp i tio lika stora kategorier. Det innebar att tio procent av det totala poängspannet rymdes inom varje kategori. De fem lägsta kategorierna, det vill säga pixlarna med lägst poäng, uteslöts. Vid färgläggningen baserat på antalet pixlar delades resultatsrastret istället upp i tio kategorier (från hög till låg slutpoäng) med samma antal pixlar i varje kategori. Även i det här fallet uteslöts de fem kategorierna med lägst slutpoäng.

3.3.6 Expertbedömning

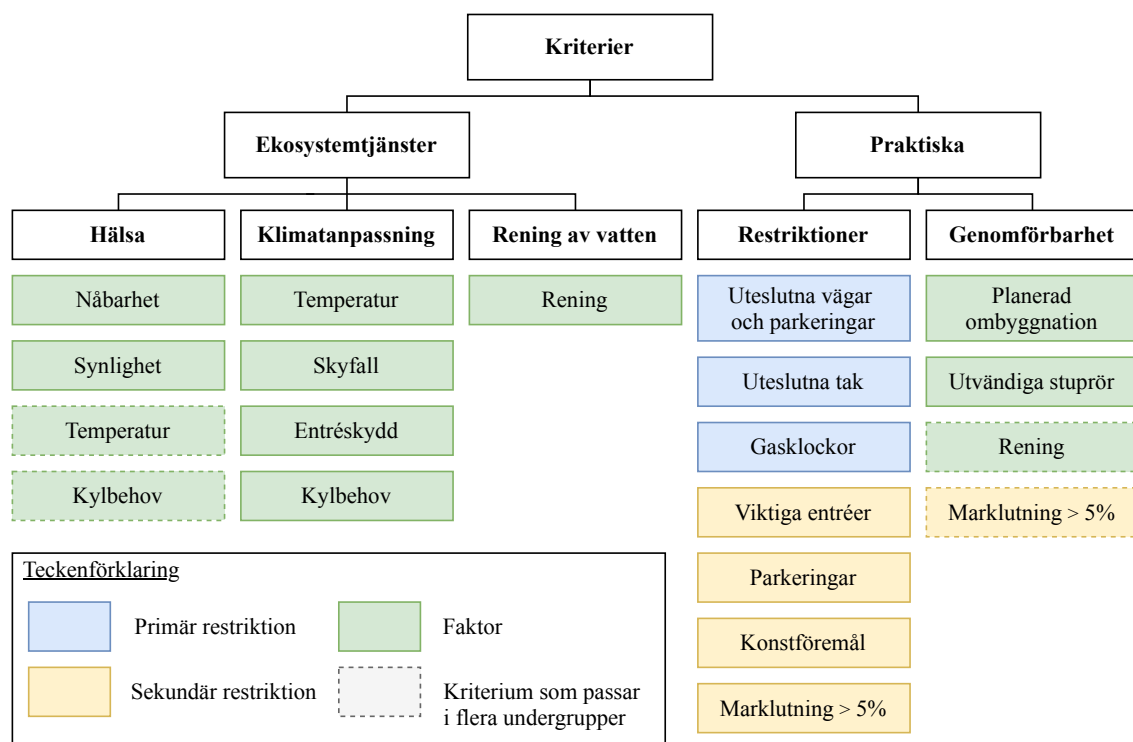
Avslutningsvis bör de platser som resultatet föreslår utvärderas genom en expertbedömning. En expertbedömning kan till exempel utföras med hjälp av en bedömningsmatris, vilket var fallet vid utredningen av lokalisering för ett nytt avloppsreningsverk i Uppsala (Uppsala kommun 2019). Att utföra en expertbedömning ligger utanför rammarna för det här examensarbetet.

4 RESULTAT

Under rubrik 4.1 redovisas resultatet för frågeställning (i), nämligen vilka kriterier som anses relevanta att beakta vid lokalisering av en dagvattenåtgärd inom ett sjukhusområde, samt första delen av frågeställning (ii), hur kriterierna ska kvantifieras. Rubrik 4.2 och 4.3 beskriver resultatet från workshopen enligt Delphimetoden samt vilka vikter de olika kriterierna tilldelades, vilket besvarar andra delen av frågeställning (ii), hur kriterierna ska viktas. Resultatet för frågeställning (iii), vilka lokaliseringar som är lämpliga för multifunktionella dagvattenåtgärder på Akademiska sjukhuset, redovisas under rubrik 4.4. Avslutningsvis redovisas resultatet från känslighetsanalysen under rubrik 4.5.

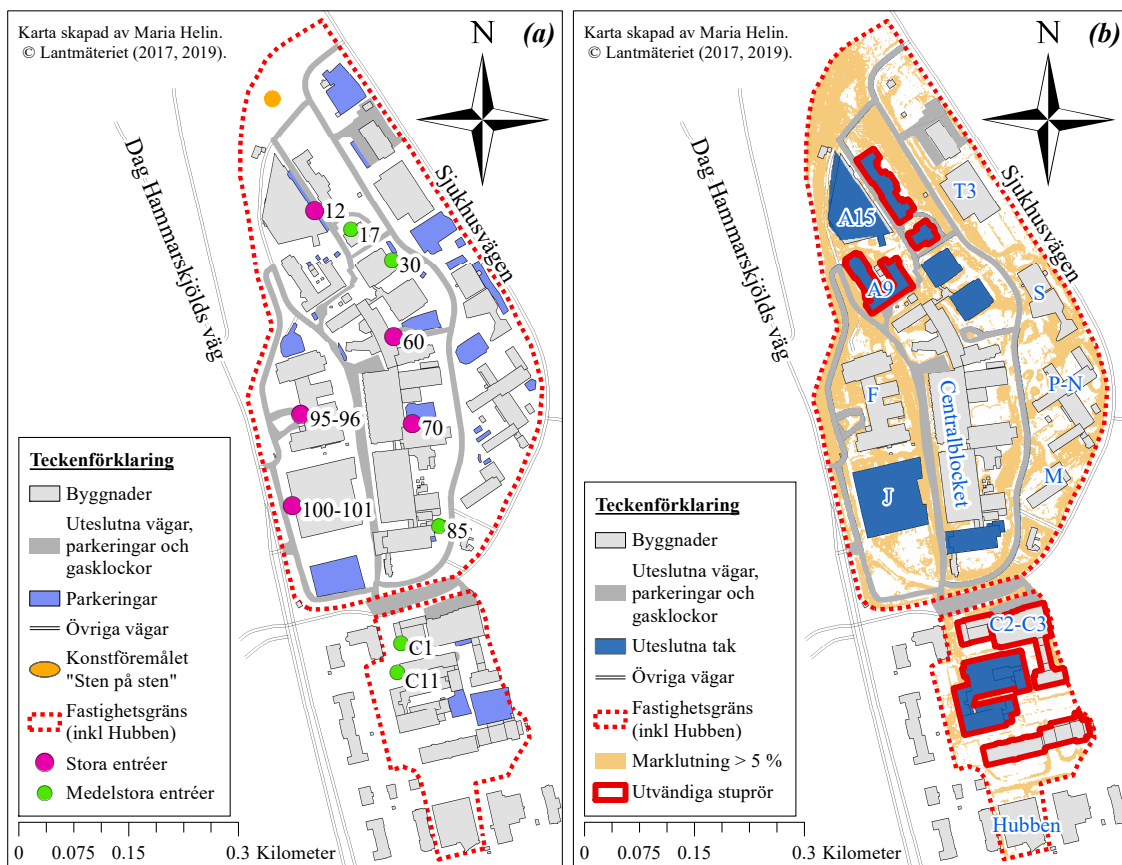
4.1 KRITERIER OCH POÄNGSÄTTNING

Litteraturstudien och samtalen med personer som kommer i kontakt med dagvattenhantering i sitt yrkesliv resulterade i 21 kriterier, vilka beskrivs i tabell 1 till tabell 4 under rubrik 3.3.1. Av dessa inkluderades 16 kriterier i fallstudien av Akademiska sjukhuset. De inkluderade kriterierna placerades in i ett värde träd, vilket kan ses i figur 9. De sekundära restriktionerna poängsattes med poängen -1 och 0. Faktorerna poängsattes på en skala från 0 till +1. De primära restriktionerna poängsattes inte utan representerar tak och markområden som helt uteslöts ut analysen. De primära restriktionerna (*Uteslutna vägar, parkeringar och gasklockor* samt *Uteslutna tak*) ses i figur 10b. I figur 9 ses att samtliga primära och sekundära restriktioner tillhör undergruppen *Praktiska kriterier* samt att samtliga kriterier kategoriserade som *Ekosystemtjänster* är faktorer.



Figur 9: Fallstudiens 16 stycken kriterier, ordnade i ett värde träd baserat på kriteriets karaktär. Figuren exemplifierar att vissa kriterier skulle kunna passa i flera undergrupper, till exempel kan *Temperatur* placeras både under *Klimatanpassning* och *Hälsa*. Illustration: Maria Helin.

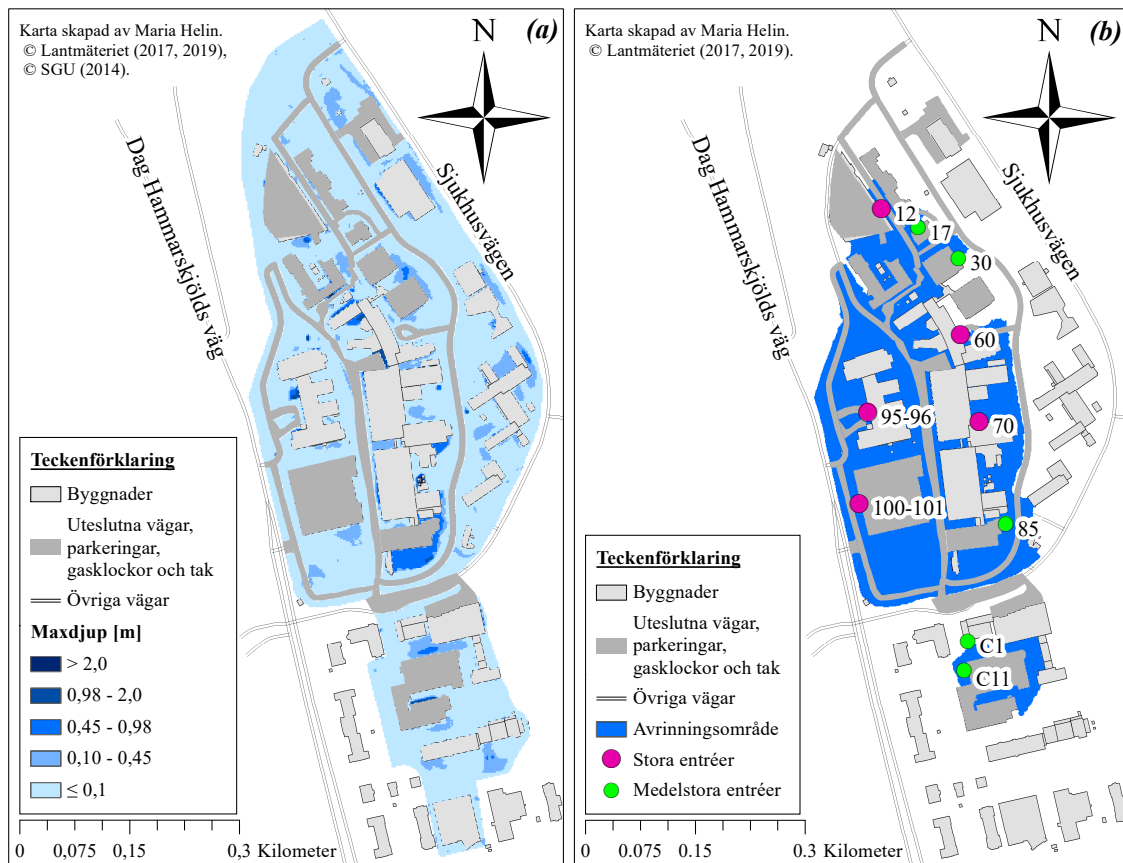
Ett urval av viktiga entréer för patienter och personal användes till kriterierna, se figur 10a. För kriterierna *Viktiga entréer* och *Entréskydd* användes samtliga entréer i urvalet och för kriteriet *Näbarhet* användes endast de stora entréerna. Kriteriet *Konstföremål* utgjordes av fontänen "Sten på sten", se figur 10a. De parkeringar som utgjorde sekundära restriktioner i kriteriet *Parkeringar* och som användes för beräkning av zonerna i kriteriet *Rening* ses i figur 10a. Den mark med en lutning större än 5 %, vilket utgör kriteriet *Marklutning > 5 %*, ses i figur 10b. I figur 10b ses även byggnader med utvändiga stuprör, vilka användes till kriterium *Utvändiga stuprör*. Kriteriet *Planerad ombyggnation* utgörs av de områdena som kan ses i figur 5a under rubrik 3.1. Kriteriet *Kylbehov* utgörs av centralblocket, se figur 5b.



