

Undersøgelse af digitale værktøjer hos arkitekttegnestuer til beregning og screening af regnvand i den tidlige designfase

00 Formål

Formålet med dette VIS innovationsprojekt er, at redegøre for brugen af digitale værktøjer til dannelse af et informeret grundlag for designbeslutninger hos arkitekttegnestuer i den tidlige designfase i henhold til lokal håndtering af regnvand. Dette ved at udvælge specifikke værktøjer, afprøve dem i projekter fra Tegnestuen Vandkunsten og konkludere hvordan værktøjerne kan hjælpe i arbejdet.

De værktøjer som undersøges er SCALGO Live (herefter kaldet SCALGO), Spildevandskomiteens LAR-dimensioneringsregneark (herefter kaldet LAR-Dimensionering) og LAR-Potentiale, som er et nyt værktøj under udvikling af DTU Miljø. Værktøjerne afprøves i diverse aktuelle projekter hos Vandkunsten, hvor det derefter afgøres hvorvidt værktøjerne gav resultater som kunne bruges i processen og involvere klimatilpasning i designfasen.

Løbende kortlægges desuden behovet hos tegnestuen, hvilket gøres gennem dialog og udleverede spørgeskemaer. Tesen er, at det ønskes at opnå et designvenligt værktøj til dimensionering af specifikke tilbageholdelsesvolumener og overfladestrømninger på baggrund af en specifik designhændelse, eksempelvis med en gentagelsesperiode på 5 eller 10 år, som er designkriteriet i mange spildevandsplaner. Det optimale værktøj vil kunne inddrage både det grafiske element, kartografiske element og beregninger af bassinvolumener og nedsivning.

Indhold

00 Formål.....	1
01 Baggrund.....	3
01.01 Redegørelse for eksisterende værktøjer	3
01.02 3 Points Approach.....	7
02 Metode	8
03 Behovsanalyse	9
03.01 Spørgeskemaer	9
03.02 Læring gennem samarbejder	11
04 Afprøvede værktøjer.....	12
04.01 SCALGO Live.....	12
04.02 Spildevandskomiteens LAR-dimensioneringsark	15
04.03 LAR-Potentiale	16
05 Casestudier	18
05.01 Trekroner	19
05.02 Havdrup	21
05.03 Bank-Mikkelsens Vej.....	23
05.04 Lisbjerg Bakke	25
05.05 Hvidovre Bymidte	27
05.06 Amager Fælled Kvarter	28
05.07 Boliger ved bækken	31
05.08 Tage-Hansens Gade	35
05.09 Delkonklusion på casestudier	36
06 Fremtidig udvikling	38
06.01 Korrektioner i SCALGO.....	38
06.02 SCALGO i kombination med andre værktøjer.....	42
06.03 Udvikling af nyt værktøj.....	42
07 Konklusion	45
08 Liste over bilag.....	46
09 Referencer	47

01 Baggrund

I det følgende forklares overordnet baggrund for undersøgelserne. Først forklares palletten af eksisterende værktøjer, med baggrund i [1] og derefter den overordnede teori i 3 Points Approach.

01.01 Redegørelse for eksisterende værktøjer

I en omfattende gennemgang af eksisterende værktøjer til beregninger af regnvandshåndtering fremhæver [1] en bred vifte af værktøjer til forskelligartede beregninger og analyser af nedbør i områder af forskellig skala. Værktøjerne er i artiklen kategoriseret i tre forskellige grupper for hvilke spørgsmål værktøjerne besvarer.

1. **"Hvor meget"-værktøjer**

Værktøjer, som skal redegøre for hvor meget vand der håndteres/skal håndteres i et givent projekt.

Værktøjernes output skal kvantificere hydrauliske¹ effekter, hydrologiske² effekter, vandkvalitet, ikke-flow-relaterede effekter og økonomiske effekter.

2. **"Hvorhenne"-værktøjer**

Værktøjer, som kan medvirke til bestemmelse af hvor LAR-løsninger kan placeres.

3. **"Hvilke"-værktøjer**

Værktøjer, som skal hjælpe med at give et overblik over og støtte beslutningsprocessen for hvilke LAR-løsninger som skal udvælges til det specifikke projekt.

I studiet er 24 forskellige værktøjer gennemgået. De er inddelt i kategorier efter de tre ovenstående spørgsmål og kan ses i Tabel 1. Værktøjer som beskriver vandkvalitet alene, bredere spørgsmål angående integreret urban water management og procesunderbyggende værktøjer er i studiet ikke beskrevet, og er i dette notat heller ikke gennemgået, da dette ikke er direkte relevant fra landskabsarkitekten og arkitektens synspunkt.

Spørgsmål som af arkitekter typisk ønskes besvaret, er hvilke løsninger som skal placeres hvor og hvor meget vand de kan håndtere. Det er derfor en kombination af vandmængder, placering og løsningstype som ønskes besvaret. Der er derfor skabt interesse for værktøjer markeret med rød i Tabel 1. Kategoriseringen af værktøjerne viser dog ikke den totale dybde af de enkelte værktøjer og efter en kort undersøgelse af MUSIC og SUSTAIN var det klart at disse to værktøjer ikke imødekom behovet hos arkitekter og landskabsarkitekter. Generelt virker det til at de fleste værktøjer enten er udviklet til ingeniører, som vil have eksakte beregninger, eller planlæggere, som planlægger på et meget mere overordnet plan end arkitekter og landskabsarkitekter. En anden observation var, at nogle af de nævnte værktøjer var udviklet til andre geografiske lokationer end Danmark og Nordeuropa, hvor andre ønsker og forhold gør sig gældende.

¹ Hydraulik: Emne i anvendt videnskab og ingeniørvidenskab, omhandlende mekaniske egenskaber ved væske (<https://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulics>). I relation til værktøjerne leverer disse resultater viden om vandets bevægelse i kloakrør og på overfladen.

² Hydrologi: Videnskabeligt studie af bevægelse, fordeling og kvalitet af vand på Jorden og andre planeter, inklusiv det hydrologiske kredsløb, vandressourcer og miljømæssig bæredygtighed af vandoplade (<https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrology>). I relation til værktøjerne leverer disse resultater viden om vandets strømning gennem det totale urbane vandkredsløb, inklusiv grundvand og atmosfære.

Tabel 1: Gennemgåede værktøjer og hvilke spørgsmål de besvarer. Værktøjerne er grupperet, således at de værktøjer der besvarer de samme spørgsmål er i samme gruppe, indikeret ved de horisontale linjer.

Værktøj	Hvor meget?			Vand-kvalitet	Ikke-flow-relaterede effekter	Økono-miske effekter	Hvor? Hvor kan LAR-løsninger placeres	Hvilke? Hvilke LAR-elementer er bedst?
	Vandmængder							
	Hydraulisk	Hydrologisk						
SWMM	X	X						
MIKE URBAN								
MUSIC	X	X	X			X		
Modflow IDD		X						
LCA								
Carbon Footprint								
Stakeholder preferences						X		
Thorough Ecosystem								
Rapid Ecosystem								
Flext (DayWater)							X	
SWMPT								
BMP MCA								
BMP DSM								
Project choice								X
MCA/Cost								
SWITCH BMP DSS							X	X
SUDS potential								
SUSTAIN	X		X			X	X	X
UHRU								
LIDRA	X					X		X
STEPL								
MCA&CBA	X		X		X	X		X
Flood Risk CBA	X				X	X		X
SUDSLOC	X						X	X

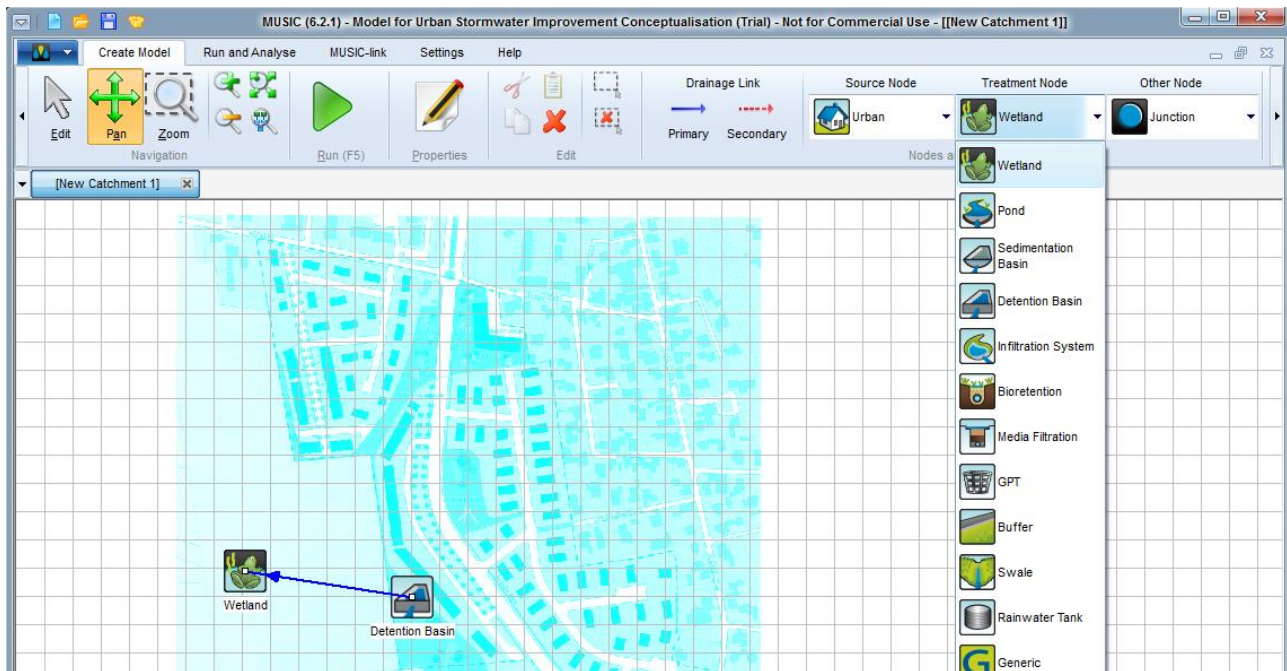
MUSIC

MUSIC er udviklet af eWater og bruges primært i Australien, hvor det i nogle stater er et obligatorisk arbejdsværktøj [2]. Det er et værktøj som kan sammenlignes med de detaljerede modelleringsværktøjer, SWMM og MIKE URBAN, men mere specifikt henvendt til implementeringen af WSUD-elementer³. En fordel ved værktøjet er dets evne til at håndtere forskellig skala – fra matrikel til regional skala (1 ha til 100 km²). Til gengæld er der formentlig nogle geografiske begrænsninger, da værktøjet er udviklet til australsk kontekst, hvor både miljø, bebyggelse og behov er anerkendte end i Danmark.

På eWater's hjemmeside kan en 21 dages prøveperiode hentes. Efter en hurtig undersøgelse af værktøjet i trial-versionen blev det konkluderet at 1) alle data-sæt var udviklet for australsk kontekst, 2) trial-versionen er meget begrænset, 3) det kartografiske element er kun baseret på billeder og 4) indtastninger af WSUD-elementer kræver stor teknisk indsigt. Værktøjet kan koble forskellige typer af WSUD-elementer i et netværk, hvilket har potentiale, men det mangler umiddelbart både stedsspecifikke egenskaber og brugervenlighed for at blive relevant for arkitekter. Et skærmbillede af arbejdsplatformen og de mulige WSUD-elementer kan ses i Figur 1.

Mere information: <http://ewater.org.au/products/music/>

³ WSUD = Water Sensitive Urban Design: Den australske pendant til det danske LAR (Lokal Afledning af Regnvand)



Figur 1: Udsnit af overfladisk undersøgelse af det australske værktøj MUSIC.

SUSTAIN

SUSTAIN (System for Urban Stormwater Treatment and Analysis Integration) er et ArcGIS-baseret værktøj udviklet til implementering af Best Management Practice (BMP) elementer. BMP er stærkt sammenligneligt med LAR, SUDS og WSUD. Dog er vandkvalitet og bidraget til grundvandet i særlig fokus. BMP er udviklet og primært brugt i Nordamerika [3].