Figur 10: (a) De entréer som valdes ut till kriteriet Viktiga entréer och Entréskydd. De stora entréerna användes även till kriteriet Näbarhet. Konstföremålet "Sten på sten" användes till kriteriet Konstföremål. De utmarkerade parkeringarna användes till kriteriet Rening och Parkeringar. (b) "Uteslutna vägar, parkeringar och gasklockor" och "Uteslutna tak" utgör de Primära restriktionerna. Figuren visar även hus med utvändiga stuprör, mark med en lutning större än 5 % samt namnen på några av Akademiska sjukhusets byggnader.

Kriteriet *Skyfall* ses i figur 11a, i form av en skyfallskartering utförd för ett 100-årsregn med 30 minuters varaktighet. Mest vatten ansamlas på vissa punkter i anslutning till centralblocket, hus A9, F-huset och Rudbeckslaboratoriet. I viss mån ansamlas vatten även runt Psykiatrins hus (A15), B17 och B19 samt P- och N-huset, se figur 11a. Det sammanlagda avrinningsområdet för ett urval av viktiga entréer för patienter och personal ses i figur 11b. Avrinningsområdet omfattar främst de centrala samt sydvästra delarna av sjukhusområdet.

Rasterlagren för kriterierna *Temperatur* och *Synlighet* ses i figur 12a respektive figur 12b. I figur 12b ses även de fasader där många patienter potentiellt kan se ut genom fönstren, vilka användes för att skapa kriteriet *Synlighet*. Kriteriet *Temperatur* representeras av mängden globalstrålning sett över en tidsperiod på tre veckor under sommaren. De områden med störst mängd globalstrålning (Wh m^{-2}) är generellt taken samt öppen mark som inte skuggas av husen. De områden som syns från flest fasader är taken på centralblocket samt F-huset.



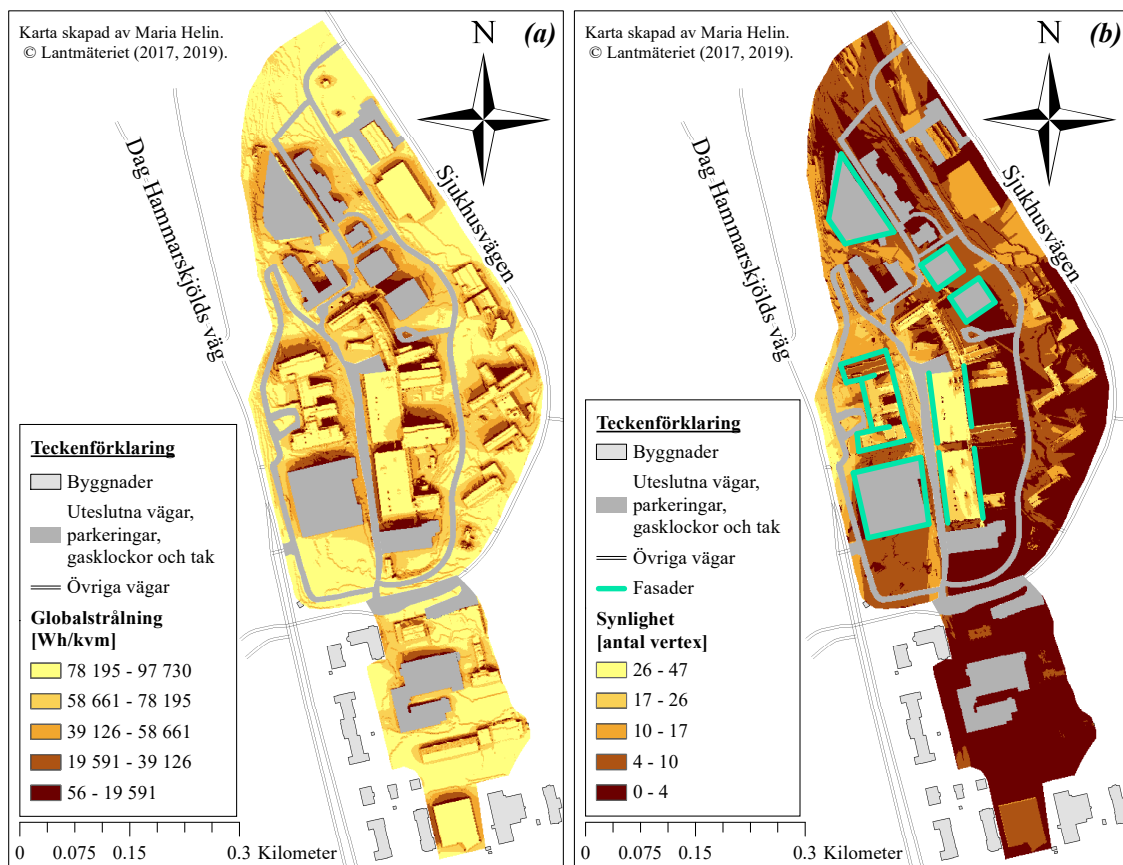
Figur 11: Utformningen av kriterierna (a) Skyfall och (b) Entréskydd. Kriteriet Skyfall baseras på en skyfallskartering för Akademiska sjukhuset, utförd av Lampinen (2020) i programvaran MIKE 21. Skyfallskarteringen visar det maximala vattendjupet vid ett blockregn med återkomsttiden 100 år och varaktigheten 30 minuter. En infiltrationsmodul användes för att simulera infiltration av vatten på gröna ytor. Kriteriet Entréskydd visar (delar av) det sammanlagda avrinningsområdet för ett antal utvalda entréer som är viktiga för patienter och personal.

4.2 RANGORDNING MED DELPHIMETODEN

Vid workshopen rangordnades kriterierna utifrån hur viktiga de är att ta hänsyn till vid val av plats för en dagvattenåtgärd. Workshopdeltagarna gav kriterierna en rang från 1 (högst prioritering) till 13 (lägst prioritering). Resultatet av workshopen kan ses i tabell 5.

Redan i den första rangordningsrundan fick kriterier kopplat till fördröjning och rening av dagvatten (*Skyfall* respektive *Rening*) högst prioritering. Lägst prioritering fick de sekundära restriktionerna *Konstföremål* och *Parkeringar*, tillsammans med faktorerna kopplat till hälsa (*Synlighet* respektive *Nåbarhet*). De första och sista kriteriets medelrangordning (1,29 för *Skyfall* respektive 12,14 för *Konstföremål*) är låg respektive hög i förhållande till resterande kriterier, vars medelrangordning varierade från 5,71 till 8,86. Kendalls *W* blev 0,38 för den första rangordningsrundan, se tabell 5.

I den andra rangordningsrundan fick ytterligare ett kriterium kopplat till fördröjning (*Entréskydd*) hög prioritet, rangordnat efter *Skyfall* och *Rening*.



Figur 12: Utformningen av kriterierna (a) Temperatur och (b) Synlighet. Kriteriet Temperatur representerades av globalstrålningen sett över tid, under tre veckor i juli till augusti. Kriteriet Synlighet visar synligheten från fasader med många inneliggande patienter.

Tabell 5: Faktorerna och de sekundära restriktionerna sorterade utifrån medelrangordningen (Medelrangord.) från workshopens första (t v) respektive andra (t h) rangordningsrunda. I tabellen ses även resultatet av testet Kendalls W för respektive rangordningsrunda

Första rangordningsrundan		Andra rangordningsrundan	
Kriterium	Medelrangord.	Kriterium	Medelrangord.
Skyfall	1,29	Skyfall	1,00
Rening	5,71	Rening	3,86
Kylbehov	5,86	Entréskydd	4,14
Utvändiga stuprör	6,57	Temperatur	5,14
Entréskydd	6,71	Utvändiga stuprör	5,57
Marklutning > 5 %	6,86	Planerad ombyggnation	5,57
Viktiga entréer	6,86	Kylbehov	6,14
Temperatur	7,00	Viktiga entréer	8,29
Planerad ombyggnation	7,00	Marklutning > 5 %	8,71
Nåbarhet	7,71	Synlighet	8,71
Parkeringar	8,43	Nåbarhet	10,29
Synlighet	8,86	Parkeringar	10,71
Konstföremål	12,14	Konstföremål	12,86
Kendalls W: 0,38		Kendalls W: 0,71	

Kriteriet *Temperatur* och *Planerad ombyggnation* prioriterades högre än i föregående runda, samtidigt som kriterierna *Kylbehov* och *Marklutning* > 5 % fick lägre prioritet. Lägst prioritet sågs fortfarande hos kriterierna kopplat till hälsa (*Synlighet* respektive *Nåbarhet*) samt hos kriterierna *Parkeringar* och *Konstföremål*. Värdena hos medelrangordningen för den andra rangordningsrundan var mer utspridda över kriterierna. Värdet på Kendalls *W* ökade till 0,71 för den andra rangordningsrundan, se tabell 5. Samtliga sekundära restriktioner prioriterades lågt (rang 8, 9, 12 respektive 13). Den slutgiltiga rangordningen kan ses i tabell 6 under kommande rubrik 4.3.

4.3 VIKTNING

Vikterna för multikriterieanalysens kriterier bestämdes baserat på den rangordning som fastställdes under workshopen. Vikterna beräknades enligt ROC- och RS-metoden, se ekvation (10) och ekvation (11) i Metod och material-avsnittet under rubrik 2.5.3. Som exempel ges beräkningarna av vikterna för de två högst prioriterade kriterierna enligt ROC- respektive RS-metoden. Vikten för kriteriet med högst prioritet (rang 1) och näst högst prioritet (rang 2) enligt ROC-metoden ses i ekvation (13) respektive ekvation (14). Skillnaden mellan ekvationerna är att talföljden (inom parantes) går från $\frac{1}{1}$ till $\frac{1}{13}$ i den första och från $\frac{1}{2}$ till $\frac{1}{13}$ i den andra ekvationen.

$$\text{Vikt}_{1, \text{ROC}} = \frac{1}{13} \sum_{j=1}^{13} \frac{1}{j} = \frac{1}{13} \left(\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{12} + \frac{1}{13} \right) = 0,24 \quad (13)$$

$$\text{Vikt}_{2, \text{ROC}} = \frac{1}{13} \sum_{j=2}^{13} \frac{1}{j} = \frac{1}{13} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{12} + \frac{1}{13} \right) = 0,17 \quad (14)$$

För RS-metoden ges viken för kriteriet med högst prioritet (rang 1) och näst högst prioritet (rang 2) av ekvation (15) respektive ekvation (16). Skillnaden ses i ekvationernas täljare, som innehåller -1 i det första fallet och -2 i det andra.

$$\text{Vikt}_{1, \text{RS}} = \frac{2(13 + 1 - 1)}{13(13 + 1)} = 0,14 \quad (15)$$

$$\text{Vikt}_{2, \text{RS}} = \frac{2(13 + 1 - 2)}{13(13 + 1)} = 0,13 \quad (16)$$

I den andra rangordningsrundan fick kriterierna *Utvändiga stuprör* och *Planerad ombyggnation* respektive *Marklutning* > 5 % och *Synlighet* identisk medelrangordning. Kriterierna med identisk medelrangordning tilldelades då samma rang samt en medelvärdesvikt. Medelvärdesvikten är medelvärdet av vikterna som beräknats med ROC- eller RS-metoden, se ekvation (17) för ett exempel.

$$\text{Vikt}_{5,5 \text{ ROC}} = \frac{\text{Vikt}_{5, \text{ROC}} + \text{Vikt}_{6, \text{ROC}}}{2} = \frac{0,084 + 0,069}{2} = 0,077 \quad (17)$$

Den slutgiltiga rangordningen samt de vikter som kriterierna tilldelades kan ses i tabell 6. I tabell 6 ses även att skillnaden mellan största och minsta vikt är större vid användning av ROC-metoden jämfört med RS-metoden.

Tabell 6: Vikter beräknade enligt ROC- respektive RS-metoden. Vikterna användes vid summering av slutpoängen enligt linjär additiv metod

Kriterium	Rangordning	Vikt _{ROC}	Vikt _{RS}
Skyfall	1	0,24	0,14
Rening	2	0,17	0,13
Entréskydd	3	0,13	0,12
Temperatur	4	0,10	0,11
Utvändiga stuprör	5,5	0,077	0,093
Planerad ombyggnation	5,5	0,077	0,093
Kylbehov	7	0,056	0,077
Viktiga entréer	8	0,045	0,066
Synlighet	9,5	0,031	0,049
Marklutning > 5 %	9,5	0,031	0,049
Nåbarhet	11	0,019	0,033
Parkeringar	12	0,012	0,022
Konstföremål	13	0,0059	0,011
Summa		0,99	0,99

4.4 LOKALISERING MED LINJÄR ADDITIV METOD

Summeringen av multikriterieanalysen utfördes i ArcMap enligt linjär additiv metod, se ekvation (12). Resultatet från summeringen med vikter beräknade enligt ROC- respektive RS-metoden kan ses i figur 13. Vid användning av ROC-metoden varierade slutpoängen mellan -0,069 och 0,54 poäng (medelpoäng 0,13 och varians 0,0049). För resultatet framtaget med RS-metoden varierade slutpoängen mellan -0,11 och 0,49 poäng (medelpoäng 0,13 och varians 0,0049).

Vid användning av både ROC- och RS-metoden fick marken i anslutning till hus A9, parkeringar (till exempel i närheten av F- och J-husen), marken längs med den sydligaste delen av den Inre sjukhusvägen, områdena strax söder om J-huset och centralblocket samt ett mindre område sydväst om M-huset högst slutpoäng (se figur 5b eller figur 10b för byggnadernas beteckningar).

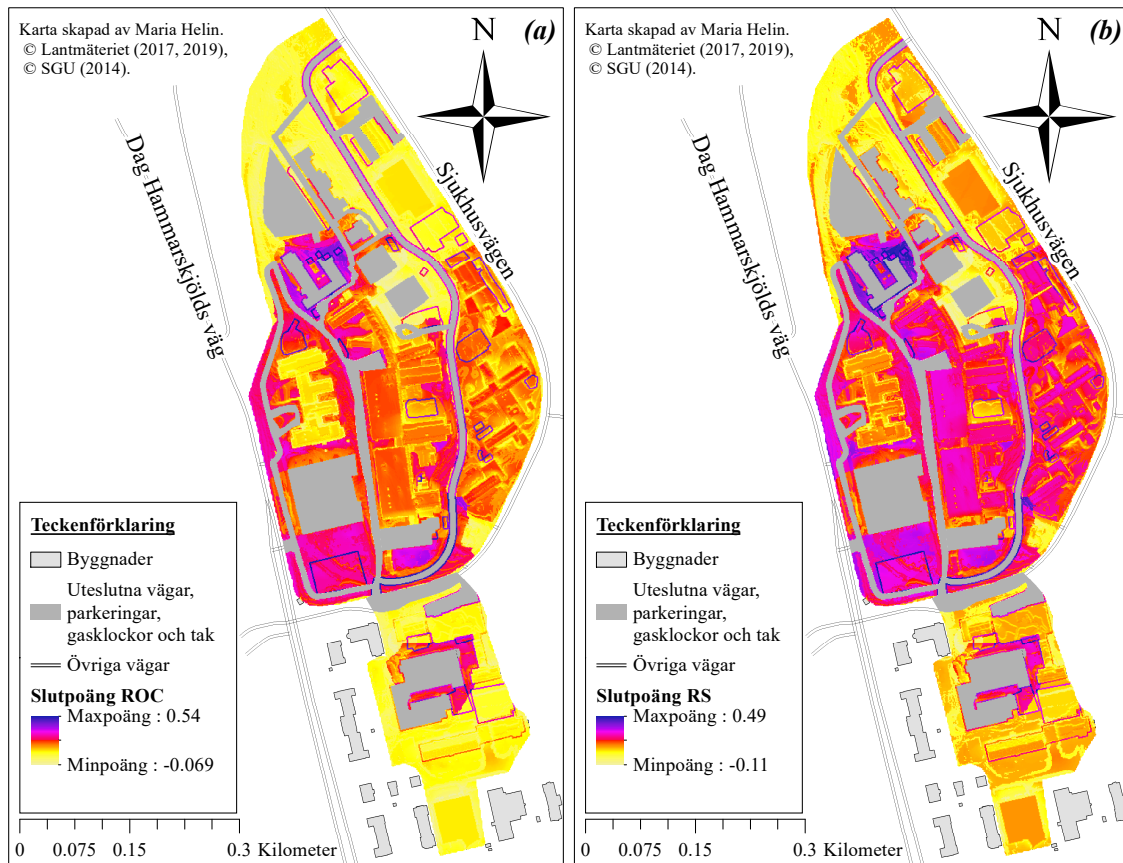
Områden med låg slutpoäng är marken nordväst, nord och nordost om hus A11, A1, T2 och T3 samt större delen av marken på Akademiska sjukhusets södra område (exklusive marken mellan Rudbeckslaboratoriet och C2-C3 samt marken runt vissa parkeringar och byggnader med utvändiga stuprör), se figur 13.

4.5 KÄNSLIGHETSANALYS

Två metoder för att beräkna kriteriernas vikter användes, för att se hur känsligt multikriterieanalysens resultat var för valet av vikter. För att grafiskt visualisera skillnaderna mellan ROC- och RS-metoden undersöktes resultatet av multikriterieanalysen på två sätt, vilket ses i figur 14. I båda fallen undersöktes de platser (det vill säga de pixlarna i resultsrastren) som fick högst poäng i multikriterieanalysen.

I figur 14a och 14b ses den halva av det totala antalet pixlar som fick högst slutpoäng. Poängkategorierna är konstruerade så att 10 % av det totala antalet pixlar finns i

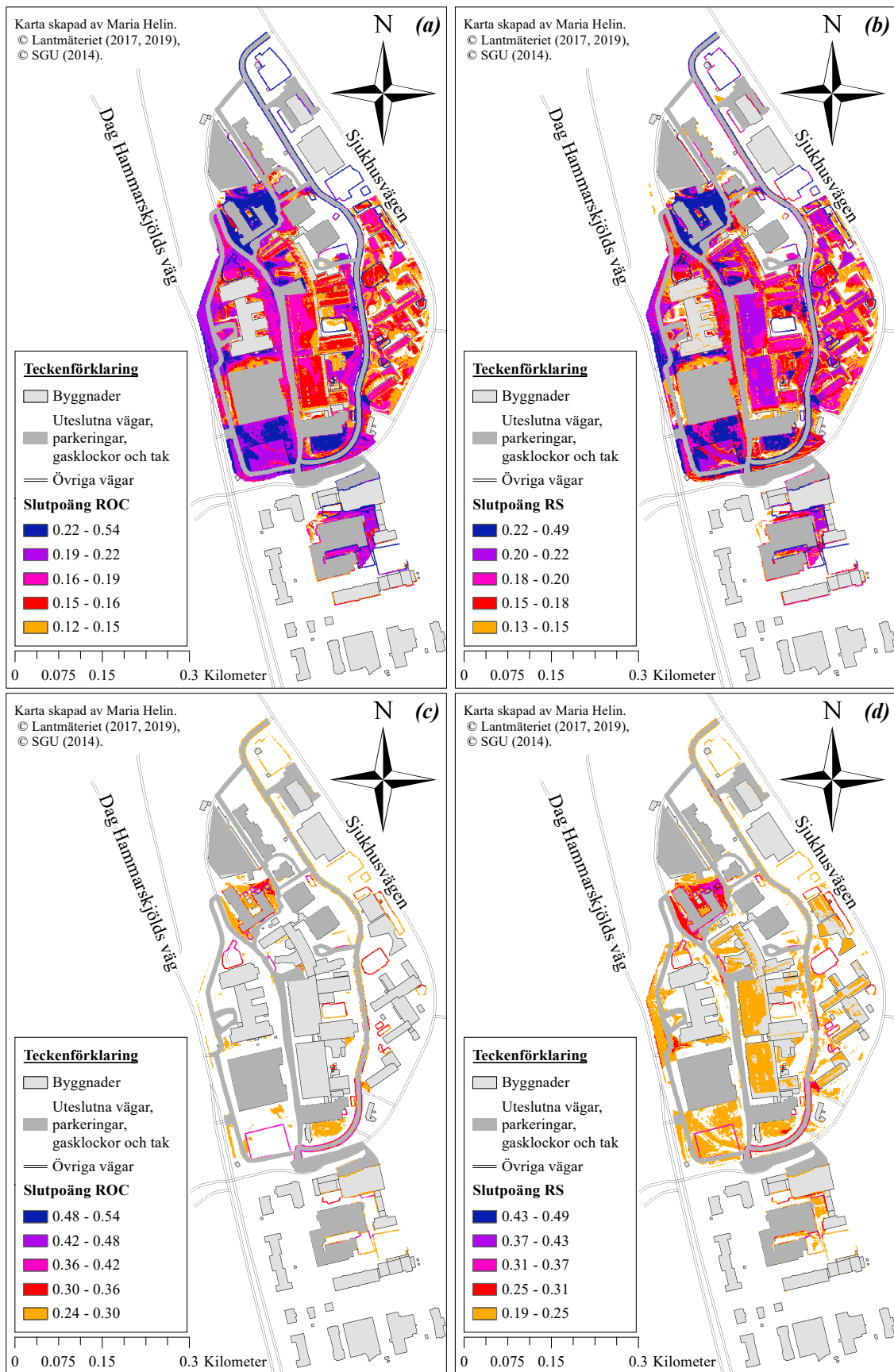
varje poängkategori. För resultatet framtaget med ROC- respektive RS-metoden ses att poängkategorierna i princip är lika, bortsett från kategorin med högst slutpoäng (eftersom ROC-metodens maximala poäng var högre). Generellt pekar resultatet ut samma områden som lämpliga för placering av dagvattenåtgärder. Den stora skillnaden är att taken på centralblocket samt vissa markområden öster om centralblocket fått högre slutpoäng med RS-metoden jämfört med ROC-metoden, se figur 14a och 14b.



Figur 13: Resultatet av multikriterieanalysen vid användning av vikter beräknade enligt (a) ROC- respektive (b) RS-metoden. Slutpoängen summerades i ArcMap enligt linjär additiv metod, se ekvation (12). Rastrens upplösning är 1x1 m.

I figur 14c och 14d ses en jämförelse mellan de högsta slutpoängen vid summering med vikter beräknade enligt ROC- respektive RS-metoden. Till skillnad från den tidigare jämförelsen består poängkategorierna i 14c och 14d inte av samma antal pixlar, utan av samma poängspann. Poängspannet utgör 10 % av det totala spannet mellan högsta och lägsta slutpoäng, vilket är ungefär 0,06 poäng för både ROC- och RS-metoden. Skillnaden mellan den största och minsta slutpoängen vid användning av ROC- respektive RS-metoden är alltså i princip lika (0,61 respektive 0,60 poäng).

Den grafiska jämförelsen visar att det generellt är fler pixlar som hamnar inom de högre poängkategorierna vid användning av RS-metoden jämfört med ROC-metoden, se figur 14c och 14d. Jämförelsen visar även att taken på centralblocket, och även P-N-, M- och S-husens tak hamnar inom de övre 50 % av slutpoängen vid användning av RS-metoden. Detta är inte fallet vid användning av ROC-metoden.



Figur 14: Pixlarna med högst slutpoängen, uppdelade i kategorier bestående av 10 % vardera av det totala antalet pixlarna i resultatsrastren ((a)-(b)) respektive 10 % vardera av spannet mellan högsta och lägsta poäng ((c)-(d)). Delfigurerna är framtagna med vikter beräknade enligt ROC-metoden ((a),(c)) respektive RS-metoden ((b),(d)).

5 DISKUSSION

I de följande avsnitten diskuteras resultatet och slutsatserna för de olika frågeställningarna. Den första (i) frågeställningen behandlar vilka kriterier som är relevanta att beakta vid lokalisering av gröna dagvattenåtgärder inom ett sjukhusområde. Frågeställning (ii) berör kvantifieringen och viktning av kriterierna. Den sista och tredje (iii) frågeställningen handlar om vilka platser resultatet föreslår för multifunktionella dagvattenåtgärder på Akademiska sjukhuset i Uppsala. Avslutningsvis diskuteras generella begränsningar i metoden och dess utförande, följt av några förslag för vidare studier och undersökningar.

5.1 VAL AV KRITERIER

Angående den första (i) frågeställningen visar litteraturstudien och samtalen att kriterier av praktisk karaktär eller i form av ekosystemtjänster är relevanta att använda i en multikriterieanalys för val av platser för gröna dagvattenåtgärder, se figur 9. De kriterier som prioriterades högst av workshopgruppen var *Skyfall*, *Rening* och *Entréskydd*, se tabell 6. Detta speglar det generella syftet med dagvattenåtgärder, vilket är fördröjning samt rening av dagvatten. Prioriteringsmässigt följdes dessa kriterier av kriterierna *Temperatur*, *Utvändiga stuprör*, *Planerad ombyggnation* och *Kylbehov*. Dessa kriterier är dels praktiska (*Utvändiga stuprör*, *Planerad ombyggnation*) och dels kopplade till klimatanpassning och hälsa i form av att motverka effekterna av värmeböljor och fenomenet urban värmeö (*Temperatur*, *Kylbehov*). Höga temperaturer har till exempel visat sig vara korrelerat till fler besök på Psykiatriakuten (Carlsen et al. 2019). Även fördröjning av flödet (*Skyfall*, *Entréskydd*) är klimatanpassningsåtgärder. Kriteriet *Kylbehov* speglar även en energibesparingsaspekt. De praktiska kriterierna *Utvändiga stuprör* och *Planerad ombyggnation* speglar också ett kostnads- och genomförbarhetsperspektiv, då de representerar situationer där byggandet av en dagvattenåtgärd kan underlättas eller genomföras samtidigt som ett annat projekt. Sammantaget visar workshopsgruppens rangordning att renings- och klimatanpassningsaspekterna anses viktigast att ta i beaktande vid val av plats för dagvatten, följt av vissa praktiska aspekter. Workshopsgruppens medlemmar (med olika yrkesbakgrund) rangordnade kriterierna så pass lika att starkt konsensus uppnåddes (Kendalls $W > 0,7$). Detta styrker slutsatsen att ovanstående kriterier kopplade till rening, flödesreglering, klimatanpassning samt ett kostnads- och genomförbarhetsperspektiv är viktiga och relevanta att ta hänsyn till vid val av plats för gröna dagvattenåtgärder. Resultatet överensstämmer dock inte med den rangordning av ekosystemtjänster som utfördes av en expertgrupp i Barcelona, där *temperaturreglering*, *social sammanhållning*, *habitat och pollinering* och *rekreation och vila* prioriterades före *flödesreglering* (Langemeyer et al. 2020). Detta talar för att resultatet av det här projektet troligtvis inte kan generaliseras till en annan geografisk kontext.