Værktøjet er udviklet til *“developing and implementing plans for flow and pollution control measures to protect source waters and meet water quality goals”*⁴, hvilket er stærkt foreneligt med konceptet for BMP. Et spørgsmål som værktøjet blandt andet besvarer, er: Hvor, hvilken og hvor store skal BMPs være? Dette er netop hvad ønskes besvaret i dette projekt, og dette værktøj kunne derfor have stort potentiale for tegnestuer. Ifølge S. Lerer et al. 2015 inkluderer værktøjet:

1. En "framework manager" udviklet i ESRI's ArcGIS, hvorfra elementer i programmet kan styres.
2. Et værktøj til at identificere egnede placeringer for BMP-elementer (baseret på ESRI's Spatial Analyst).
3. Et afstrømnings- og forureningsgenererende modul og vandtransportmodul fra SWMM5.
4. Et modul til at beregne flow- og forureningstransport i BMPs.
5. Et økonomisk modul til beregning af priser for implementerede BMPs.
6. Et optimeringsmodul til identifikation af de mest omkostningseffektive BMP-strategier, baseret på selvvalgte evalueringskriterier.

Efter et kort indblik i værktøjet viste det stort potentiale, men var generelt alt for omfattende til den indledende skitseringsfase. Desuden er værktøjet både baseret på ArcGIS og SWMM5, og ville derfor kræve tilgang og indsigt i disse programmer, hvilket ikke er ønsket.

Mere information: <https://www.youtube.com/watch?v=cNSXiMSM9vM>

Andre værktøjer

Af andre af de nævnte værktøjer som var fundet interessante var især SUDSLOC, som tilbyder et mere simpelt og brugervenligt alternativ til de komplicerede modelleringsværktøjer MIKE og SWMM [5]. SUDSLOC blev udviklet af Christophe Viavattene fra Middlesex University i London fra 2006-2009. Det var desværre ikke muligt at finde værktøjet til download. At dømme på Tabel 1 ville følgende værktøjer også være interessante at undersøge: Flex

⁴ <https://www.epa.gov/water-research/system-urban-stormwater-treatment-and-analysis-integration-sustain>

(DayWater), SWMPT, SWITCH BMP DSS, SUDS Potential, UHRU og muligvis også LIDRA, STEPL, MCA & CBA og Flood Risk CBA. Kilder på værktøjerne er angivet i [1].

I dette projekt blev yderligere værktøjer fundet og undersøgt. Alle tre værktøjer er kategoriseret i Tabel 2. Begge værktøjer er undersøgt mere detaljeret i dette projekt, og de er derfor forklaret i "04 Afprøvede værktøjer".

Tabel 2: Yderligere værktøjer, som er blevet fundet gennem dette projekt. Kategoriseringen fra Tabel 1 er bibeholdt for sammenlignelighed.

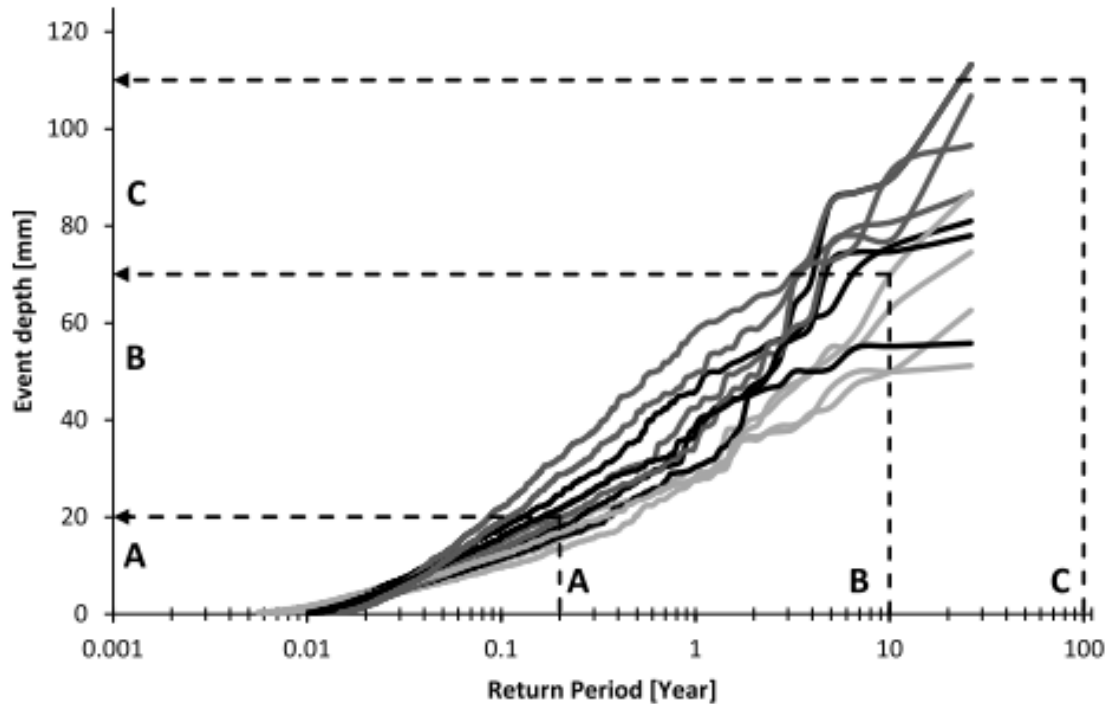
Værktøj	Hvor meget?				Hvor? Hvor kan LAR- løsninger placeres	Hvilke? Hvilke LAR- elementer er bedst?
	Vandmængder		Vand- kvalitet	Ikke-flow- relaterede effekter		
	Hydraulisk	Hydrologisk				
SCALGO Live	X				X	
LCA-Potentiale	X					X
Spildevands-komiteens dimensioneringsark	X					X

01.02 3 Points Approach

For bedre formidling og forståelse af forskelligheden i regnhændelser er *3 Points Approach* (3PA) udviklet [6]. Teorien er omdefinert af Sørup et al. [7] og data for dansk kontekst er påført. Teorien definerer tre domæner til kategorisering af intensiteten af regnhændelser:

- A) *Hverdagsregn*. Dette domæne indeholder 75 % af årsnedbøren, og LAR-elementer designet til dette domæne vil derfor kunne håndtere en stor del af den totale regnmængde. Til gengæld er regnen begrænset til en gentagelsesperiode på 0,2 år og en nedbørsmængde på 20 mm.
- B) *Dimensioneringsregn*. Dette domæne indeholder 24 % af årsnedbøren (sammen med A udgør dette 99% af årsnedbøren), og LAR-elementer designet til dette domæne vil derfor kunne håndtere størstedelen af den regn der kommer udover hverdagsregn. Derfor er dette domæne også typisk det som kloaksystemet og forsinkelsesbassiner er blevet dimensioneret til. Regnen har en gentagelsesperiode på 10 år og en nedbørsmængde på 70 mm.
- C) *Ekstremregn*. Dette domæne håndterer kun 1 % af årsnedbøren. LAR- og forsinkelselementer designet til dette domæne vil være overdimensioneret til de fleste regnhændelser, og det er derfor vigtigt at de også har andre funktioner. Regn i dette domæne har en gentagelsesperiode på 100 år og en nedbørsmængde på 110 mm.

På grafen i Figur 2 ses sammenhængen mellem gentagelsesperiode og nedbørsmængde blev udført på baggrund af beregninger med tre forskellige regnhændelsesdefinitioner (3, 12 og 24 timers længde), på fire forskellige steder i Danmark. De tre definerede domæner er markeret på grafen på en gennemsnitlig linje for de 12 observationer.



Figur 2: Sammenhæng mellem gentagelsesperiode (Return Period) og nedbørsmængde (Event depth). Dataen er baseret på beregninger med forskellige regnhændelsesdefinitioner på fire forskellige steder i Danmark. [7]

Nogle gange er det ønsket at dimensionere LAR-løsninger til forskellige gentagelsesperioder. Grafen blev derfor brugt til, at finde sammenhænge for forskellige brugte gentagelsesperioder. De kan ses nedenfor.

Gentagelsesperiode [år]	0,2	1	5	10	20	50	100
Regnmængde [mm]	20	40	60	70	80	95	110
Domæne	A	B	B	B	C	C	C

Den valgte dimensioneringsgentagelsesperiode afhænger af projektet, men på matrikelniveau kan den som regel sættes til 5 eller 10 år, hvilket anbefales af Spildevandskomiteen [8]. I masterplaner bør 100 år og nogle gange endda 500 eller 1000 år overvejes og for infrastruktur bruges 50 år jævnlige [9].

02 Metode

Projektet udføres via VIS Innovationsforløb, hvis formål er at ”*øge antallet af innovative små og mellemstore virksomheder (SMV'er) i Region Hovedstaden ved at understøtte udviklingen af nye innovative løsninger inden for vandområdet.*”⁵ I dette tilfælde foregår arbejdet hos Tegnestuen Vandkunsten i København. I Tabel 3 kan en projekttidsplan ses. Den svarer til tidslinjen i oprettelsespapirerne for forløbet, men med tilpassede titler til dette specifikke projekt.

Projektets formål opnås ved først at undersøge hvilke værktøjer som er relevante for tegnestuen og derefter afprøve dem i en bred vifte af aktuelle projekter på tegnestuen. Læring fra denne proces nedskrives i 1) dette notat, 2) en guide med alle fremgangsmåder fra værktøjerne (Bilag A) og 3) rapporter for de enkelte cases (Bilag B). Rapporterne har udviklet sig fra stående A4 rapporter, som er baseret på meget tekst, til liggende PowerPoint rapporter, som er baseret på billeder og figurer. Der udvælges cases løbende i takt med at de opstår, og det efterstræbes at vælge cases, så et bredt spænd af forskellige skalaer undersøges. Desuden ønskes det at værktøjernes resultater kan bruges konkret i tegnestuens arbejde. Gennem indføring i de enkelte cases opnås en dybdegående forståelse for hvad behovet er hos tegnestuer. Gennem studiet var vidensdeling et vigtigt element. Dette skete først og fremmest igennem møder med relevante parter, som hovedsageligt var diverse projektgrupper hos tegnestuen. En følgegruppe blev oprettet bestående af Lotte Bjerregaard Jensen fra DTU Byg, Karsten Arnbjerg-Nielsen og Peter Steen-Mikkelsen fra DTU Miljø og Thomas Nybo Rasmussen fra Tegnestuen Vandkunsten. I denne følgegruppe blev perspektiver og muligheder diskuteret. To møder med SCALGO og et møde med Sara Maria Lerer fra DTU Miljø blev ligeledes arrangeret. Til sidst skal det nævnes at projektet blev præsenteres på en netværkscafé for medlemmer af Netværk for Yngre Planlæggere.

Tabel 3: Projekttidsplan med arbejdsområder og delleverancer.

	Uge 43	Uge 44	Uge 45	Uge 46	Uge 47	Uge 48	Uge 49	Uge 50	Uge 51
	25.-30. okt.	31.-6. nov.	7.-13. nov.	14.-20. nov.	21.-27. nov.	28.-4. dec.	5.-11. dec.	12.-18. dec.	19.-25. dec.
Udvikling af koncept for forløbet									
Identifikation af potentielle cases og baggrundsresearch									
Afprøvning i cases i samarbejde med designteams på tegnestuen									
Evaluering af resultater og evt. sammenligning af beregninger fra gamle cases									
Anbefalet brug af værktøjer baseret på resultater fra innovationsforløbet									
Milepæl 1: Opstartsmøde og præsentation af forløb									
Milepæl 2: Følgegruppemøde og præsentation af foreløbige resultater									
Milepæl 3: Præsentation af cases									
Milepæl 4: Evaluering og forslag til videre arbejde									

⁵ <http://www.water.dtu.dk/vis>

03 Behovsanalyse

Under dette studie blev det løbende studeret hvilket behov tegnestuen havde for metoder og værktøjer til håndtering af regnvand. Behovet hos ingeniører, som de fleste værktøjer er udviklet til, er forskelligartet fra landskabsarkitekters, da de typisk designer for værste tilfælde hvorimod landskabsarkitekten tager højde for definerede krav, såsom afledningskoefficienter eller en konkret gentagelsesperiode [10]. Oftest er kravene fra byggeprogrammer og lokalplaner dog uklare, hvorfor tegnestuen må gå ind og definere en målsætning for projektet.