Lägre prioritet ansågs de sekundära restriktionerna rörande marklutning och framkomlighet utanför entréer (*Viktiga entréer*) ha. Dessa följdes av kriterierna kopplade till den gröna infrastrukturens positiva påverkan på hälsan, nämligen (*Synlighet*, *Nåbarhet*). Allra lägst prioritet gavs de resterande sekundära restriktionerna (*Konstföremål*, *Parkeringar*). Att kriterierna kopplade till hälsa och konstföremål fick låg prioritet talar för att dessa aspekter ses som en bonus vid val av plats för dagvattenåtgärd, snarare än något som bör prioriteras främst. Notera dock att workshopens resultat inte säger hur de primära restriktionerna (*Uteslutna vägar och parkeringar*, *Uteslutna tak* och *Gasklockor*) ställer

sig prioriteringsmässigt i förhållande till resterande kriterier. De primära restriktionerna uteslöts på förhand ur analysen i samråd med Region Uppsala, vilket dock kan tala för att de är viktiga att ta hänsyn till.

Att kriteriet *Parkeringar* prioriteras lågt kan tyckas vara oväntat, då det är viktigt att personal, patienter och besökare har möjlighet att parkera på sjukhusområdet. Men att kriteriet *Parkeringar* fick låg prioritet behöver inte betyda att behovet av parkeringsplatser på Akademiska inte är prioriterat, utan att det inte behöver finnas en motsättning mellan parkeringsplatser och anläggning av dagvattenåtgärder. Dagvattenåtgärder skulle kunna integreras i befintliga parkeringsplatser, till exempel mellan rader av parkerade bilar. Kategoriseringen av parkeringar som en sekundär restriktion kan ifrågasättas. Istället skulle parkeringar kunna ses som en faktor, för att visa på platser som ger upphov till höga flöden och stora mängder av dagvatten på grund av den hårdgjorda ytan. Om en workshop enligt Delphimetoden använts även för framtagning av kriterierna (enligt Okoli & Pawlowskis (2004) beskrivning) är det möjligt att en alternativ utformningen av kriteriet *Parkeringar* hade kommit på tal tidigare i processen och därför kunnat användas i multikriterieanalysen istället.

En begränsning med metoden är att kostnadsaspekten inte finns inkluderad som ett kriterium. Kostnad föreslogs under samtalen om dagvatten, men inkluderades inte som ett eget kriterium. Däremot inkluderades de praktiska kriterierna *Utvändiga stuprör*, *Planerad ombyggnation* och *Marklutning > 5 %*, vilka kan sägas representera praktisk genomförbarhet. Genomförbarheten är kopplad till kostnad, till exempel kan det bli mer kostsamt att behöva åtgärda en brant marklutning innan en dagvattenåtgärd kan anläggas eller så kan det bli mindre kostsamt att anlägga en dagvattenåtgärd om det sker i samband med en redan planerad ombyggnation. Kriteriet *Planerad ombyggnation* kan dock, i alla fall delvis, ifrågasättas. Detta då stora ombyggnationer kräver många års planering, vilket gör att det inte är relevant som en positiv faktor om multikriterieanalysen ska användas för att föreslå platser för dagvattenåtgärder som ska byggas inom den närmsta framtiden. Ett av syftena med examensarbetet är dock att kunna introducera en diskussion kring gröna ytor och dagvattenåtgärder på Akademiska sjukhuset. Att inkludera kriteriet *Planerad ombyggnation* kan därför ses relevant i den bemärkelsen att det kan bidra till att föra planering av dagvattenhantering på tal och förhoppningsvis bidra till att dagvattenhanteringen kan vara ett element som finns med redan tidigt i planeringsprocessen vid ombyggnationer.

En annan begränsning med metoden är att endast en workshopgrupp användes, till skillnad från Okoli & Pawlowskis (2004) förslag där flera delgrupper användes. Workshopgruppen som användes i projektet var även mindre än vad Okoli och Pawlowski (2004) rekommenderar. Att endast en (relativt liten) workshopgrupp användes medför en risk för att enskilda gruppmedlemmars synpunkter och bidrag till gruppdiskussionen påverkat resultatet i större utsträckning, jämfört med om flera och större workshopgrupper använts.

5.2 POÄNGSÄTTNING OCH VIKTNING AV KRITERIER

Angående den andra (ii) frågeställningen så valdes en enhetlig poängsättning av kriterierna (-1 och 0 respektive mellan 0 och +1). Detta för att kriteriernas prioriteringsgrad i förhållande till varandra endast skulle speglas av de tilldelade vikterna. Om kriterierna hade poängsatts på olika skalor (till exempel både på en skala mellan 0 och +1 samt 0 och +5)

hade kriterier med större poängskala fått en fördel.

Tilldelningen av vikter baserades på den rangordning som fastställdes med hjälp av Delphimetoden. I den andra och sista rangordningsrundan erhöles Kendalls W 0,71. Det är större än den gräns för tillräcklig stark konsensus (Kendalls W 0,70) som Schmidt (1997) rekommenderar. Detta betyder att de två rangordningsrundor som utfördes var tillräckligt för att uppnå konsensus med avseende på rangordningen av kriterierna.

Vidare valdes två viktningmetoder att användas, för att kunna utföra en känslighetsanalys med avseende på valet av viktningmetod. Resultatet visar att ROC- och RS-metoderna ger relativt samstämmigt resultat vid summering av multikriterieanalysen. Den stora skillnaden är att taken på centralblocket fick något högre slutpoäng vid användning av RS-metoden, se figur 14a och 14b. Den maximala slutpoängen blev högre för ROC-metoden, vilket är rimligt då ROC-metodens vikter för de mest prioriterade kriterierna var större. Vid jämförelsen mellan ROC- och RS-metoden baserat på poängkategorier konstruerade utifrån storleken på spannet hos slutpoängens, se figur 14c och 14d, ses att fler pixlar fick en hög slutpoäng med RS-metoden jämfört med ROC-metoden. Även detta är rimligt med tanke på att skillnaden mellan största och minsta vikt var mindre hos RS-metoden än ROC-metoden, se tabell 6. Observera dock att medelslutpoängen och variansen hos slutpoängen blev samma vid användning av ROC- respektive RS-metoden, det vill säga skillnaden mellan största och minsta slutpoäng var lika för de båda metoderna.

Vid sammansättningen av workshopsgruppen (och även urvalet av personer för samtal om dagvatten) eftersträvades att inkludera personer från olika yrkesgrupper och verksamhetsområden. Detta uppnåddes relativt väl, även om inte alla kategorier från nomineringsdokumentet fanns representerade vid workshopen. Flera av workshopdeltagarna var anställda hos Region Uppsala, vilket är en fördel eftersom det är rimligt att personer verksamma på Akademiska sjukhuset deltar i rangordningen av kriterierna. Även personer från WSP deltog, vilket också är relevant då dessa (ur ett konsultperspektiv) kunde bidra med expertkunskaper inom dagvatten, VA och landskapsarkitektur.

5.3 RESULTATET AV FALLSTUDIEN

Angående den tredje (iii) frågeställningen visar multikriterieanalysens resultat att lämpliga platser för gröna dagvattenåtgärder främst är områden i anslutning till hus A9, områdena strax söder om centralblocket och J-huset (norr om Sjukhusvägen) samt i anslutning till parkeringsplatser och den Inre sjukhusvägen. De platser som fick låg (ibland negativ) slutpoäng är belägna i sjukhusområdets norra del, samt delvis även i området söder om Sjukhusvägen. Resultatet är förväntat då Ambulansvägen, centralblocket och (i alla fall de östra delarna av) hus A9 ligger i en lågpunkt i landskapet. Lågpunkter är generellt platser där vatten tenderar att ansamlas vid kraftig nederbörd. I figur 11a ses kriteriet *Skyfall* (som prioriterades högst av workshopgruppen och därför vägde tyngst i multikriterieanalysen), som visar att mest vatten ansamlas i anslutning till centralblocket vid ett 100-årsregn (med 30 minuters varaktighet). Hus A9 är också (tillsammans med F- och J-huset samt stora delar av centralblocket) beläget inom området uppströms de utvalda patient- och personalentréerna, se figur 11b. Dessutom har hus A9 utvändiga stuprör, är omgivet av flera parkeringsplatser (av varierande storlek) samt ligger inom 125 m från entrén vid Psykiatrins hus (A15).

Att platserna i sjukhusområdets norra och södra delar fick låga poäng är också förväntat, då områdena inte kan säga utgöra några lågpunkter samt inte heller ligger inom uppströmsområdet till de utvalda, viktiga entréerna för patienter och personal. Platserna har fått höga poäng från kriteriet *Temperatur*, som också är ett kriterium som tilldelats relativ hög prioritet av workshopgruppen. Platserna har även en del parkeringar samt byggnader med utvändiga stuprör, men då dessa kriterier endast utgör zoner som är 2 m breda så tillför de endast poäng inom ett begränsat område. De positiva bidragen från kriterierna *Temperatur*, *Utvändiga stuprör* och *Rening* verkar alltså inte väga upp att poängbidraget är lågt eller saknas från kriterierna *Skyfall* och *Entréskydd*. Sjukhusområdets norra och södra delar ligger dessutom i sjukhusets utkanter, vilket innebär låga eller inga poängbidrag från kriterierna *Nåbarhet* och *Synlighet*. Stora delar av sjukhusområdets norra område har även fått minuspoäng på grund av brant marklutning.

5.4 BEGRÄNSNINGAR I METOD OCH UTFÖRANDE

Metoden och dess utförande har flera begränsningar. Vanligtvis utförs inte en multikriterieanalys i ArcMap på en så lokal skala som är fallet i det här projektet. Vanligare är istället att utföra analysen på kommun eller nations nivå, till exempel som i fallet med lokaliseringsutredningen för ett nytt avloppsreningsverk i Uppsala (Uppsala kommun 2019). Andra exempel är ett examensarbete där multikriterieanalys användes för att undersöka olika alternativ för dricksvattenstrategi i Örnsköldsviks kommun (Sandström 2016) och studien där en multikriterieanalys i GIS användes för att undersöka delavrinningsområden i Sydkorea (Lee, Jun & Kang 2019). Eftersom multikriterieanalysen i det här fallet utförs på lokal skala, för ett relativt litet område, användes höjddatafiler med upplösningen 1x1 meter (baserat på laserdata) istället för Lantmäteriets färdiga höjddatafiler vars högsta upplösning är 2x2 meter. Kriteriet *Skyfall* är ett undantag, då höjddata med upplösning 2x2 meter användes för detta kriterium. Detta kan ha haft en negativ påverkan på resultatet, då kriteriet *Skyfall* prioriterades högst av workshopgruppen och därför väger tungt vid summeringen av slutpoängen. Trots en upplösning på 1x1 meter är metoden ofrånkomligen grov. Vid utformningen vid flera kriterier har till exempel vissa vägar, alla parkeringar och gasklockor, områden som ska byggas om, entréernas positioner och konstföremålet ”Sten på sten” markerats ut manuellt baserat på Lantmäteriets ortofoto. Denna manuella utmarkering bidrar med osäkerhet till slutresultatet. Till exempel kan mindre parkeringsplatser ha missats. Ortofotot utgör också en ögonblicksbild av ett sjukhusområde där ombyggnationer ofta sker, vilket innebär att vägar eller parkeringsplatser kan ha förändrat sedan ortofoto togs. Det manuella arbetet gör även metoden omständigt och tidskrävande att använda för större landområden. I flera kriterier, till exempel *Synlighet*, har Lantmäteriets fastighetskarta använts. I figur 5a ses att Lantmäteriets fastighetskarta inte helt överensstämmer med ortofotot, vilket också bidrar med osäkerhet till resultatet eftersom både fastighetskartan och ortofotot användes för att utforma kriterierna.

Användningen av linjär omskalning för maxdjupsrastret som ligger till grund för kriteriet *Skyfall* kan också diskuteras. Vid flöden högre än de som växtbäddar är dimensionerade för att klara sker bräddning, det vill säga växtbädden svämmas över. Det är därför troligt att växtbäddar inte skulle ha kapacitet att klara av vattenmängderna vid de största maxdjupen från skyfallskarteringen. Linjär omskalning valdes att användas trots detta, i brist på förslag på en rimlig maxdjupsgräns. Maxdjupsgränsen skulle ha representerat en gräns för

vid vilket vattendjup en växtbädd kan anses ha otillräcklig kapacitet om den överskrids. Ett alternativ hade varit att använda sig av linjär omskalning upp till en sådan maxgräns, för att sedan låta poängen avta upp till det maximala maxdjupet. Då linjär omskalning istället användes fick platser med de största maxdjupen höga poäng i kriteriet *Skyfall*. Med tanke på att kriteriet *Skyfall* prioriterades högst (och därmed tilldelades den största vikten), finns därför en risk att resultatet av multikriterieanalysen föreslår platser där en växtbädd inte skulle ha kapacitet att ha hand om allt dagvatten vid kraftig nederbörd. Det är viktigt att ha multikriterieanalysens begränsningar i beaktning vid tolkning av resultaten. Multikriterieanalysen gör inte anspråk på att ta hänsyn till alla tänkbara aspekter, och resultatet bör därför betraktas som ett grovt, första förslag på platser för gröna dagvattenåtgärder. Dessa platser bör sedan utvärderas och undersökas vidare, vilket inte ligger inom ramen för det här examensarbetet.