03.01 Spørgeskemaer

For at opnå en fuld forståelse for, hvad behovet er hos tegnestuen, blev et spørgeskema, som kan ses i Figur 3 og Bilag C, udarbejdet. Spørgsmålene skulle danne grundlag for en kortlægning af hvilke behov der var på tegnestuen for et værktøj til design af regnvandshåndteringsløsninger.

Værktøjer til implementering af klimatilpasningstiltag

Navn:

Hvilke skalaer arbejder du på? (skraver i den hvide bjælke)

Bygning Matrikel Byområde Masterplan

Hvilke(n) projektfase(r) arbejder du med? (Tegn strek under leverancer)

Konkurrenceforslag Byggeprogram/Lokalplan Dispositionsforslag Projektforslag Evt. Forprojekt Hovedprojekt Aflevering

Idéfase Projekteringsfase Udførsel og drift

Hvad mangler du i dit arbejde for at have det bedste grundlag for at lave gode klimatilpasningsløsninger?

Hvad ville være vigtigst for dig hvis et digitalt værktøj blev tilbudt til at designe klimatilpasningstiltag? (Vælg 3)

<input type="radio"/> Illustrationer som kan bruges direkte i leverancer	<input type="radio"/> At man direkte i værktøjet kan modellere volumener
<input type="radio"/> Brugervenlighed (at det er let og intuitivt at bruge)	<input type="radio"/> At det kommunikerer visuelt og rumligt frem for med tal og grafer
<input type="radio"/> Brugstid (at det er hurtigt at få et resultat)	<input type="radio"/> At der er en livsline eller superbruger, som kan hjælpe hvis man støder på problemer med værktøjet
<input type="radio"/> At det leverer konkrete vandvolumener som skal håndteres	<input type="radio"/> Andet: _____
<input type="radio"/> At det viser vandets vej på overfladen	

TUSIND TAK FOR DIN TID!

Figur 3: Spørgeskema til udlevering på tegnestuen.

Første del af skemaet danner et overblik over hvilke typer opgaver respondenterne bestrider. Derefter giver de sidste to spørgsmål et indblik i hvad respondenterne umiddelbart mangler for at føle sig bedre rustet til at implementere LAR-løsninger og til sidst skal han/hun vælge hvilke egenskaber i et nyt værktøj som ville være vigtigst. Otte besvarelser blev modtaget fra projektmedarbejdere i de otte cases som blev gennemgået under dette projekt.

Gennemgående kommentarer til hvad der ville ruste respondenterne til at lave bedre klimatilpasningsløsninger var især at få muligheden for at modellere konkrete volumenbehov. Derudover gik det igen, at værktøjet til at få resultaterne, skulle være let, intuitivt og hurtigt. Gennem nogle af kommentarerne mærkes en let frustration over ikke at have et informeret grundlag at arbejde ud fra i den tidlige designfase. Et sidste aspekt, som blev kommenteret var hjælp til processen ift. valg af løsninger, opmærksomhedspunkter ift. myndigheder, overslag på omkostninger og opsummering af den tekniske proces.

Eksempelsvar på spørgsmålet: "Hvad mangler du i dit arbejde for at have det bedste grundlag for at lave gode klimatilpasningsløsninger?":

"Hurtig test af skitser."

"Et brugervenligt beregningsprogram som er let, intuitivt og tidsbesparende ville være brugbart."

"Et excel-skema kan være meget uoverskueligt, mens et visuelt vanddiagram er meget mere håndgribeligt."

"Sagen er, at vi arbejder lidt i blinde fordi eksperter eller videnspersoner ofte først bliver engageret sent i processen, hvor mange rammer besluttet tidligt."

"En differentiering mellem strategier i den store skala og konkrete tekniske løsninger."

I det sidste spørgsmål skulle de vigtigste parametre i et nyt digitalt værktøj afkrydses. De fleste stemmer (5,5) gik til "at det leverer konkrete vandvolumener som skal håndteres", hvilket altså er det vigtigste parameter. Næstvigtigst var "at det viser vandets vej på overfladen". Disse to spørgsmål er netop primært undersøgt i dette studie, og kan ved hjælp af to forskellige værktøjer besvares (se "04.01 SCALGO Live" og "04.02 Spildevandskomiteens LAR-dimensioneringsark"). Herefter følger de næste tre parametre med fire stemmer hver: "brugstid (at det er hurtigt at få et resultat)", "at det kommunikerer visuelt og rumligt frem for med tal og grafer" og "illustrationer som kan bruges direkte i leverancer". De kommunikative parametre vægter altså også relativt meget hos netop denne målgruppe. Mindst vigtigt, med 0 stemmer, var "at der er en livlinje eller superbruger, som kan hjælpe hvis man støder på problemer med værktøjet", mens "at man direkte i værktøjet kan modellere volumener" og "Brugervenlighed (at det er let og intuitivt at bruge)" fik 2,5 og 3,5 stemmer. Det skal nævnes, at der i flere tilfælde var valgt mere end tre svar, og at mundtlige tilbagemeldinger gik på at mange af de nævnte parametre var vigtige.

Tabel 4: Svar til spørgsmålet: "Hvad ville være vigtigst for dig hvis et digitalt værktøj blev tilbudt til at designe klimatilpasningstiltag? (Vælg 3)". Antallet af besvarelser er ordnet med det populæreste svar øverst og det mindst populære svar nederst. At få svar på hvor meget vand der skal håndteres i byggegrunden er det vigtigste hos Tegnestuen Vandkunsten.

Hvad ville være vigtigst for dig hvis et digitalt værktøj blev tilbudt til at designe klimatilpasningstiltag? (Vælg 3)	
	Antal:
At det leverer konkrete vandvolumener som skal håndteres	5,5
At det viser vandets vej på overfladen	4,5
Brugstid (at det er hurtigt at få et resultat)	4
At det kommunikerer visuelt og rumligt frem for med tal og grafer	4
Illustrationer som kan bruges direkte i produkter	4
Brugervenlighed (at det er let og intuitivt at bruge)	3,5
At man direkte i værktøjet kan modellere volumener	2,5
At der er en livlinje eller superbruger, som kan hjælpe hvis man støder på problemer med værktøjet	0

Undersøgelsens stikprøvestørrelse på kun 7 besvarelser gør at der ikke er et statistisk belæg for at dette er de generelle behov og præferencer. De 7 udvalgte projektmedarbejdere arbejdede alle med LAR-problematikker, og var derfor nøje udvalgte. Undersøgelsen må derfor antages at være delvist retvisende for behovet hos Tegnestuen Vandkunsten.

03.02 Læring gennem samarbejder

Gennem case-arbejdet var samarbejdet med arkitekter, landskabsarkitekter og planlæggere en vigtig læring. Indføringen i mange af casene var gennem to-mandsamtaler over skrivebordet. Her kunne SCALGO hurtigt åbnes og bruges til at få et overblik over terrænet i den enkelte case. Derudover var der efter en måneds ansættelse skabt opmærksomhed om projektet, og folk kom af sig selv hen for at spørge om en analyse kunne udføres. I et af de tilfælde, "*05.07 Boliger ved bækken*", blev projektet inviteret til et eftermiddagsmøde om landskabsdesignet om formiddagen. På den mellemværende tid blev tilstrækkelige analyser for det indledende design udført, og på mødet mellem arkitekter og landskabsarkitekter blev en overordnet plan for regnvandshåndtering kortlagt. Dette var både effektivt og brugbart. I en anden case, "*05.04 Lisbjerg Bakke*", skulle en masterplan udvikles, hvilket gav grobund for komplekse forhold, hvor der var et sparringsbehov. Gennem vejledning, diskussion og modellering med planlæggeren blev blandt andet kompleksiteten i at håndtere forskellige intensiteter af regnhændelser i forskellig skala diskuteret og en overordnet plan blev udarbejdet med baggrund i strømningskort og metoder fra den tilknyttede rådgiver.

Generelt var der stor interesse for sparring på regnvandsområdet, hvilket måske også skyldes en distance til de rådgivende ingeniører som er koblet på projekterne. På baggrund af dette, samt den yderligere læring fra dette afsnit, må det konkluderes at der er et stort behov hos tegnestuen for information, metoder og værktøjer på vandområdet.

04 Afprøvede værktøjer

I dette afsnit gennemgås de værktøjer som er afprøvet på cases hos Tegnestuen Vandkunsten. Gennemgåede værktøjer tæller SCALGO Live, Spildevandskomiteens LAR-Dimensioneringsark og LAR-Potentiale.

04.01 SCALGO Live

Værktøjstype:	In-browser GIS-værktøj
Pris:	15-100.000 kr. afhængig af virksomhedsstørrelse
Formål:	Modellering af oversvømmelser og strømninger på den digitale højdemodel (DHM)
Resultater:	Lavnings, vandopstuvning, strømningsveje, oplande, kartografisk præsentation af højdemodel



Figur 4: Udklip fra visningen i SCALGO Live, hvor opstuvning og strømningsveje ses i Lisbjerg, Aarhus.

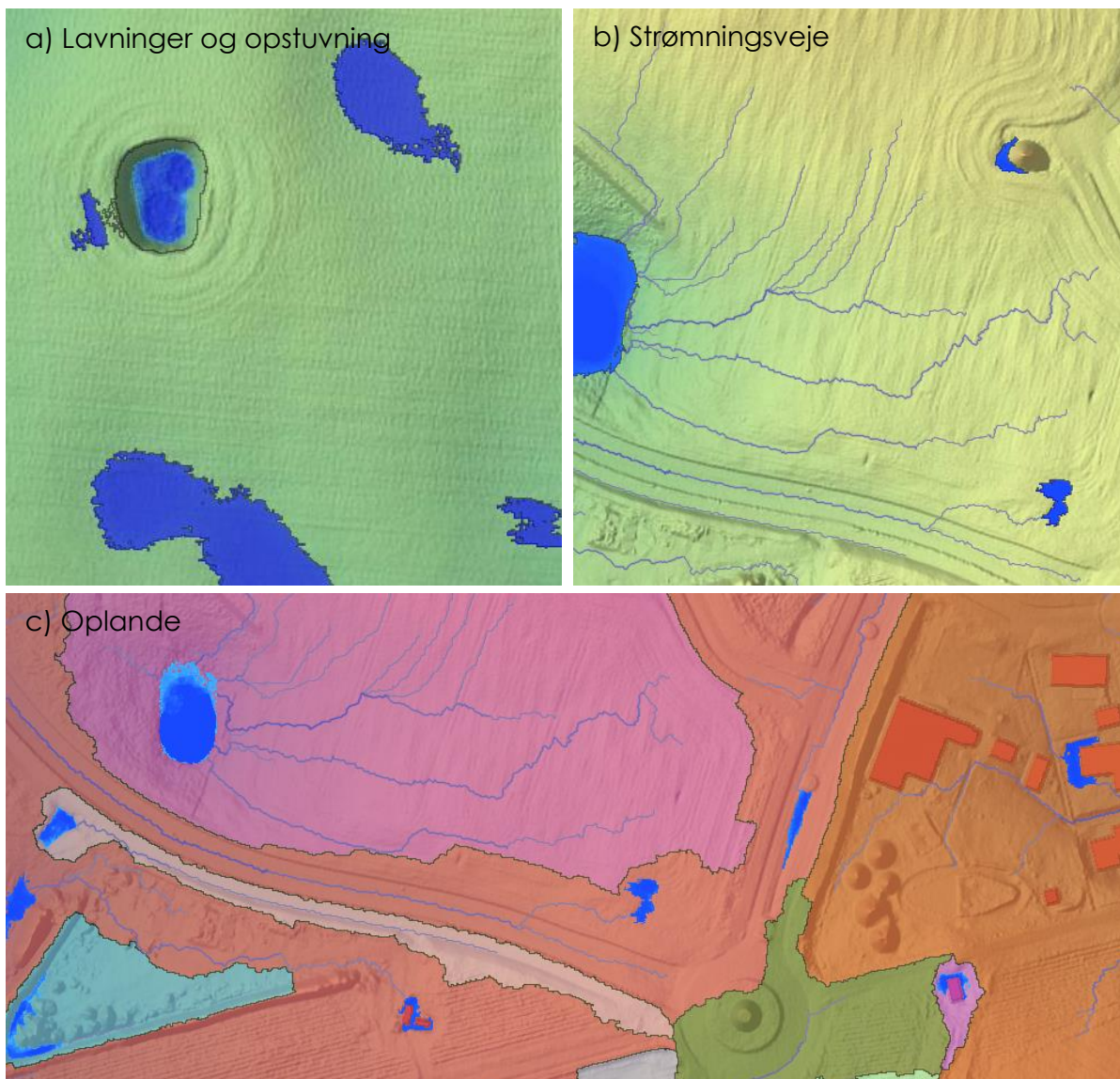
Værktøjet SCALGO Live beregner vandets naturlige strømninger og opstuvninger på terræn, baseret på den digitale højdemodel af Danmark, som har en præcision på 0,4 m. Det er derudover muligt at tegne eller importere bygninger, forhøjninger, render og bassiner, og på den måde simulere vandets bevægelse i en ny bebyggelsesplan. Værktøjets største styrke ligger umiddelbart i modelleringen af strømningsveje, som kan danne grundlag for placering af render og bassiner og dermed få kontrol over vandet i en bebyggelse. En sekundær styrke er værktøjets evne til at kommunikere resultater klart og simpelt. Værktøjets største svaghed er umiddelbart den kvantitative usikkerhed i vandopstuvninger, da nedsivning, ruhed og kloaksystemer ikke er en del af modelleringen.