Under arbetet med kriteriernas utformning i ArcMap har flera val gjorts, vilka kan ha en inverkan på resultatet. Ett urval av viktiga entréer för patienter och personal gjordes i samråd med Region Uppsala, se figur 10a. Dessa entréer användes för kriterierna *Nåbarhet* och *Viktiga entréer*, för att spegla vilken mark som är inom gångavstånd från viktiga entréer samt på vilken mark i anslutning till entréerna som det kan vara svårt att anlägga en dagvattenåtgärd på grund av krav på framkomlighet. Att inte alla entréer finns representerade i multikriterieanalysen innebär att resultatet kan föreslå placering av dagvattenåtgärder i anslutning till andra entréer. (Multikriterieanalysen kan också föreslå platser som ligger i anslutning till de utvalda entréerna, om andra kriterier tilldelar dessa platser höga poäng.) Urvalet av kriterier användes även för beräkningen av avrinningsområden för kriterier *Entréskydd*. Även i det här fallet är urvalet av entréer inte heltäckande, det vill säga alla platser där vatten potentiellt skulle kunna ta sig in i byggnaderna vid kraftig nederbörd finns inte representerade. Till exempel finns inga garageinfarter inkluderade. En annan aspekt som behöver beaktas angående kriteriet *Entréskydd* är att placeringen av utloppspunkterna (för de avrinningsområden som beräknades) inte kunde placeras precis vid entréerna. Punkterna placerades istället inom ungefär 30 meter från de olika entréerna, baserat på var vatten tenderar att rinna i terrängen (vilket beräknats med verktyget *Flödesansamling* i ArcMap). Kriteriet *Entréskydd* speglar alltså egentligen inte det sammanlagda avrinningsområdet till de utpekade entréerna, utan det sammanlagda avrinningsområdet till punkter i relativt nära anslutning till entréerna. Det betyder att det inte är säkert att vatten som passerar dessa punkter i närheten av entréerna verkligen skulle nå fram till själva entréerna. Ytterligare en aspekt är att verktyget *Avrinningsområde* i ArcMap baserar avrinningsområdet på höjddata. I verkligheten följer inte alltid avrinningsområdena topografin, vilket till exempel är fallet för väldigt genomsläppliga jordar (som rullstensåsar bestående av isälvsmaterial) (Rodhe 1997). Ovanstående aspekter bidrar med osäkerhet till slutresultatet, speciellt med tanke på att kriteriet *Entréskydd* prioriterades högt av workshopsgruppen.

Vid utformning av kriteriet *Synlighet* användes verktyget *Siktfält*, som beräknar hur många vertex (belägna approximativt i höjd med fönstren på fasadens översta våning) en pixel var synlig från. Det innebär att det totala antalet vertex hos ett hus med kvadratisk eller rektangulär form är åtta stycken, det vill säga två vertex per fasad. Några av husen med utvalda fasader är dock inte kvadratiske eller rektangulära, se figur 12b. Främst F-huset har en avvikande form, då det är format som en kam bestående av flera mindre hus. Husen är dessutom olika höga. Om utseendets hos F-husets verkliga fasader hade använts till kriteriet *Synlighet* skulle det fått fler vertex än de andra husens fasader, och därför fått en

fördel och blivit överrepresenterat. Dessutom innebär F-husets form och den olika höjden hos F-husets olika delar problem när fasadernas höjd över marknivån (i höjddatafilen höjddata_{Akademiska}) skulle tilldelas, eftersom samma fasad fick delas upp i flera delar. För att F-husets fördel jämfört med resterande fasader inte skulle bli alltför stor förenklades dess form, vilket kan ses i figur 12b. Trots detta fick F-huset fler vertex än de andra byggnaderna. Synligheten kan dock även i verkligheten tänkas vara störst från F-huset eftersom det är en hög byggnad, belägen längst upp i en sluttning med utsikt ut över resterande byggnader. Detta, tillsammans med det faktum att synlighet prioriterades relativt lågt av workshopgruppen, gör att antalet vertex hos F-huset troligtvis inte påverkar resultatet negativt i någon särskilt stor utsträckning. Andra subjektiva val som kan ha påverkat resultatet är storleken på zonerna (2 meter) runt hus med utvändiga stuprör samt runt parkeringsplatser och tungt trafikerade vägar (i kriterierna *Utvändiga stuprör* respektive *Rening*) samt gränsen vid 5 % marklutning (i kriterierna *Marklutning* > 5 %). Beslut om gränserna togs i samråd med handledare, baserat på dennes erfarenhet av dagvattenhantering. I verkligheten finns inte skarpa gränser på det sättet. Det är inte så att anläggning av en dagvattenåtgärd vid 4,95 % marklutning är helt problemfritt medan anläggning vid 5 % marklutning innebär problem.

En annan aspekt värd att diskutera är kriterierna tagits fram med metoder som inte är lika noggranna. Kriterier som *Temperatur*, *Synlighet*, *Skyfall* och *Entréskydd* baseras på beräkningar i ArcMap (eller MIKE 21 för kriteriet *Skyfall*). Beräkningarna för dessa kriterier resulterade i raster där de olika pixlarna hade stor variation i sina poäng (som sedan skalades om linjärt). Detta till skillnad från kriterier som *Planerad ombyggnation* eller *Konstföremål* som markerades ut manuellt baserat på Lantmäteriets ortofoto, och endast erhöll poängen 1 eller -1 (planerad ombyggnation respektive konstföremål finns) och 0 (planerad ombyggnation respektive konstföremål finns inte). I det senare fallet är kriteriernas utformning mer ungefärlig och mindre noggrann, jämfört med kriterierna som baseras på höjddatafilerna och beräkningar i ArcMap. I kriteriet *Planerad ombyggnation* har också relativt stora markområden getts 1 poäng, i förhållande till exempel i kriterierna *Utvändiga stuprör* respektive *Rening* där en (i jämförelse) mindre zon (2 meter) tilldelats 1 poäng. Att detta har påverkat resultatet syns till exempel i figur 13, där områdena i anslutning till S-, M-, P- och N-husen står ut jämfört med resterande markområden öster om den Inre sjukhusvägen. Detta området överensstämmer med utbredningen för (delar av) kriteriet *Planerad ombyggnation*, som kan ses i figur 5a. Angående kriteriet *Temperatur* bör också nämnas att endast marknivån och byggnaderna fanns representerade i höjddatafilen som användes för analysen, det vill säga inga träd fanns representerade. Inte heller luftbroarna mellan byggnaderna fanns med. Det innebär att globalstrålningen troligtvis är överskattad för vissa delar av sjukhusområdet, till exempel de norra delarna samt längst med Dag Hammarskjölds väg och Sjukhusvägen där det i verkligheten finns träd som kan bidra med skugga.

Multikriterieanalysen har begränsats till att endast föreslå lämpliga platser för gröna dagvattenåtgärder, så som gröna tak eller växtbäddar. Motiveringen är att grå dagvattenlösningen inte bidrar med några ekosystemtjänster, vilket de gröna dagvattenåtgärderna har potential att göra. I verkligheten går det dock att kombinera grå och gröna dagvattenåtgärder, och på så sätt kan fördelarna från båda grupperna av dagvattenlösningar utnyttjas. Till exempel skulle ett underjordiskt dagvattenmagasin (grå dagvattenåtgärd) kunna kombineras med en växtbädd (grön dagvattenåtgärd), en kombination som skulle kunna ta hand

om större mängden dagvatten än en växtbädd ensamt klarar av.

Huruvida de stressreducerande eller hälsofrämjande effekter som sett för gröna områden i form av skog, park (Hedblom et al. 2019) eller träd (Ulrich 1984) kan generaliseras till att även gälla för enstaka växtbäddar eller tunna sedumtak kan ifrågasättas. Detta bör tas i beaktande vid tolkningen av resultatet för det här projektet. Akademiska sjukhuset är som ett lapptäcke, där byggnader tillkommit under en lång tidsperiod. Det gör att ytor mellan byggnaderna är små, vilket gör att det kan vara svårt att få plats med större grupper av träd till exempel. Ur hälsosynpunkt vore det kanske fördelaktigt att anlägga gröna dagvattenåtgärder på flera olika ställen, för att den totala mängden grönska inom Akademiska sjukhusets område ska bli större. Detta är även positivt med tanke på andra ekosystemtjänster som den gröna infrastrukturen kan bidra med, till exempel påverkan på temperaturen, luftkvaliteten, bullerreducering. Och även fördröjning och rening av dagvatten, vilket ju är huvudsyftet med dagvattenåtgärderna. Observera att det dock är viktigt att placera grön infrastruktur på strategiskt valda platser för att nå önskad effekt, till exempel en reduktion av temperaturen (Zölch et al. 2016), istället för att endast fokusera på att öka den totala andelen gröna ytor. Även Langemeyer et al. (2020) betonar vikten av att inte anta att tillhandahållandet av ekosystemtjänster endast beror på mängden grönska. För att få patienter (och personal) att uppsöka de gröna områdena är det också viktigt att de utformas på ett genomtänkt sätt som uppmuntrar till besök. En intervjustudie med syftet att identifiera vilka faktorer som underlättar (eller försvårar) tillgången till grönområden i sjukhusmiljö fann till exempel att belysning och möjlighet att sitta efterfrågades (Weerasuriya, Henderson-Wilson & Townsend 2019). Således kan det vara svårt att uppnå vissa av de hälsofrämjande effekterna av gröna områden endast genom att öka den totala andelen gröna ytor.

Slutligen bör generaliserbarheten hos projektets resultat diskuteras. Urvalet av kriterier baseras på en litteraturstudie samt samtal med yrkesverksamma inom landskapsarkitektur, drift och teknikförvaltning, varav de senare var anställda hos Region Uppsala. Detta har styrt urvalet av kriterier mot att bli anpassat efter förutsättningarna på Akademiska sjukhuset. Att kriterierna så tydligt är utformade utifrån förutsättningarna på (och tillgängligheten på data från) Akademiska sjukhuset gör att generaliseringar av urvalet av kriterier till andra sjukhusområden bör göras med försiktighet. Projektets resultat när det kommer till förslag på platser för dagvattenåtgärder är helt platsspecifikt, och kan därför inte generaliseras till andra sjukhus eller sjukhusmiljöer.

5.5 FORTSATTA STUDIER

Vid en utökad analys av möjliga platser för gröna dagvattenåtgärder inom ett sjukhusområde skulle fler kriterier kunna inkluderas. Litteraturstudien i det här projektet identifierade kriterierna *Buller*, *Luftkvalitet*, *Biologisk mångfald* och *Underbyggd mark med bjälklag* till exempel. För det krävs insamling av data till exempel när det gäller bullernivåer och luftföroreningar. Kriteriet *Parkeringar* skulle kunna kategoriseras om till en faktor för att ge positiva poängbidrag för parkeringar där stora mängder dagvatten kan uppstå på grund av den stora hårdgjorda ytan. Vidare skulle ett avslutande expertbedömningssteg kunna utföras, för att i detalj utvärdera de förslag på platser som analysen resulterade i. Känslighetsanalysen med avseende på val av viktningsskallning skulle kunna utformas annorlunda, genom att jämföra viktningsskallningar som skiljer sig mer åt än vad ROC- och RS-metoden

gör. Dessa metoder bygger båda två på matematiska formler. Istället skulle ROC- eller RS-metoden kunna jämföras med direkt poängsättning eller poängallokering, vilka bygger på att en workshopgrupp fördelar vikter till kriterierna. Roberts och Goodwin (2002) anser till exempel att ROC är ett rimligt alternativ att använda istället för poängallokering, vilket kan vara intressant att testa.

En känslighetsanalys med avseende på kriteriernas vikter hade också kunna utföras på ett mer systematiskt sätt, vilket Chen, Yu & Khans (2010) studie är ett exempel på. En mer systematisk känslighetsanalys, som inte endast grundat sig på en visuell jämförelse av resultatet, hade gett känslighetsanalysens resultat mer tyngd. Avslutningsvis skulle en känslighetsanalys även kunna undersöka hur resultatet påverkas vid användningen av olika poängsättning. I det här fallet skulle poängsättningen av kriteriet *Skyfall* kunnat utformas på ett annat sätt till exempel.