SCALGO, som står for SCAlable ALGOrithmics, er udviklet i et samarbejde mellem Aarhus Universitets *Center for Massive Data Algorithms (MADALGO)* og Duke University i US. Virksomheden er oprettet med støtte fra Realdanias Klimaspring-kampagne som skal "støtte til virksomhedsdrevne udviklingsindsatser fra idé til marked, der gør Danmark førende inden for klimatilpasningsteknologier"⁶.

04.01.01 Beskrivelse

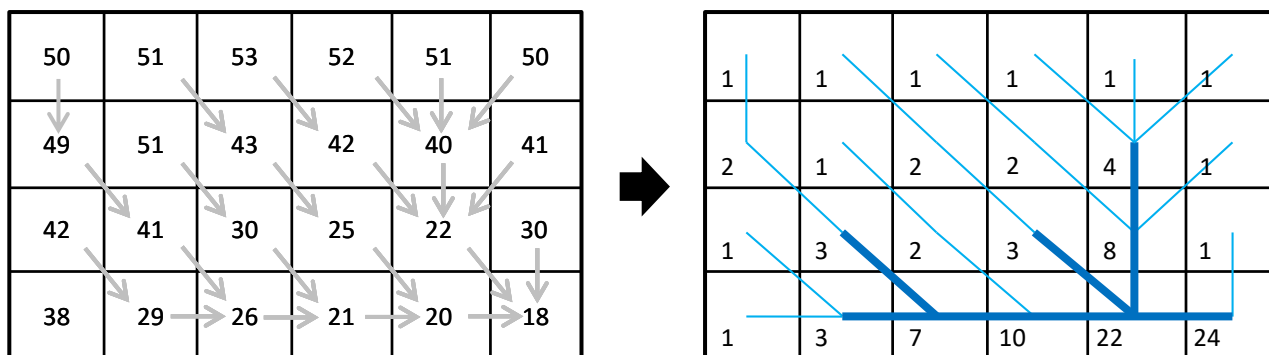
SCALGO er bygget på den digitale højdemodel (DHM) som grundlag og en nedbørsmængde som input. På baggrund af disse to sæt data beregnes lavninger i og opstuvning på terræn, samt strømningsveje og oplande. Beregningerne er holdt simple og gennemsigtige. For det første beregnes terrænmodellen som en "glass-surface" model, hvor der altså ikke er nogen form for underliggende kloaksystem eller tilbageholdelse af vand i nedsivning eller fastholdelse i overfladeelementer. For det andet er nedbørsinputtet helt simpelt jævnt fordelt på modellens areal og antager steady state, hvilket vil sige at det antages at forløbet ikke er tidsafhængigt.

⁶ <http://www.klimaspring.dk/om-os/klimaspring>



Figur 5: Tre figurer som viser resultater fra SCALGO. På a) ses indtegning af lavninger (sort ramme) og opstuvning af regnvand ved 70 mm (blå figurer). På b) ses et kort med indtegnede strømningsveje (blå linjer), som samler sig i en lokal lavning. På c) er oplandene til lavningerne indtegnet med en nedbør på 5 mm. Ved større vandmængder vil oplandene blive større, da de enkelte lavninger vil flyde over til de næste. Baggrundskortet er den digitale højdemodel, som viser højderne i terrænet.

I Figur 5 ses de forskellige resultater, som SCALGO beregner. På a) ses lavninger og opstuvning af vand. Lavningerne er indtegnet med en sort ramme, og viser hvor der i terrænet er en lokal lavning. Lavninger er kun beregnet ud fra terrænmodellen, mens opstuvninger, som markeres med en blå fyldning, er afhængige af nedbørsmængden. Lavningerne bliver ikke nødvendigvis fyldt op ved enhver regnhændelse, og dette kan ses ved at opstuvningerne for eksempel ikke fylder hele lavningen ud i Figur 5a. På b) ses strømningsvejene, som fører hen til en opstuvning. Strømningsveje beregnes indenfor grupper af tilstødende pixels, hvor arealet fra disse pixels akkumuleres i den tilstødende pixel som ligger lavest. Derfor er strømningsveje heller ikke afhængige af nedbør, men beregnet udelukkende med grundlag i terrænmodellen. Konceptet for strømningsveje kan ses i Figur 6. I SCALGO kan omfanget af detaljeregrad vælges for strømningsvejene ved eksempelvis at indtaste 500 m². Dermed vil strømningsvejene starte hvor de har samlet vand fra et areal på 500 m². I Figur 6 er et eksempel givet hvor strømningsvejene er markeret med fed efter vand er samlet for 3 pixels. I den sidste figur (c) i Figur 5 ses oplande til lavninger. Det er de arealer der bidrager til en opstuvning, og de er derfor afhængige af både terræn og nedbørsmængde. Lige så snart en lavning er fyldt op vil den strømme over til den næste lavning, og oplandene vil dermed blive større i takt med mere nedbør.



Figur 6: Koncept for strømningsveje. Til venstre ses et fiktivt udklip af en højdemodel, hvor pilene peger hen på den pixel som ligger lavest i grupper af ni (den diagonalt tilstødende pixel er altså også inkluderet). Til højre ses de resulterende strømningsveje, hvor et areal på 3 er valgt som nedre grænse for hvilke strømningsveje som markeres med en mørk, fed streg. På samme måde kan man i SCALGO vælge en nedre grænse på eksempelvis 500 m², efter hvilken skala man arbejder på og hvilken detaljegrad man ønsker.

04.01.02 Opgavetyper

Helt generelt kan SCALGO svare på hvor vandet strømmer på overfladen og hvor der er naturlige risikoområder for vandopstuvning. De kvantitative resultater fra SCALGO er ikke retvisende i forhold til virkeligheden og programmet kan i den nuværende version ikke fungere til detaljeret design. Der vil muligvis blive udviklet et add-on til programmet som senere vil kunne give nogle retvisende volumener. Derudover kan man på nuværende tidspunkt kun lave lodrette kanter og vandret bund i implementeringer i "Terrain edit"-funktionen, hvilket giver et lidt klodset og misvisende visuelt produkt. SCALGO virker til gengæld godt til projekter i forskellig skala, men især projektområder på 5-50 ha giver brugbare resultater.

Desuden fungerer SCALGO godt intuitivt og giver kommunikative resultater. Programmet beregner lynhurtigt vandforholdene i en ændret planløsning, hvilket gør det til et stærkt værktøj i skitseringsfasen.

Følgende problemstillinger vil SCALGO kunne give svar på:

1. Hvordan ser terrænet ud og hvad er terrænniveauet i bestemte punkter?
2. Hvordan løber vandet på eksisterende terræn?
3. Hvor er der risikoområder som man skal være opmærksom på i eksisterende terræn?
4. En ny bebyggelse skal placeres. Hvordan placeres den bedst muligt i forhold til strømningsveje på overfladen?
5. Et LAR-system skal implementeres i en planlagt bebyggelse – hvor skal kanaler/render/grøfter og bassiner placeres for at fange vandet hvor det strømmer?
6. En masterplan skal planlægges. Hvilken vej strømmer vandet og hvor vil det kunne give problemer?
7. En bebyggelse ligger meget lavt. Hvor lavt ligger det, og er der risiko for oversvømmelse ved stormflod?
8. GIS bruges som værktøj i et projekt. Terrænmodellen ønskes udtrukket fra projektområdet.

På baggrund af ovenstående kan det konkluderes, at SCALGO virker bedst i de indledende designmanøvrer.

04.01.03 Tips til arbejde med SCALGO

- Under menuen med workspaces ligger der mange forskellige GIS-lag. F.eks. kan et luftfoto bruges som baggrundskort eller et lag med eksempelvis matrikler kan vises.
- Mindste tykkelse på "Terrain edits" er ca. 1 m, da terrænmodellens opløsning er i 0,4 x 0,4 m celler.
- For strømningsveje vil en grænse på 500 m² give et overskueligt billede af hovedstrømninger på overfladen i et almindeligt byggeprojekt.

04.02 Spildevandskomiteens LAR-dimensioneringsark

Værktøjstype: Regneark
 Pris: Frit tilgængeligt
 Formål: At dimensionere opstuvningsvolumener i en bebyggelse
 Resultater: Volumener og dimensioner på faskiner, regnbede, grøfter eller permeable belægninger

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Nedbørskarakteristika			Indtast blå og røde tal i kolonne B. Derefter tryk på knappen "Beregn"					Pil ikke - intern beregning		
2	Kommune	Roskilde							Afskærende lednings kapacitet l		4,00E-01
3									Volumen m³		46
4	Designkarakteristika			Beregn					Total opland (m²)		
5	Gentagelsesperiode (år)	10	år								
6	Sikkerhedsfaktor (klima, fremtidig udbygning, etc)	1.1									
7	Oplandskarakteristika										
8	Befæstet areal (m²)	7000	m²								
9											
10	Jord- og nedsvivningskarakteristika										
11	K (Hydraulisk ledningsevne) - se evt måling nederst	1,00E-06	m/s								
12											
13											
14	Faskine										
15	Bredde	2	m								
16	Højde	1,3	m								
17	Hullrums andel i faskine (Plast 0,95, sten: 0,25)	0,95	0-1								
18	Udsivning i faskinebund: 0=Nej, 1=ja	0									
19	Længde faskine	263,6	m								
20	Dræn kapacitet, gennemsnit	3,45E-01	l/s								
21											

	Beregningstjek	Vol m³	Dræn kap l/s	Iterationsafstand	Antal iterationer
Faskine	OK	650,975	0,344946	0,0790%	9
Regnbed	OK	691,454	0,35	0,0000%	1
Grøft	OK	701,477	0,4033594	0,0091%	3
Perm. bel.	OK	45,6093	0,4	0,0000%	1

	Hjælpetørrelser, faskine	Dimensionerende kasseregn, Aflobsteknik s. 269
Opstuvningsvolumen	650,98 [m³]	Vr,k (mm)
Faskine volumen	685,24 [m³]	Vanghed (h)
Regn, der holdes umiddelbart	93,00 [mm]	
Regn, der siver pr døgn	4,26 [mm/døgn]	Karakteritika for dimensionerende kasseregn
Tømmetid	524 timer	Samlet nedbør (mm)
Aflobstal	4,93E-01 [l/sekha]	Intensitet (l/sekha)

Figur 7: Udklip af Spildevandskomiteens LAR-dimensioneringsark.