6 SLUTSATS

Denna studien visar att de viktigaste kriterierna att ta hänsyn till vid val av plats för en dagvattenåtgärd inom ett sjukhusområde är kriterier kopplade till rening av dagvatten samt klimatanpassning i form av flödesfördröjning och en sänkning av temperaturen lokalt. Detta visades genom en litteraturstudie, samtal med yrkesverksamma samt rangordning av kriterierna vid en workshop. Sänkningen av temperaturen och att använda gröna tak för att minska byggnaders energiförbrukning kan även ses som hälso- och energibesparingsaspekter. Även praktiska kriterier kopplade till kostnads- och genomförbarhetsaspekter är av betydelse, till exempel anläggning av dagvattenåtgärder i anslutning till hus med utvändiga stuprör.

Multikriterieanalysens resultat vid användning av vikter beräknade enligt metoderna centroid rangordning (ROC) och summerad rangordning (RS) är relativt samstämmigt. Den egentliga skillnaden i resultatet är att centralblockets tak fick högre poäng vid användning av RS-metoden, jämfört med ROC-metoden. I framtida studier skulle en känslighetsanalys med avseende på multikriterieanalysens vikter kunna utföras på ett mer systematiskt sätt, till exempel genom att variera värdet hos en vikt åt gången.

Enligt fallstudien för Akademiska sjukhuset är det främst området runt hus A9, centralblocket och J-huset, men även generellt i anslutning till parkeringsplatser och den Inre sjukhusvägen, lämpliga platser för gröna dagvattenåtgärder. Det är dock viktigt att ha i åtanke att multikriterieanalysen inte gör anspråk på att ha tagit hänsyn till alla tänkbara eller viktiga aspekter vid val av lokalisering för dagvattenåtgärder på Akademiska sjukhuset eller något annat sjukhusområde. Multikriterieanalysens resultat är endast ett grovt förslag och ska betraktas som ett första urval av platser lämpliga för gröna dagvattenåtgärder. För vidareutveckling av metoden föreslås att ett expertbedömningssteg inkluderas. Expertbedömningen föreslås utföras i form av en workshop bestående av en expertgrupp. Expertgruppen skulle kunna bedöma ett urval av de platser som fått högst slutpoäng, med avseende på lämplighet för lokalisering av en grön dagvattenåtgärd.

7 REFERENSER

- Alm, S. E. & Britton, T. (2008). *Stokastik: Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar*. 1. uppl. Solna: Liber.
- Andersson, N. & Pershagen, G. (2020). *Buller*. Tillgänglig: <https://ki.se/imm/buller> [2020-04-11].
- Berkelaar, M. (2020). *Package 'lpSolve'*. Tillgänglig: <https://cran.r-project.org/web/packages/lpSolve/lpSolve.pdf> [2020-03-18].
- Blecken, G. (2016). *Kunskapssammanställning: Dagvattenrening*. Bromma: Svenskt Vatten. (2016-05). Tillgänglig: https://www.svensktvatten.se/contentassets/979b8e35d47147ff87ef80a1a3c0b999/svu-rapport_2016-05.pdf [2020-01-30].
- Boverket (2019). *Grönska och vatten reglerar temperaturen vid värmeböljor*. Tillgänglig: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/Allmant-om-PBL/teman/ekosystemtjanster/naturen/betydelse/reglerar-temp/> [2020-05-05].
- Carlsen, H. K., Oudin, A., Steingrimsdóttir, S. & Oudin Åström, D. (2019). Ambient Temperature and Associations with Daily Visits to a Psychiatric Emergency Unit in Sweden. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16 (2), ss. 286. doi: 10.3390/ijerph16020286.
- Chen, Y., Yu, J. & Khan, S. (2010). Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. *Environmental Modelling & Software*, vol. 25 (12), ss. 1582–1591. doi: 10.1016/j.envsoft.2010.06.001.
- Dahl, C., Jergmo, F., Klein, H., Nilsson, G., Olsson, T., Rasmusson, A., Bergquist, D., Emilsson, T., Fransson, A.-M., Randrup, T. B. & Andersson, U. E. (2017). *Ekosystemtjänsternas bidrag till god urban livsmiljö*. Stockholm: Naturvårdsverket. (6778). Tillgänglig: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:naturvardsverket:diva-8361> [2020-01-23].
- Dalkey, N. & Helmer, O. (1962). *An experimental application of the Delphi Method to use of experts*. Santa Monica: Rand Corporation. (RM-727/1-ABRIDGED). Tillgänglig: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_memoranda/2009/RM727.1.pdf [2020-02-06].
- Dalkey, N. C. (1969). *The Delphi Method: An experimental study of group opinion*. Santa Monica: Rand Corporation. (RM-5888-PR). Tillgänglig: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_memoranda/2005/RM5888.pdf [2020-02-06].
- DCLG (2009). *Multi-criteria analysis: a manual*. London: Communities and Local Government (DCLG). Tillgänglig: <http://www.communities.gov.uk/documents/corporate/pdf/1132618.pdf> [2020-01-20].
- Delgado, M. G. & Sendra, J. B. (2004). Sensitivity Analysis in Multicriteria Spatial Decision-Making: A Review. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, vol. 10 (6), ss. 1173–1187. doi: 10.1080/10807030490887221.
- Dowle, M. (2019). *Package 'data.table'*. Tillgänglig: <https://cran.r-project.org/web/packages/data.table/data.table.pdf> [2020-03-31].

- Dzhambov, A. M., Hartig, T., Tilov, B., Atanasova, V., Makakova, D. R. & Dimitrova, D. D. (2019). Residential greenspace is associated with mental health via intertwined capacity-building and capacity-restoring pathways. *Environmental Research*, vol. 178, ss. 108708. doi: 10.1016/j.envres.2019.108708.
- Eastman, J., Jin, W., Kyem, P. & Toledano, J. (1995). Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 61 (5), ss. 539–547. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/279903721_Raste_Procedure_for_Multi-CriteriaMulti-Objective_Decisions/link/57a350ab08ae2f2c24bf10e0/download [2020-02-09].
- ESRI (u.å.). *Area Solar Radiation*. Tillgänglig: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.7/tools/spatial-analyst-toolbox/area-solar-radiation.htm> [2020-03-18].
- Europeiska kommissionen (2019). *Ecosystem services and Green Infrastructure*. Tillgänglig: <https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/> [2020-02-27].
- Filazzola, A., Shrestha, N. & MacIvor, J. S. (2019). The contribution of constructed green infrastructure to urban biodiversity: A synthesis and meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, vol. 56 (9), ss. 2131–2143. doi: 10.1111/1365-2664.13475.
- Francis, L. F. M. & Jensen, M. B. (2017). Benefits of green roofs: A systematic review of the evidence for three ecosystem services. *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 28, ss. 167–176. doi: 10.1016/j.ufug.2017.10.015.
- Gamer, M., Lemon, J., Fellows, I. & Singh, P. (2019). *Package 'irr'*. Tillgänglig: <https://cran.r-project.org/web/packages/irr/irr.pdf> [2020-03-18].
- Gustafsson, E., Andersson, E., Föhlinger, S., Hammar, F., Heinke, M., Lundberg, T., Nordqvist, R., Palmfjord, E., Ragvald, J. & Sjöberg, O. (2018). *Risikanalys av Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde ur grundvattensynpunkt*. Uppsala: Uppsala kommun. Tillgänglig: https://www.uppsala.se/contentassets/197b2cfe78a14355a69f533f4955391b/masen-etapp-2_risikanalys-asarna_slutversion-20180417.pdf [2020-04-21].
- Gustafsson, H. (2007). *Nordens historia : en europeisk region under 1200 år*. 2:5. uppl. Lund: Studentlitteratur.
- Hedblom, M., Gunnarsson, B., Irvani, B., Knez, I., Schaefer, M., Thorsson, P. & Lundström, J. N. (2019). Reduction of physiological stress by urban green space in a multisensory virtual experiment. *Scientific Reports*, vol. 9 (1), ss. 1–11. doi: 10.1038/s41598-019-46099-7.
- Helmer, O. (1967). *Analysis of the Future: The Delphi Method*. Santa Monica: RAND Corporation. (P-3558). Tillgänglig: <https://www.rand.org/pubs/papers/P3558.html> [2020-02-05].
- Hendriks, M. R. (2010). *Introduction to Physical Hydrology*. Oxford: Oxford University Press.
- Heo, S. & Bell, M. L. (2019). The influence of green space on the short-term effects of particulate matter on hospitalization in the U.S. for 2000–2013. *Environmental Research*, vol. 174, ss. 61–68. doi: 10.1016/j.envres.2019.04.019.

- Kendall, M. G. & Babington Smith, B. (1939). The Problem of m Rankings. *The Annals of Mathematical Statistics*, vol. 10 (3), ss. 275–287. DOI: 10.1214/aoms/1177732186.
- Lampinen, A. (2020). *Skyfallskartering och åtgärdsanalys för Akademiska sjukhuset i Uppsala: Hydraulisk modellering i MIKE 21 och känslighetsanalys*. Uppsala Universitet. Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik (Examensarbete 20018, opublicerat vid redovisning av det här examensarbetet).
- Langemeyer, J., Wedgwood, D., McPhearson, T., Baró, F., Madsen, A. L. & Barton, D. N. (2020). Creating urban green infrastructure where it is needed: A spatial ecosystem service-based decision analysis of green roofs in Barcelona. *Science of The Total Environment*, vol. 707, ss. 135487. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135487.
- Lee, G., Jun, K. S. & Kang, M. (2019). Framework to prioritize watersheds for diffuse pollution management in the Republic of Korea: application of multi-criteria analysis using the Delphi method. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 19 (12), ss. 2767–2779. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-19-2767-2019>.
- Ligmann-Zielinska, A. & Jankowski, P. (2008). A Framework for Sensitivity Analysis in Spatial Multiple Criteria Evaluation. I: Cova, T. J., Miller, H. J., Beard, K., Frank, A. U., & Goodchild, M. F. (red.), *Geographic Information Science. 5th International Conference, GIScience 2008*. Park City, 23-26 September, 2008, USA. Berlin, Heidelberg: Springer, ss. 217–233. DOI: 10.1007/978-3-540-87473-7_14.
- Linköpings kommun (2019). *Fakta Dagvatten: Sammanställning av kunskapsläge och aktuell lagstiftning*. Linköping: Linköpings kommun. Tillgänglig: <https://www.linköping.se/contentassets/555dd7e0d0ad442e83c957cbe5af0f7d/fakta-dagvatten.pdf?4ad000> [2020-02-14].
- Markevych, I., Schoierer, J., Hartig, T., Chudnovsky, A., Hystad, P., Dzhambov, A. M., Vries, S. de, Triguero-Mas, M., Brauer, M., Nieuwenhuijsen, M. J., Lupp, G., Richardson, E. A., Astell-Burt, T., Dimitrova, D., Feng, X., Sadeh, M., Standl, M., Heinrich, J. & Fuertes, E. (2017). Exploring pathways linking greenspace to health: Theoretical and methodological guidance. *Environmental Research*, vol. 158, ss. 301–317. DOI: 10.1016/j.envres.2017.06.028.
- McCormick, R. (2017). Does Access to Green Space Impact the Mental Well-being of Children: A Systematic Review. *Journal of Pediatric Nursing*, vol. 37, ss. 3–7. DOI: 10.1016/j.pedn.2017.08.027.
- MSB (2013). *Resiliens : begreppets olika betydelser och användningsområden*. Karlstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). Tillgänglig: <https://rib.msb.se/filer/pdf/27199.pdf> [2020-05-06].
- MSB (2017). *Vägledning för skyfallskartering: tips för genoförande och exempel på användning*. Karlstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). Tillgänglig: <https://rib.msb.se/filer/pdf/28389.pdf> [2020-05-18].
- Naturvårdsverket (2017). *Analys av kunskapsläget för dagvattenproblematiken: Redovisning av regeringsuppdrag*. Stockholm: Naturvårdsverket. (NV-08972-16). Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/miljoarbete-i-sverige/regeringsuppdrag/2017/analys-kunskapslaget-dagvattenproblematiken.pdf> [2020-01-23].