Spildevandskomiteen har udarbejdet et regneark til dimensionering af LAR-anlæg, herefter kaldet "LAR-Dimensionering". Regnearket kan give svar på hvor store LAR-løsninger der er behov for i en bebyggelse. Valget ligger mellem faskiner, regnbede, grøfter eller permeable belægninger. I et tilhørende notat er arket beskrevet [11].

04.02.01 Beskrivelse

Arket fungerer således at man skriver projektspecifikke data ind i arkets B-kolonne. Første trin er, at indtaste i de gule kasser. Som det kan ses i Figur 7 er disse data hvilken kommune projektet foregår i, hvilken gentagelsesperiode der ønskes dimensioneret for, hvor stor en sikkerhedsfaktor man vil benytte, hvor stort et befæstet areal projektet har, samt den hydrauliske ledningsevne i jorden. Derefter indtastes dimensioner og ønsker under de enkelte LAR-løsninger. Resultatet af beregningen er et endeligt tilbageholdningsvolumen for hver type anlæg, samt endelige dimensioner på disse anlæg. Hvert anlæg beregnes som enkeltstående løsning, og projektområdet skal derfor deles ind i flere dele, hvis flere forskellige typer af anlæg vil bruges.

Desuden giver arket svar på hvor lang tid der går før anlægget er tømt for vand og i samme omgang afløbstal og dræncapacitet. Disse tal (og i øvrigt også det resulterende volumen) er direkte afhængige af den hydrauliske ledningsevne i jorden, som netop er den største usikkerhed for resultaterne fra arket. Jordens ledningsevne betegner hvor meget vand der siver ned i jorden per tidsenhed – oftest angivet i m/s. I bunden af regnearket er givet en tabel med ledningsevner for forskellige jordarter, som kan ses i Tabel 5. Det bemærkes at den hydrauliske ledningsevne for eksempelvis silt spænder fra $1 \cdot 10^{-9}$ til $1 \cdot 10^{-5}$. Der kan stort set ikke nedsives i forhold med førstnævnte faktor, mens der er rigtig gode nedsivningsforhold for sidstnævnte faktor. Det anbefales derfor at få målt ledningsevnen flere steder på grunden, eksempelvis i sammenhæng med den geotekniske rapport.

Som tommelfingerregel vælges altid en mere konservativ værdi end hvad forholdene umiddelbart ser ud til, da jorden ofte vil blive trykket sammen på en byggegrund. En værdi på $1 \cdot 10^{-7}$ er et godt konservativt bud, og det anbefales at prøve at variere fra $1 \cdot 10^{-5}$ til $1 \cdot 10^{-8}$, for at se effekten af værdien.

Tabel 5: Tabelværdier for den hydrauliske ledningsevne, K. Værdierne rækker over et stort spænd, og K skal måles aktuelt på stedet. Tabellen er taget fra LAR-Dimensionering.

Grus:	$1 \cdot 10^{-3}$ til 0,1	m/s	3.600 - 360.000	mm/ time
Sand:	$1 \cdot 10^{-5}$ til $1 \cdot 10^{-2}$	m/s	36 - 36.000	mm/ time
Silt:	$1 \cdot 10^{-9}$ til $1 \cdot 10^{-5}$	m/s	0,0036 - 36	mm/ time
Ren ler:	under $1 \cdot 10^{-9}$	m/s	under 0,0036	mm/ time
Moræneler:	$1 \cdot 10^{-10}$ til $1 \cdot 10^{-6}$	m/s	0,00036 - 3,6	mm/ time

04.02.02 Opgavetyper

Regnearket giver helt konkrete opstuvningsvolumener såfremt man kender baggrundsdataene. Disse data kan i de fleste tilfælde estimeres, selv i den tidlige designfase. Største udfordring er dog at sætte den hydrauliske ledningsevne, som har stor effekt på resultaterne. Det anbefales derfor at antage en konservativt sat værdi, hvis man ikke måler på projektlokationen med en nedsivningstest.

Regnearket antager at man leder vandet fra det ønskede område hen til løsningen, og det kan derfor ikke svare på strømningsmæssige spørgsmål. Ligeledes er den grafiske platform ikke imponerende, og arket giver dermed kun resultater i form af tal.

Følgende problemstillinger vil LAR-Dimensionering kunne svare på:

1. Hvor stor en løsning skal jeg vælge til at håndtere en regn med gentagelsesperiode på X år?
2. Hvilken løsning kan jeg vælge til at håndtere regnvand?
3. Hvilke tekniske værdier (tømmetid, afløbstal, drænkcapacitet, etc.) har min LAR-løsning?

04.03 LAR-Potentiale

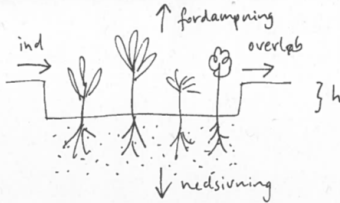
Værktøjstype: Regneark

Pris: Ikke tilgængeligt endnu – stadig under udvikling

Formål: At vende tilgangen i LAR-arket om og dimensionere efter lokationsforhold fremfor gentagelsesperiode

Resultater: Dimensioner på LAR-elementer og tilsvarende gentagelsesperiode samt håndteringsmetode

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2	Inputs																						
3	Antal	stk	0																				
4	Areal per enhed	m2	0																				
5	tages fra befæstet areal?	0/1	1	[s;ja;0;nej]																			
6																							
7	Mellemregninger																						
8	Dybde	cm	30																				
9	såmet areal	m2	0																				
10	såmet oplandsareal	m2	0																				
11	absolut volumen	m3	0																				
12	relativ volumen	mm	0																				
13	arealforhold	m2/m2	0,0																				
14	arealforhold	%	0%																				
15																							
16	Resultater																						
17	gentagelsesperiode for overløb	år	0,00																				
18	ledigt volumen per event - V	mm	0																				
19	årlig volumen der nedsiver	%	0																				



Figur 8: Udklip af LAR-Potentiale

Udover dette projekt, er der fra DTU Miljø også fokus på udvikling af et værktøj til den tidlige designfase. I [12] nævner Sara Lerer at "der er brug for at kunne arbejde hurtigt og skitse-mæssigt, og hvor samarbejde og kommunikation er i højsædet snarere end beregningernes nøjagtighed". Dette er i overensstemmelse med resultaterne fra denne undersøgelse i "03 Behovsanalyse", og er baggrunden for udviklingen af LAR-Potentiale.

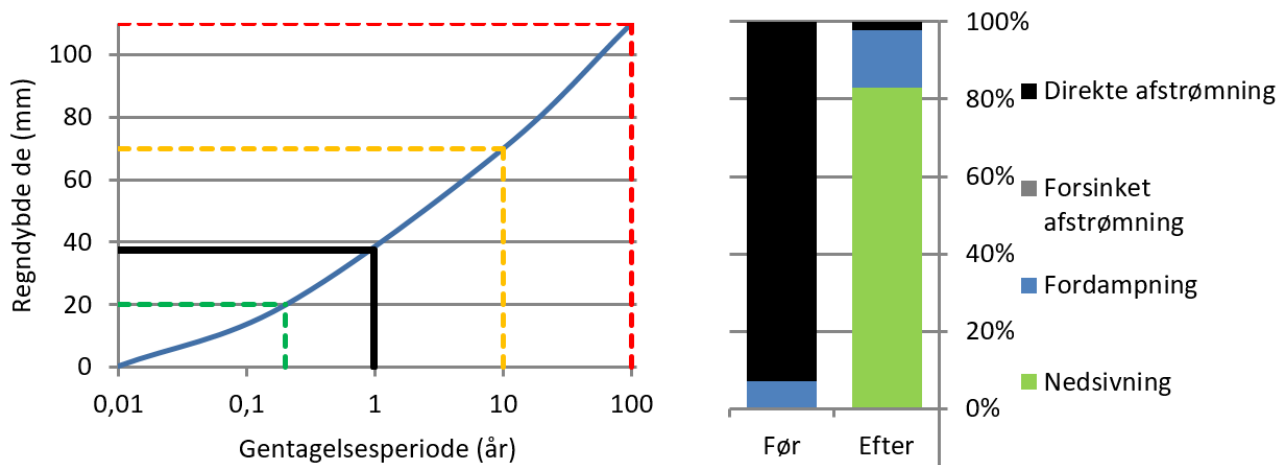
Værktøjet er stadig under udvikling, hvilket betyder at der ikke er lagt energi i den grafiske platform.

04.02.01 Beskrivelse

Værktøjet vender tilgangen fra LAR-Dimensionering om, og tager udgangspunkt i hvilke løsninger man har mulighed for at implementere fremfor et krav til gentagelsesperiode. På den måde vælges der en løsning, som harmonerer bedre med stedets udformning, og hvor løsninger som håndterer mindre intens regn også værdsættes for deres lille, men stadig vigtige effekt. I værktøjet indtastes det befæstede areal i ens projekt og den hydrauliske ledningsevne, hvorefter man skal vælge hvilken LAR-løsning som skal implementeres – permeable belægnings, simple regnbede, regnbede med forsinkelse eller et forsinkelsesbassin.

I værktøjet opereres der med de tre domæner i 3-punktsmetoden (som er beskrevet i "01.02 3 Points Approach") – hverdagsregn (under 20 mm regn), designregn (mellem 20 og 70 mm regn) og ekstremregn (over 70 mm regn). Resultaterne fra værktøjet præsenteres således på to grafer, som kan ses i Figur 9. Den første graf viser den valgte løsnings placering i forhold til 3PA, hvor x-aksen viser gentagelsesperiode og y-aksen viser regndybden. I grafen nedenfor ses det, at den valgte løsning kan håndtere en regnhændelse som sker cirka én gang om året. Den anden graf viser områdets årlige vandbalance i et før- og efter-scenarie, hvor mulighederne er direkte afstrømning, forsinket

afstrømning, fordampning og nedsivning. Nedenfor ses det at den valgte løsning vil sørge for nedsivning af 83 % af årsnedbøren, 15 % til fordampning og 2 % direkte afstrømning.



Figur 9: To resultatgrafer fra LAR-Potentiale. Den første viser placeringen for den valgte LAR-løsning på 3PA-grafen, mens den anden viser et før- og efter-scenarie for området årlige vandbalance.