- Naturvårdsverket (2019a). *Fakta om klimat*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/> [2020-02-28].
- Naturvårdsverket (2019b). *Effekter i Sverige*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Klimatet-i-framtiden/Effekter-i-Sverige/> [2020-02-28].
- Naturvårdsverket (2019c). *Vad är ekosystemtjänster?* Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Ekosystemtjanster/Vad-ar-ekosystemtjanster/> [2020-03-03].
- Naturvårdsverket (2020). *Biologisk mångfald*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Vaxter-och-djur/Biologisk-mangfald/> [2020-04-08].
- NE (u.å. a). Spillvatten. I: *Nationalencyklopedin (NE)*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/spillvatten> [2020-05-06].
- NE (u.å. b). Dränering. I: *Nationalencyklopedin (NE)*. Tillgänglig: <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/dr%C3%A4nering> [2020-05-06].
- NE (u.å. c). Avlopp. I: *Nationalencyklopedin (NE)*. Tillgänglig: <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/avlopp> [2020-05-06].
- NE (u.å. d). Recipient. I: *Nationalencyklopedin (NE)*. Tillgänglig: <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/recipient> [2020-04-08].
- NE (u.å. e). Biologisk mångfald. I: *Nationalencyklopedin (NE)*. Tillgänglig: <http://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/biologisk-m%C3%A5ngfald> [2020-04-11].
- Németh, B., Molnár, A., Bozóki, S., Wijaya, K., Inotai, A., Campbell, J. D. & Kaló, Z. (2019). Comparison of weighting methods used in multicriteria decision analysis frameworks in healthcare with focus on low- and middle-income countries. *Journal of Comparative Effectiveness Research*, vol. 8 (4), ss. 195–204. doi: 10.2217/cer-2018-0102.
- NFS 2016:6. *Naturvårdsverkets föreskrifter om rening och kontroll av utsläpp av avloppsvatten från tätbebyggelse*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Nyström, J. & Tonell, L. (2012). *Planeringens grunder: en översikt*. 3., [utök. och uppdaterade]. uppl. Lund: Studentlitteratur.
- Odu, G. (2019). Weighting methods for multi-criteria decision making technique. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, vol. 23, ss. 1449. doi: 10.4314/jasem.v23i8.7.
- Okoli, C. & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Information & Management*, vol. 42 (1), ss. 15–29. doi: 10.1016/j.im.2003.11.002.
- Peel, N. M., Kuys, S. S. & Klein, K. (2013). Gait Speed as a Measure in Geriatric Assessment in Clinical Settings: A Systematic Review. *The Journals of Gerontology: Series A*, vol. 68 (1), ss. 39–46. doi: 10.1093/gerona/gls174.

- Petterson Skog, A., Malmberg, J., Emilsson, T., Jägerhök, T. & Capener, C.-M. (2017). *Grönatakhåndboken*. Stockholm: Vinnova. Tillgänglig: <http://gronatakhåndboken.se/wp-content/uploads/2017/02/Gronatakhåndboken-Vaxtbadd-och-Vegetation.pdf> [2020-02-20].
- Prudencio, L. & Null, S. E. (2018). Stormwater management and ecosystem services: a review. *Environmental Research Letters*, vol. 13 (3), ss. 033002. DOI: 10.1088/1748-9326/aaa81a.
- Region Uppsala (2015). *Fastighetsutvecklingsplan för Akademiska sjukhuset: Övergripande utvecklingsplan av sjukhusområdet*. Uppsala: Region Uppsala (fd. Landstinget i Uppsala Län). (Utgåva 1 2015-06). Tillgänglig: http://www.lul.se/Global/Landsting_politik/Politik/LS/LS%20150601/Fastighetsutvecklingsprogram%20Akademiska%20UTKAST%203.pdf [2020-01-27].
- Region Uppsala (2020). *Årsredovisning och korta fakta*. Tillgänglig: <https://www.akademiska.se/om-oss/om-akademiska-sjukhuset/arsredovisning-kvalitetsboks-lut-och-korta-fakta/> [2020-05-05].
- Region Uppsala (u.å.). *Historik*. Tillgänglig: <https://www.akademiska.se/om-oss/om-akademiska-sjukhuset/historik/> [2020-05-05].
- Roberts, R. & Goodwin, P. (2002). Weight approximations in multi-attribute decision models. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, vol. 11 (6), ss. 291–303. DOI: 10.1002/mcda.320.
- Rodhe, A. (1997). Vattnet i skogen. I: Angelstam, P., *Marken i skogslandskapet*. Jönköping: Skogsstyrelsen, ss. 81–103.
- Rodhe, A. (2000). The hydrological cycle and the energy balance. I: Lundin, L.-C. (red.), *The waterscape*. Uppsala: The Baltic University programme, Uppsala universitet, ss. 59–67. Tillgänglig: <http://www2.balticuniv.uu.se/bup-3/textbooks-course-materials/bup-course-materials/sustainable-water-management/1-water-in-nature> [2020-05-19].
- Rojas-Rueda, D., Nieuwenhuijsen, M. J., Gascon, M., Perez-Leon, D. & Mudu, P. (2019). Green spaces and mortality: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *The Lancet Planetary Health*, vol. 3 (11), ss. e469–e477. DOI: 10.1016/S2542-5196(19)30215-3.
- Rosén, L., Back, P.-E., Söderqvist, T., Soutukorva, Å., Brodd, P. & Grahn, L. (2009). *Multikriterieanalys (MKA) för hållbar efterbehandling av förorenade områden metodutveckling och exempel på tillämpning*. Stockholm: Naturvårdsverket. (5891). Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5891-3.pdf> [2020-02-04].
- Sandström, I. (2016). *Multikriterieanalys: Verktyg vid bedömning av framtida dricksvattenförsörjning*. Luleå tekniska universitet. Civilingenjörsprogrammet i naturresursteknik (Examensarbete). Tillgänglig: <http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1040002/FULLTEXT02.pdf> [2020-01-20].

- Schmidt, R. C. (1997). Managing Delphi Surveys Using Nonparametric Statistical Techniques. *Decision Sciences*, vol. 28 (3), ss. 763–774. doi: 10.1111/j.1540-5915.1997.tb01330.x.
- SFS 1998:808. *Miljöbalken*. Stockholm: Miljö- och energidepartementet.
- SFS 2006:412. *Vattentjänstlagen*. Stockholm: Miljö- och energidepartementet.
- SMHI (2014). *Temperatur*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/temperatur-1.3843> [2020-03-18].
- SMHI (2019). *Klimatindikator: globalstrålning*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/stralning-1.17841> [2020-03-18].
- Stockholm stad (2017). *Växtbäddar i Stockholms: en handbok 2017*. Stockholm: Stockholm stad. Tillgänglig: https://leverantor.stockholm/globalassets/parker-och-natur/vaxter-och-djur/stockholms-trad/vaxtbaddar/vaxtbaddshandboken/vaxtbaddar_i_stockholm_2017.pdf [2020-01-30].
- Stockholm vatten (u.å. a). *Översiktlig anläggningsjämförelse*. Stockholm: Stockholm vatten och avfall (Stockholm Vatten). Tillgänglig: http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/illrening_hela_5.pdf [2020-02-14].
- Stockholm vatten (u.å. b). *Vegetationsklädda tak*. Stockholm: Stockholm vatten. Tillgänglig: http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/vegtak_h2.pdf [2020-02-14].
- Stockholm vatten (u.å. c). *Skelettjord*. Stockholm: Stockholm vatten. Tillgänglig: https://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/skelett_h.pdf [2020-02-07].
- Stockholm vatten (u.å. d). *Nedsänkt växtbädd*. Stockholm: Stockholm vatten. Tillgänglig: <https://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/nvb.pdf> [2020-03-19].
- Stull, R. (2015). *Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science*. Vancouver: University of British Columbia.
- Ulrich, R. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, vol. 224 (4647), ss. 420–421. doi: 10.1126/science.6143402.
- Uppsala kommun (2013). *Parkplan för Uppsala stad*. Uppsala: Uppsala kommun. Tillgänglig: <https://www.upsala.se/contentassets/90c7a95169c148beb968ff453852f59d/parkplan-bakgrund-tillgangsanalys-plan-parkutveckling.pdf> [2020-03-06].
- Uppsala kommun (2019). *Delrapport 2: Lokaliseringsutredning*. Uppsala: Uppsala kommun. (Uppsalas framtida avloppsförsörjning – system och lokalisering KSN-2017-3648). Tillgänglig: <https://www.upsala.se/contentassets/13cb8885ca51464f83bdc06c90942091/5.-uppsalas-framtida-avloppsforsorjning---system-och-lokalisering.pdf> [2020-01-20].
- Uppsala Vatten (2018). *Vattenskyddsområde Uppsala- och Vattholmaåsarna*. [Kartografisk material]. 1:100 000. Uppsala: Uppsala Vatten, Länsstyrelsen Uppsala län. Tillgänglig: <https://www.upsalavatten.se/globalassets/dokument/om-oss/verksam>

- het - och - drift/vattenskyddsomraden/vattenskyddsomrade_uppsala_vattholma.pdf [2020-04-11].
- Uppsala Vatten (u.å. a). *Uppsala Vatten och Avfall AB*. Tillgänglig: <https://www.uppsalavatten.se/om-oss/foretaget/> [2020-04-07].
- Uppsala Vatten (u.å. b). *Handbok för dagvattenhantering i Uppsala kommun*. Uppsala: Uppsala Vatten. Tillgänglig: https://www.uppsalavatten.se/globalassets/dokument/om-oss/verksamhet-och-drift/uv_dagvattenhandbok-2016.pdf [2020-01-20].
- Wallberg, S., Grönvall, O., Johansson, R., Hermansson, M., Linderholm, L., Nilsson, A., Söderström, L., Öberg, G. & Niska, A. (2010). *GCM-handbok: utformning, drift och underhåll med gång-, cykel- och mopedtrafik i fokus*. Stockholm/Borlänge: Sveriges kommuner och landsting, Trafikverket. Tillgänglig: https://www.trafikverket.se/contentassets/2f3d3b73236441d9a0ba74559875d95f/gcm_handbok.pdf [2020-05-19].
- van den Berg, R. G. (u.å.). *SPSS: Kendall's Concordance Coefficient W*. Tillgänglig: <http://www.spss-tutorials.com/spss-kendalls-concordance-coefficient-w/> [2020-02-25].
- Van Renterghem, T., Forssén, J., Attenborough, K., Jean, P., Defrance, J., Hornikx, M. & Kang, J. (2015). Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors. *Applied Acoustics*, vol. 92, ss. 86–101. doi: 10.1016/j.apacoust.2015.01.004.
- Weerasuriya, R., Henderson-Wilson, C. & Townsend, M. (2019). Accessing Green Spaces Within a Healthcare Setting: A Mixed Studies Review of Barriers and Facilitators. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, vol. 12 (3), ss. 119–140. doi: 10.1177/1937586718810859.
- Venter, Z. S., Krog, N. H. & Barton, D. N. (2020). Linking green infrastructure to urban heat and human health risk mitigation in Oslo, Norway. *Science of The Total Environment*, vol. 709, ss. 136193. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136193.
- von Scherling, M., Svensson, G. & Sörelius, H. (2020). *Simulerade effekter av trög avvattning*. Bromma: Svenskt vatten. (2020-1). Tillgänglig: <https://www.svensktvatten.se/contentassets/f7e1e0ebd6fa419ea07aa4ab7f96386e/s-rapp20201.pdf> [2020-03-26].
- Zölch, T., Maderspacher, J., Wamsler, C. & Pauleit, S. (2016). Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 20, ss. 305–316. doi: 10.1016/j.ufug.2016.09.011.

APPENDIX

A APPENDIX A: SKRIFTLIG INFORMATION SAMT SAMTYCKESBLANKETTER

Dokumentet *Information_multikriterieanalys*:

Dokumentet *Information_multikriterieanalys*: Information om medverkan i examensarbetet "Multikriterieanalys för lokalisering av multifunktionella dagvattenytor i sjukhusmiljö"

Syftet med examensarbetet är att utifrån ett antal kriterier hitta platser lämpliga för placering av dagvattenåtgärder i en sjukhusmiljö, där Akademiska sjukhuset kommer användas som en fallstudie. Metoden som används heter multikriterieanalys.

En multikriterieanalys kan användas som beslutsunderlag för att underlätta ett val mellan olika alternativ. Alla alternativen undersöks ur olika synvinklar genom att använda olika kriterierna. Kriterierna poängsätts utifrån hur stor påverkan de har för alternativet i fråga. Slutligen summeras poängen för samtliga kriterier. Det/de alternativ med högst poängsumma diskuteras av en expertgrupp. Baserat på expertgruppens bedömning kan ett beslut tas om vilket alternativ som ska användas.

Exempel: Val av ny TV. Kriterierna pris och storlek användas för att välja mellan tre olika alternativ (tre olika TV-apparater). En enhetlig poängskala används. Det anses positivt att TVn är billig. Den billigaste TVn får 3 poäng, medan den dyraste TVn får 1 poäng. Motsvarande för storlek, stor TV anses positivt. Den största TVn får 3 poäng, den minsta 1 poäng. Slutligen summeras kriteriernas poäng enskilt för varje TV.

När de olika kriterierna anses vara olika viktiga används vikter. Innan poängen summeras gångras varje poäng med vikten för det kriteriet. För att kunna bestämma vikternas storlek behöver kriterierna rangordnas. Rangordningen bestäms med hjälp av en expertgrupp (under en workshop) enligt Delphimetoden.

Delphimetoden utförs enligt följande: Ledaren för workshopen informerar deltagarna om de olika kriterierna. Varje deltagare rangordnar kriterierna enskilt. Ledaren för workshopen sammanställer gruppens resultat och presenterar det (gruppens medelrangordning samt ett statistiskt test som visar hur samstämmig gruppen är). Varje enskild deltagare rangordnar kriterierna igen, följt av en ny presentation av gruppens resultat. Detta upprepas tills dess det statistiska testet visar att gruppen är tillräckligt överens alternativt tills dess den avsatta tiden för workshop tar slut. Om tid finns under workshopen kommer även Delphimetoden användas för att utföra en poängallokering (där 100 poäng fördelas över de olika kriterierna).

Sammanfattningsvis utförs examensarbetet i följande steg:

1. **Syftet bestäms:** Hitta lämpliga platser för placering av dagvattenåtgärder i en sjukhusmiljö.
2. **Alternativen bestäms:** Detta är alla möjliga platser på Akademiska sjukhuset (men vissa platser utesluts i samråd med Region Uppsala).
3. **Kriterierna bestäms:** Genom en litteraturstudie och samtal med ämneskunniga inom dagvatten samt med verksamma hos Region Uppsala.
4. **Rangordning av kriterierna:** Bestäms genom en workshop bestående av ämneskunniga inom dagvatten samt verksamma hos Region Uppsala.
5. **Vikterna bestäms:** Detta sker utifrån rangordningen och ev. också genom poängallokering under workshopen.
6. **Poängen från de olika kriterierna summeras.**
7. **Expertbedömning av alternativen med högst poäng:** Kommer inte utföras inom ramen för det här examensarbetet.

Vid frågor kontakta:

Maria Helin, examensarbetare – mail: xxxxxx

Kristina Wilén, handledare – mail: xxxxxx

Dokumentet *Samtycke_samtal*:

Samtyckesblankett: Samtal om dagvatten i sjukhusmiljö

Maria Helin utför ett examensarbete i samarbete med Region Uppsala och WSP. Syftet med examensarbetet är att utveckla en metod för att hitta lämpliga platser för omhändertagande av dagvatten i sjukhusmiljö. Tanken är att platserna ska väljas så att en dagvattenåtgärd kan ge upphov till flera positiva effekter i form av ekosystemtjänster och klimatanpassning på platsen. För att utveckla metoden är input genom samtal med yrkesverksamma (inom olika områden som kommer i kontakt med dagvatten på olika sätt, både i planering, utformning och underhåll av en dagvattenåtgärd) värdefullt.

Examensarbetet går ut på att utifrån olika kriterier ge förslag på lämpliga platser för dagvattenåtgärder, där Akademiska sjukhuset kommer användas som fallstudie. En översiktligt beskrivning av projektets metod finns i dokumentet *Information_multikriterieanalys*.

Ditt bidrag till examensarbetet är att under ett möte med mig beskriva vilka aspekter du (utifrån din yrkesroll och -erfarenhet) tycker är viktiga vid beslut om plats för en dagvattenåtgärd i sjukhusmiljö. Ditt bidrag kommer användas av mig för att besluta vilka kriterier som ska inkluderas i min analys. Under vårt möte kommer jag anteckna (ditt namn, yrkestitel, verksamhetsområde, arbetsgivare samt vad som sägs vid mötet) på min privata dator, där anteckningarna kommer sparas under examensarbets gång. När examensarbete är slutfört kommer anteckningarna raderas.

Examensarbetet kommer resultera i en rapport, som kommer publiceras tillgängligt för allmänheten i databasen DiVA (Digitala Vetenskapliga Arkivet). I rapporten kommer du inte nämnas vid namn, däremot kommer ditt deltagande omnämnas med yrkesroll, det område du är verksam inom och din arbetsgivares namn nämnas. Det skulle ungefär kunna se ut så här:

”Valet av kriterier baserades på en litteraturstudie samt samtal med yrkesverksamma inom landskapsarkitektur, dagvatten eller anställda på Region Uppsala inom drift, markanvändning, beredskap och säkerhet, dagvatten samt miljö.”

En sammanställning av de kriterier som litteraturstudien och mötena med ämneskunniga resulterade i kommer också finnas med i rapporten. Den påskrivna samtyckesblanketten kommer sparas av studenten, även efter att examensarbetet avslutats. En inskannad kopia av samtyckesblanketten kommer lämnas till examensarbetarens handledare på Uppsala universitet.

Notera att deltagandet är helt frivilligt och att du när som helst kan avbryta din medverkan utan att uppge något skäl.

Jag samtycker till att delta och godtar att jag kommer omnämnas i rapporten med yrkesroll, verksamhetsområde och/eller namn på arbetsgivare?

Underskrift

Ort och datum

Namnförtydligande

Har du några frågor så når du examensarbetaren på: xxxxxx

Dokumentet *Samtycke_workshop*:

Samtyckesblankett: Workshop

Maria Helin utför ett examensarbete i samarbete med Region Uppsala och WSP. Syftet med examensarbetet är att utveckla en metod för att hitta lämpliga platser för omhändertagande av dagvatten i sjukhusmiljö. Tanken är att platserna ska väljas så att en dagvattenåtgärd kan ge upphov till flera positiva effekter i form av ekosystemtjänster och klimatanpassning på platsen. För att utveckla metoden är input genom en workshop med yrkesverksamma (inom olika områden som kommer i kontakt med dagvatten på olika sätt, både i planering, utformning och underhåll av en dagvattenåtgärd) värdefullt. En översiktligt beskrivning av projektet finns i dokumentet *Information_multikriterieanalys*.

Ditt bidrag till examensarbetet är att, under en workshop med deltagare från Region Uppsala och WSP, enskilt rangordna analysens kriterier. Examensarbetaren kommer sedan sammanställa resultatet och presentera det för gruppen (gruppens medelrangordning samt ett statistiskt test som visar hur samstämmig gruppen är). Proceduren upprepas tills dess gruppen är tillräckligt samstämmig eller tills dess den avsatta tiden för workshopen är slut. Rangordningen kommer ske på papper, resultatet sammanställs på studentens privata dator och sparas under den tid examensarbetet pågår. När projektet slutförts raderas deltagarnas enskilda svar, däremot kommer sammanställningen av gruppens resultat samt resultatet av det statistiska testet för varje runda sparas även efter examensarbetets slut. Om tid finns kommer även en poängallokering utföras (100 poäng fördelas ut på de olika kriterierna) på liknande sätt. Examensarbetet kommer resultera i en rapport, som kommer publiceras tillgängligt för allmänheten i databasen DiVA (Digitala Vetenskapliga Arkivet). I rapporten kommer du inte nämnas vid namn, däremot kommer ditt deltagande omnämnas med yrkesroll, det område du är verksam inom och din arbetsgivares namn. Det skulle kunna se ut ungefär så här:

"I workshopen deltog personer anställda på WSP eller Region Uppsala. Gruppen utgjordes av yrkesverksamma inom följande områden: landskapsarkitektur, dagvatten, drift, markanvändning/gator, energi, miljö och kvalitet, chefer eller enhetschefer, beredskap och säkerhet. En till två personer representerade varje område (vissa personer representerade flera områden)."

Workshopgruppen kan även komma att beskrivas med en figur som visar vilka undergrupper workshopgruppen består av samt antalet personer i varje undergrupp. Vilka personer som placerats i flera undergrupper samt vilka undergrupper som har representanter från WSP respektive Region Uppsala skulle kunna anges med fotnot. Gruppens sammanställda resultat samt resultatet av det statistiska testet kommer också redovisas för varje runda i Delphimetoden. Den påskrivna samtyckesblanketten kommer sparas av studenten, även efter att examensarbetet avslutats. En inskannad kopia av samtyckesblanketten kommer lämnas till examensarbetarens handledare på Uppsala universitet.

Notera att deltagandet är helt frivilligt och att du när som helst kan avbryta din medverkan utan att uppge något skäl.

Jag samtycker till att delta och godtar att jag kommer omnämnas i rapporten med yrkesroll, verksamhetsområde och/eller namn på arbetsgivare?

Underskrift

Ort och datum

Namnförtydligande

Har du några frågor så när du examensarbetaren på: xxxxxx

B APPENDIX B: HÖJDDATAFILER

Baserat på laserdata från Lantmäteriet skapades höjddatafiler enligt följande.

- En höjddatafil för marknivå ($\text{höjddata}_{\text{mark}}$) skapades i ArcMap genom att filtrera ut de laserpunkter som representerar marknivå. En lasdatabas skapades av Lantmäteriets laserdata, vilket användes som indata för att skapa filen $\text{höjddata}_{\text{mark}}$. Verktöget som användes var laserdataset till raster, där linjär interpolering och cellstorlek 1 meter valdes.
- På motsvarande sätt skapades en höjddatafil baserat på laserpunkter som representerar byggnader och träd ($\text{höjddata}_{\text{hus}}$). För att skapa en höjddatafil som beskriver mark och byggnaders höjd användes Lantmäteriets fastighetskarta (bebyggelse) för att klippa ut byggnaderna från $\text{höjddata}_{\text{hus}}$ (med verktöget extrahera med mask (eng. extract by mask)), för att sedan addera dom till $\text{höjddata}_{\text{mark}}$ (med verktöget mosaik till raster (eng. mosaic to raster)). Den resulterande höjddatafilen kallades $\text{höjddata}_{\text{Akademiska}}$, vilken inkluderade Akademiska sjukhusets område samt närliggande byggnader och vägar.
- Vissa nybyggda byggnader inom Akademiska sjukhusets område fanns inte representerade i $\text{höjddata}_{\text{hus}}$. Dessa lades in manuellt genom att rasterlager skapades (byggnadernas form baserades på fastighetskarta (bebyggelse), byggnadernas höjd baserades på uppgift från Region Uppsala), vilket sedan adderades till $\text{höjddata}_{\text{Akademiska}}$ (med verktöget mosaik till raster).
- En större höjddatafil ($\text{höjddata}_{\text{avrinning}}$) skapades även utifrån filen $\text{höjddata}_{\text{mark}}$, genom att addera byggnaderna i Lantmäteriets fastighetskarta (bebyggelse) till $\text{höjddata}_{\text{mark}}$. Ett rasterlager skapades (där alla byggnader tilldelades en påhittade höjd på 10 meter), vilket adderades till $\text{höjddata}_{\text{mark}}$ med verktöget mosaik till raster.

C APPENDIX C: R-SKRIPT

****Kommentar:** Workshopgruppens resultat samlades in med ett googleformulär och laddades ner i form av en excelfil. Excelfilen innehöll 8 rader (en för varje medlem i workshopgruppen samt en rubrikrad). För den första rangordningsrundan innehöll excelfilen 20 kolumner (kolumn 1=tidsstämpel, kolumn 2=identifiering av gruppmedlem, kolumn 3-15: kriterierna, kolumn 16-20: motiveringar (fritext)). För den andra rangordningsrundan innehöll excelfilen 15 kolumner (kolumn 1=tidsstämpel, kolumn 2=identifiering av gruppmedlem, kolumn 3-15: kriterierna). Innan resultatet från workshopen importerades till Rstudio konverterades excelfilen till .csv-format.*

R-skript för beräkning av medelrangordning samt Kendalls W

```
# Set working directory
setwd("~/R/workshop")

# # ----- Install and load libraries -----
install.packages("lpSolve")
install.packages("irr")
install.packages("data.table")
library(lpSolve)
library(irr)
library(data.table)

# ----- Import data from workshop -----
# Importing the excel file (converted to .csv),
# see comment above*
Data=read.csv(
  "data.csv",
  header=TRUE,
  sep=";",
  dec=".")

# Create a matrix containing rankings from the seven members
# of the workshop group, see comment above*
Ranks = rbind(
  + Data[1,3:15],
  + Data[2,3:15],
  + Data[3,3:15],
  + Data[4,3:15],
  + Data[5,3:15],
  + Data[6,3:15],
  + Data[7,3:15]
)

# Transpose Ranks to get a n*m matrix
# (n criteria (rows), m members (columns)),
# to use in kendall function
tRanks = t(Ranks)
```

```

# ----- Visual check -----
# Make sure the matrix looks correct
show(Ranks)
show(tRanks)

# Make sure the sum of each member's votes is correct,
# it should be ninety one (for n=thirteen criteria)
Sums = c(
    sum(tRanks[,1]),
    sum(tRanks[,2]),
    sum(tRanks[,3]),
    sum(tRanks[,4]),
    sum(tRanks[,5]),
    sum(tRanks[,6]),
    sum(tRanks[,7])
)

show(Sums)

# ----- Calculation of Kendall's W -----
# correcting for ties by setting correct = TRUE
show(kendall(tRanks, correct = TRUE))

# ----- Calculation of the mean ranks -----
mean_ranks=c(
    mean(tRanks[1,]),
    mean(tRanks[2,]),
    mean(tRanks[3,]),
    mean(tRanks[4,]),
    mean(tRanks[5,]),
    mean(tRanks[6,]),
    mean(tRanks[7,]),
    mean(tRanks[8,]),
    mean(tRanks[9,]),
    mean(tRanks[10,]),
    mean(tRanks[11,]),
    mean(tRanks[12,]),
    mean(tRanks[13,])
)

# Visual check
show(mean_ranks)

# The names of the criteria
rank_names = c(
    'Temperatur', 'Parkeringar', 'Rening', 'Konstforemal',
    'Marklutning', 'Utvandiga_stupror', 'Nabarhet',
    'Skyfall', 'Planerad_ombyggnation', 'Kylbehov',
    'Synlighet', 'Viktiga_entreer', 'Entreskydd')

```

```
# Creating datatable consisting of the names of the criteria
# and their corresponding mean rank
rank_table = data.table(cbind(mean_ranks,rank_namnes))

# Convert the mean ranks to numbers
rank_table$mean_ranks <- as.numeric(
  as.character(rank_table$mean_ranks))

# Show the rank_table ordered with respect to the mean ranks
show(rank_table[order(rank_table[,1])])
```