04.02.02 Opgavetyper

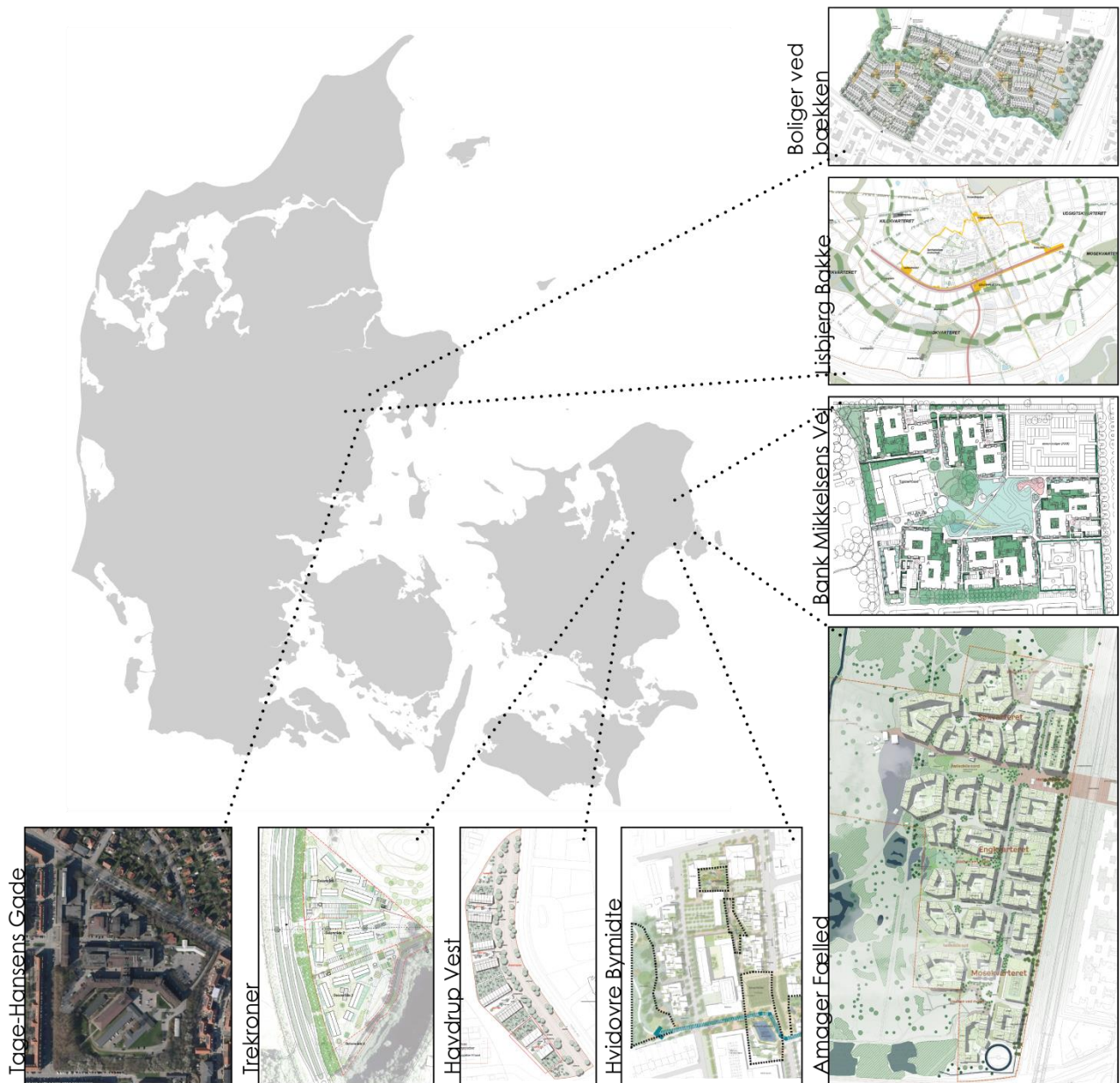
LAR-Potentiale løser på nuværende tidspunkt nogenlunde de samme opgaver som LAR-Dimensionering, blot med den forskel at dimensioner gives først, og gentagelsesperioderne gives som resultat. Desuden kan LAR-Potentiale lægge løsninger i serier, så når vandet f.eks. overløber fra et regnbed forsinkes det i et forsinkelsesbassin.

Følgende problemstillinger vil LAR-Potentiale kunne svare på:

1. Hvor meget regn kan mit LAR-design tilbageholde?
2. Hvordan håndteres regnen når jeg implementerer mit LAR-design?
3. Hvor mange regnbæde af et specifikt design skal der bruges for at tilbageholde en 10-årsregn?

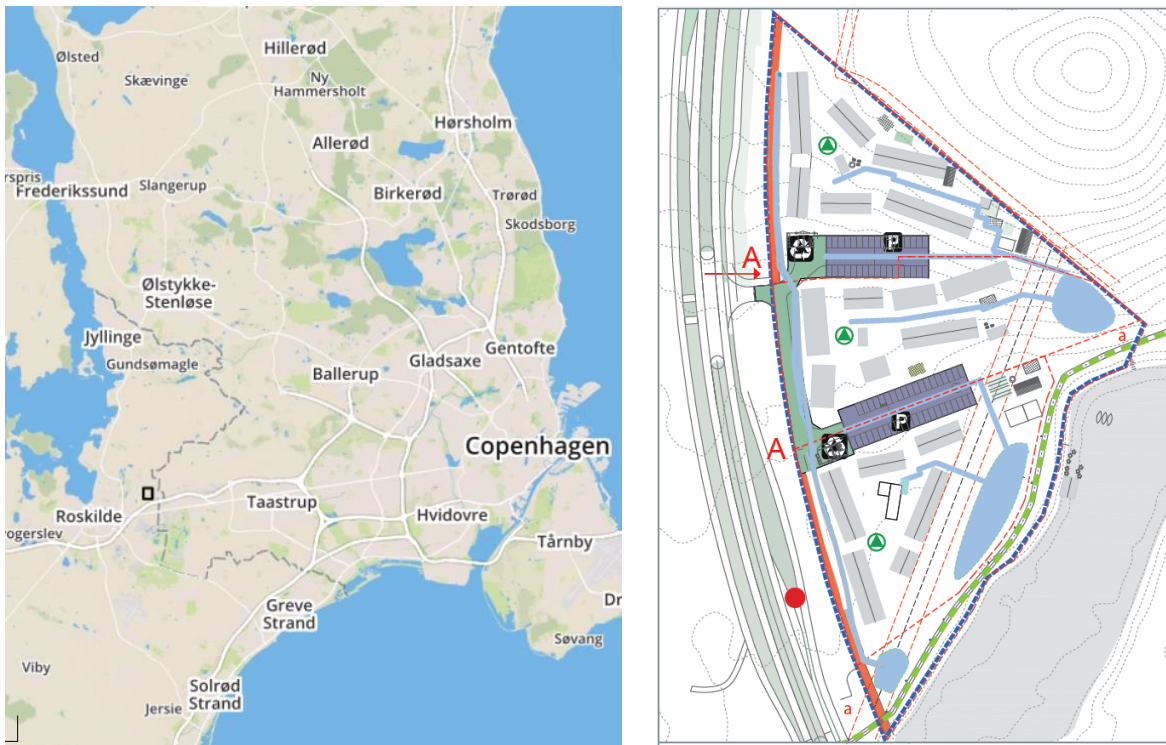
05 Casestudier

Gennem projektet blev de undersøgte værktøjer afprøvet på nogle forskellige projekter hos Tegnestuen Vandkunsten. I nedenstående præsenteres hovedkonklusionerne fra hver case. Detaljerede beskrivelser kan findes i Bilag B, hvor resultaterne er præsenteret i individuelle rapporter for hver case. I Figur 10 kan en oversigt ses over de otte cases.



Figur 10: Oversigtsbillede af gennemgåede cases.

05.01 Trekroner



Figur 11: Kort som viser placeringen for bebyggelsen samt en situationsplan af bebyggelsen. De blå indtegninger viser potentielle placeringer af LAR-elementer.

Ved Roskilde i Trekroner opføres en række flygtninge- og studieboliger i en tredelt bebyggelse grænsende ned til Langebjerg Sø. Vandteknisk er der 2 nøgleparametre som gør sig gældende:

- Det ønskes at lede så meget regnvand i søen som muligt. Dette vand skal være rent.
- Området hælder naturligt ned mod søen, mens matriklerne ligger på tværs. Dette betyder at vand fra de øverste matrikler (og det resterende opland) ledes gennem de nederste.

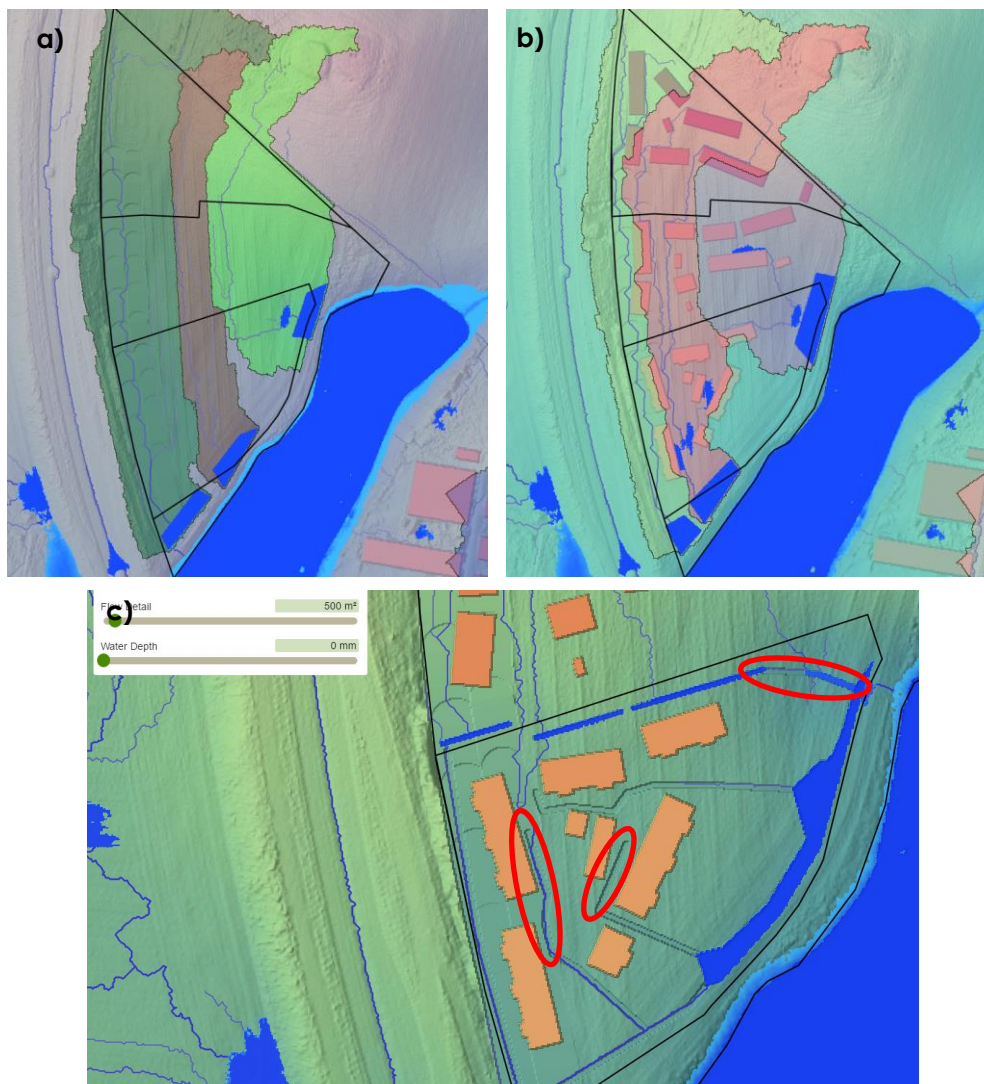
Lokalplanen foreslår nogle placeringer af bassiner og render, som dog skal omplaceres, da noget af vandet foreslås ledt opstrøms.

Gennem samtale med landskabsarkitekt Mia Ann Bruhn blev tre analyser, som kunne give værdi til projektet, identificeret:

1. Analyse af strømninger og lavninger på naturligt terræn. Kan danne et bedre beslutningsgrundlag for placering af objekter (f.eks. bygninger) på grunden.
2. Analyse af strømninger og lavninger i bebyggelsesplan. Kan vise problemområder i den udtænkte bebyggelsesplan, og danne et bedre beslutningsgrundlag for placering af LAR-elementer og strategisk hævning af terræn.
3. Analyse af strømninger og lavninger i bebyggelsesplan med etablerede LAR-elementer. SCALGO kan i denne sammenhæng bruges som værktøj til placering af LAR-elementer, så de placeres og udformes korrekt.

Første analyse viste at vandet samler sig i tre hovedstrømninger ned af terrænet. Dette ville have hjulpet med at placere bygningerne hensigtsmæssigt såfremt analysen havde været lavet inden bebyggelsesplanen. Anden analyse viste at den planlagte bebyggelsesplan ikke var helt uhensigtsmæssig, men dog voldte nogle få problemer med vandopstuvning langs nogle bygninger. Dette kan rettes op ved at hæve terrænet lokalt, hvor problemerne opstår. Desuden viste analysen hvor strømningerne løb omkring bygningerne. Disse strømninger ville kunne fanges af grøfter, og vandet kan ledes strategisk mod et forsinkelsesbassin. Sidste analyse viste at de planlagte grøfter og bassiner var placeret godt, men kunne blive endnu bedre ved nogle få tilføjelser og udvidelser. Pga. SCALGO's antagelse om at terrænet har en glasoverflade, kunne volumenerne ikke bruges til meget, og volumenet på det planlagte

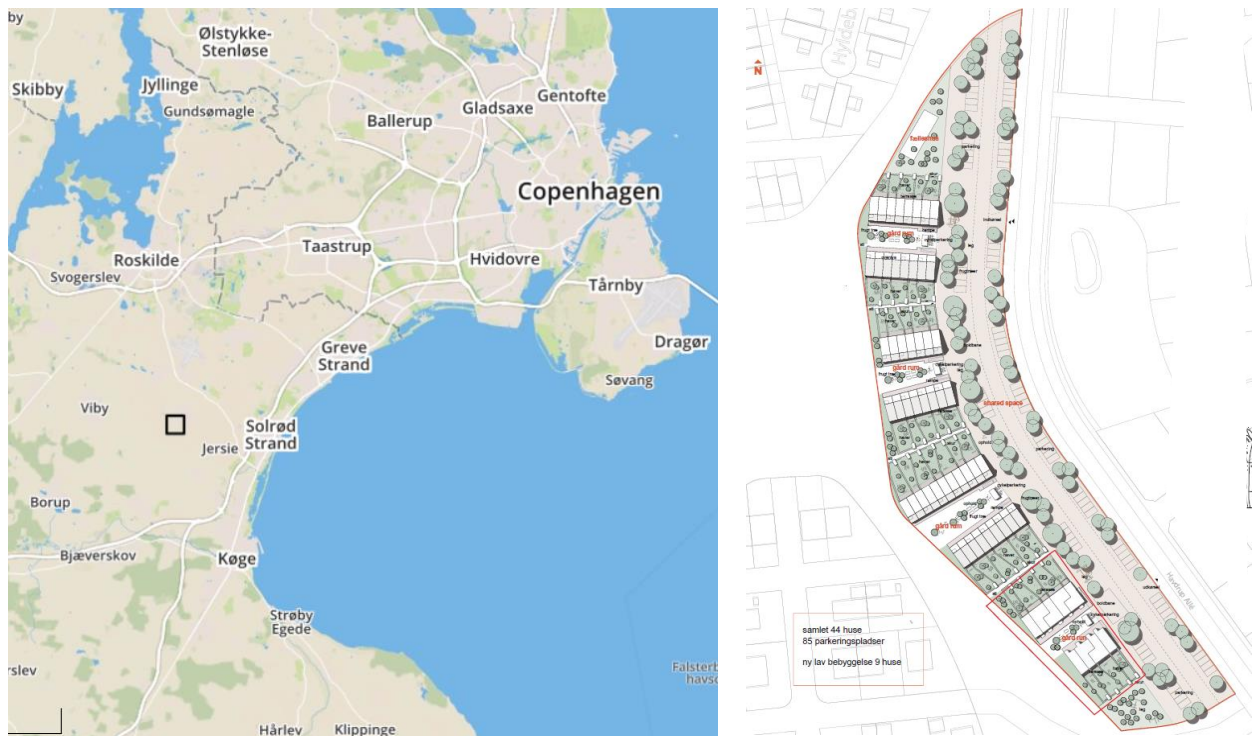
forsinkelsesbassins kunne ikke efterbevises via SCALGO. Det vigtigste resultat fra SCALGO var derfor generelt hvordan strømningerne forløb på overfladen og dermed at placeringen af vandledende LAR-elementer var korrekt.



Figur 12: Resultater fra SCALGO. På a) og b) ses de tre dominerende strømningsveje på ubebygget og bebygget terræn. Det ses at bygningerne påvirker placering og vandmængder for strømningerne. På c) ses en beregning for strømninger på den nederste matrikel med planlagte LAR-elementer indtegnet. De tre røde ringe markerer foreslåede udvidelser af det planlagte system.

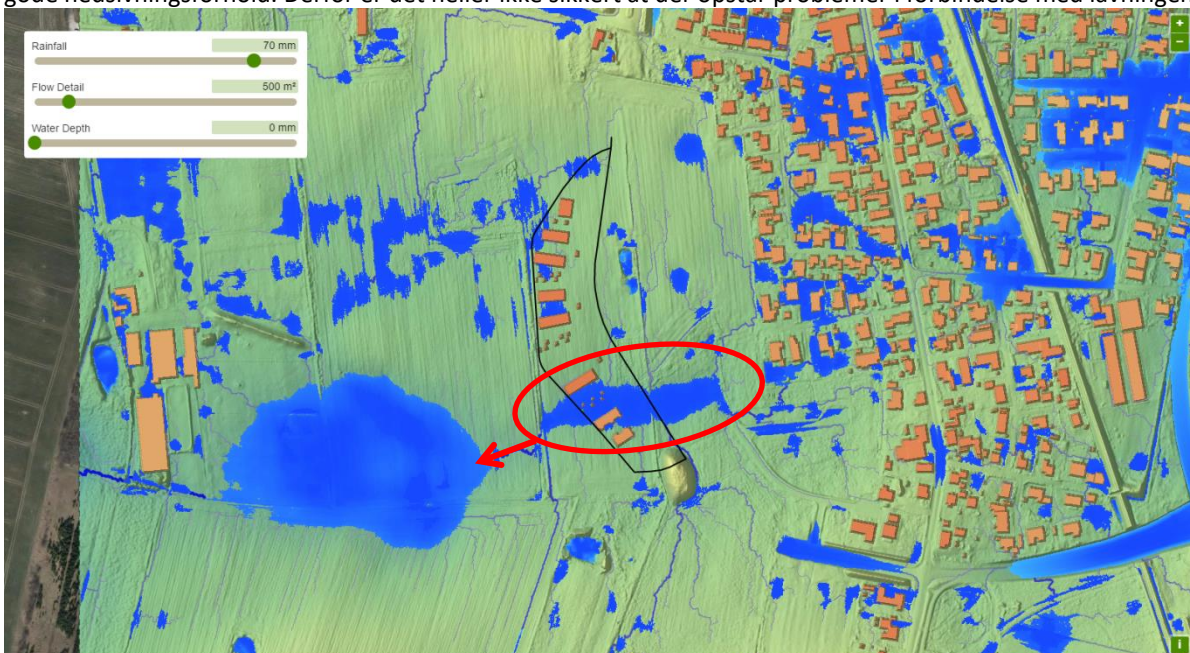
En estimeret størrelse på bassinet blev beregnet med LAR-Dimensionering. Siden området bliver separatkloakeret anbefales det at man dimensionerer til et serviceniveau med regn med gentagelsesperioder på 5 år [8]. Ved dimensionering med et overfladeareal på 470 m², fås et endeligt volumen på 173 m³ og en gennemsnitlig dybde på 0,37 m med lodrette kanter. På grund af dårlig nedsivning (overvejende moræneler-bund) og ønsket om så meget vand i søen som muligt, kunne en løsning med rørføring eller filtre mellem bassin og sø overvejes. På den måde renses vandet gennem grøfter og bassin, og ledes relativt hurtigt væk fra bassinet. Størrelsen på bassinet er foreløbigt 138 m³. Dette volumen blev fundet med det lille værktøj udviklet af Thomas Nybo Rasmussen fra tegnestuen, hvor man ud fra kurverne på en plantegning kan estimere hvor stort volumen er i en organisk formet fordybning. Det blev undersøgt hvor lav nedsivningsgraden skulle være for at volumenet passede, og det blev fundet at med en nedsivningsgrad på $1 \cdot 10^{-6}$ m/s, ville volumenet passe til en 5 års regn.

05.02 Havdrup



Figur 13: Kort og situationsplan over bebyggelsen i Havdrup.

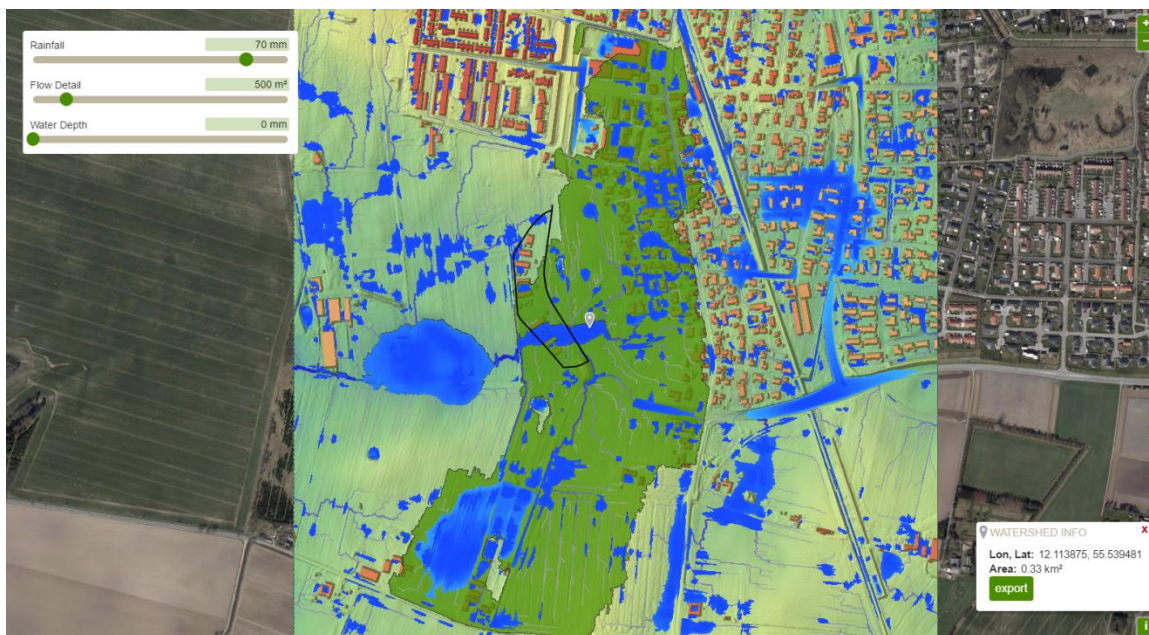
Havdrup ved Solrød udvides mod vest med blandt andet opførelse af denne rækkehusbebyggelse. I den sammenhæng ønskes det undersøgt hvor regnvandet samler sig og om der kan opstå problemer i en mulig lavning i den sydlige halvdel af området. I analysen var en stor del af det omkringliggende område medtaget, og resultaterne viste at den identificerede lavning kunne blive problematisk. Lavningen samler vand fra et stort område, men overløber også til en større lavning på marken vest for bebyggelsen. Vandmængderne er ikke realistiske, da der i området er både kloak og gode nedsvivningsforhold. Derfor er det heller ikke sikkert at der opstår problemer i forbindelse med lavningen.



Figur 14: Beregning af lavninger og strømninger ved 70 mm regn. Det ses at vandet bl.a. samler sig i den sydlige del af bebyggelsen. Ved 70 mm regn dannes et volumen på 808 m³.

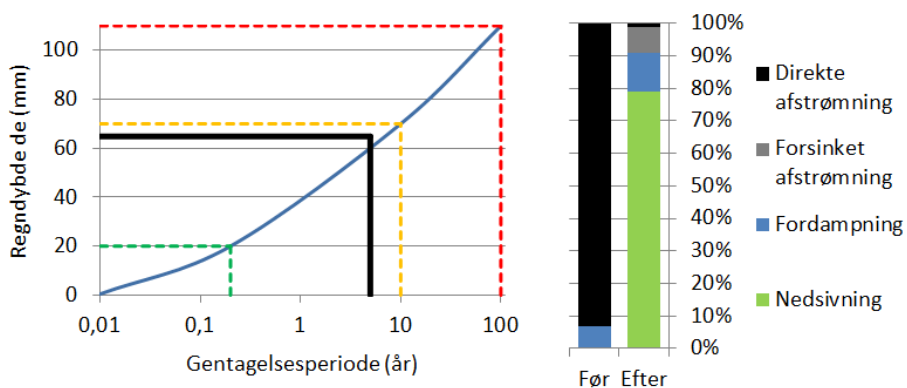
Efter analysen var udført blev nogle anbefalinger givet. Første anbefaling var at etablere et forsinkelsesbassin hvortil regnvand fra området kunne ledes, inden det overløber til markområdet eller kloakken. Bassinet kunne f.eks. etableres på den 2500 m² store trekantsgrunden i sydvestlige hjørne, som er udlagt til naturområde. Anden anbefaling lød på at hæve terrænet under bygningerne i det risikable område. Tredje anbefaling var at være opmærksom på vandopstuvning mellem bygningerne i den nordlige del af grunden.

SCALGO var i denne sammenhæng et godt og hurtigt screeningsværktøj til at identificere et risikoområde. Der mangler dog et værktøj til at estimere hvor store mængder vand det drejer sig om, og til indtegning af et bassin som ville virke.



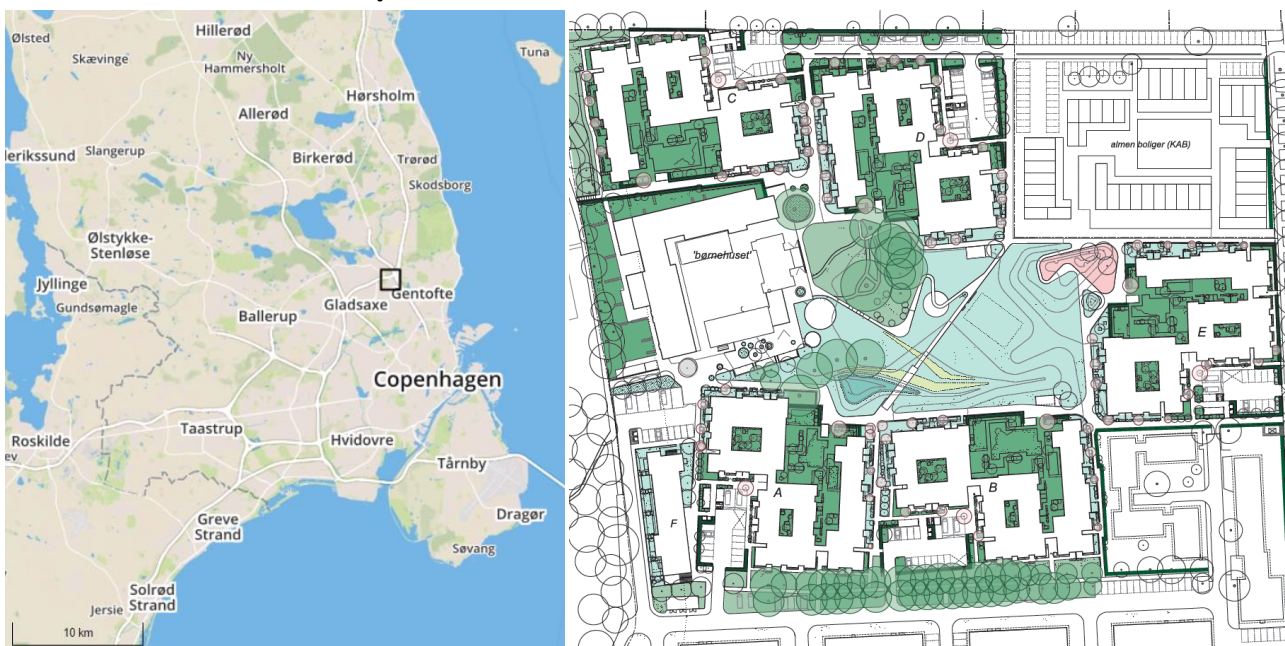
Figur 15: Det grønne område markerer oplandet til lavning på bebyggelsen. Regnvand fra det 33 ha store opland samles i lavningen. Der skal tages forbehold for, at en del af dette vand vil nedsive eller løbe i kloakken inden det når frem til lavningen.

Ved en hurtig beregning i LAR-Dimensionering blev det fundet at regnvand fra tagarealerne (2600 m²) fra en 5 års regn (da der skal separatkloakeres) kan holdes tilbage i et 155 m³ stort regnvandsbassin, med et overfladeareal på 500 m² og en dybde på 31 cm. Vand fra vej- og parkeringsarealer ledes til kloak. Det blev desuden beregnet med, det endnu under udvikling værktøj, LAR-Potentiale, at ni regnbæde på 25 m² med indbygget forsinkelse, for enden af hver af de ni bygninger vil kunne tilbageholde den samme regn. I Figur 16 ses resultaterne fra LAR-Potentiale, hvor det bl.a. ses at en stor andel af årsnedbøren vil nedsive.



Figur 16: Grafer fra LAR-Potentiale. På første graf ses placeringen af tiltaget iht. gentagelsesperiode (5 år) og regndybde (65 mm). Til højre ses et før- og efterbillede af hvordan regnvandet håndteres. Det ses at nu 79 % vand nedsiver.

05.03 Bank-Mikkelsens Vej



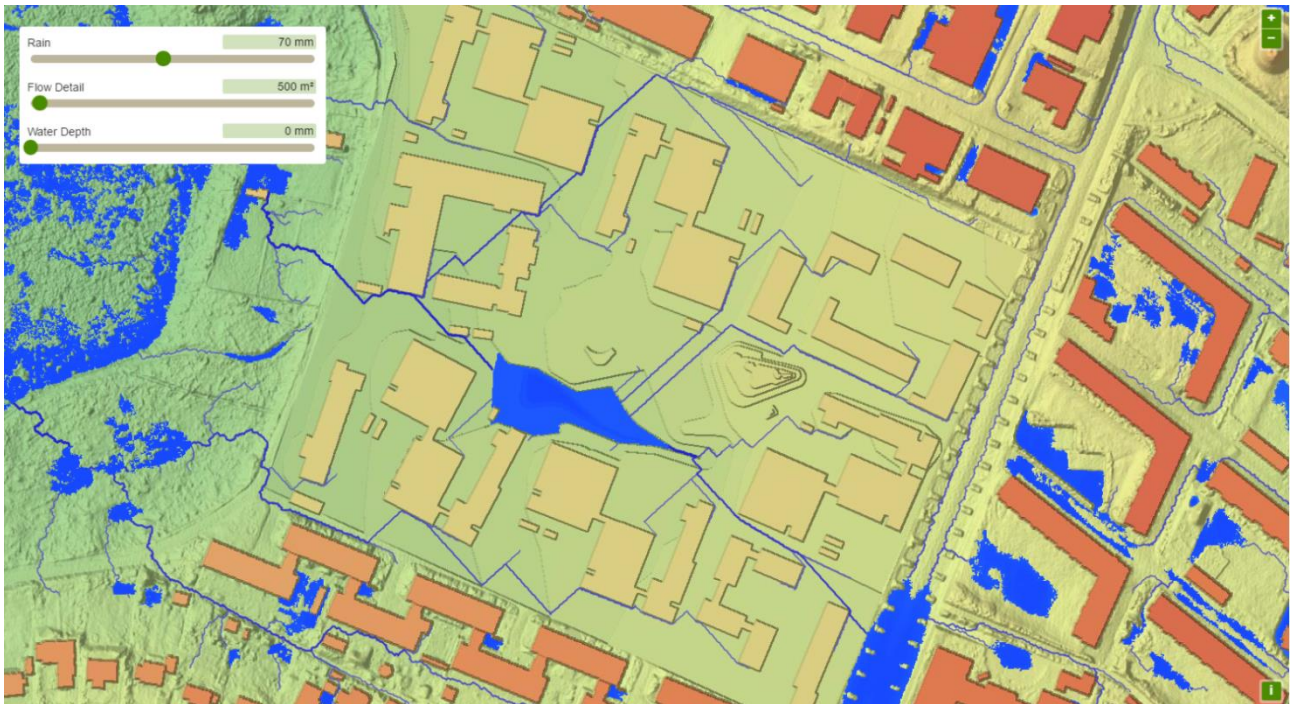
Figur 17: Kort som viser placeringen for bebyggelsen samt en situationsplan for den nye bebyggelse.

Projektet for Bank-Mikkelsens Vej inkluderer opførelse af botilbud og diverse institutionstilbud på en 6 ha stor byggegrund. Det ønskes at føre mest muligt rent vand til Gammelmosen, som ligger vest for bebyggelsen. Derfor blev det besluttet at vand fra tage føres til et forsinkelsesbassin som overløber til mosen. Bassinet anlægges i den sydvestlige ende af det store grønne område i midten af bebyggelsen. Der ønskes viden om hvorvidt bassinet er korrekt placeret og om dets volumen er tilstrækkeligt.

Det eksisterende terræn korrigeres ikke meget, men dog en smule. Herudover fjernes det meste eksisterende byggeri hvorpå nyt opføres. Derfor blev et forsøg med import af terrænkurver afprøvet. I det eksisterende CAD-materiale var 0,5-meters koter markeret i midten af bebyggelsen, og forsøget fortsatte med dette. Efter optegning af de resterende kurver, import til SCALGO og beregning i SCALGO, viste beregningerne at koterne er for grove og giver et misvisende resultat. Derfor viste denne undersøgelse desværre, at SCALGO endnu ikke kan bruges til denne slags projekter uden der skal gøres for meget arbejde.

Efter møde med Signe Barnes, Salgs- og markedsudvikler hos SCALGO, blev det fortalt at det er en del af SCALGO's udviklingsvision at drone- eller landsinspektørøpmålinger skal kunne importeres som nyt terrængrundlag. Man kan derfor håbe at disse slags projekter nemmere kan undersøges med SCALGO i fremtiden.

Bassinet tænkes udformet som på Figur 19 med terrasser, hvor vandet nedsiver gennem filtermuld til et drænrør der leder det til Gammelmosen. Ved hjælp af volumenberegningsværktøjet og LAR-Dimensionering blev den ønskede nedsivningsgrad i filtermulden fundet. Beregningerne kan ses i Figur 20. Dette ved at beregne volumen af det planlagte bassin, bestemme inputparametrene i dimensioneringsarket og gentagne gange beregne forskellige nedsivningsgrader til det rammer det designede volumen. Den endelige nedsivningsgrad blev beregnet til $1,55 \cdot 10^{-4}$ m/s, hvilket med baggrund i [13] antages må kunne sammensættes i en filtermuld.

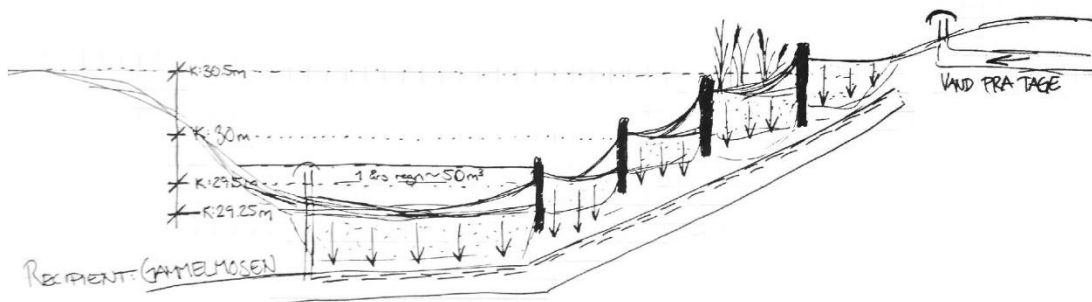
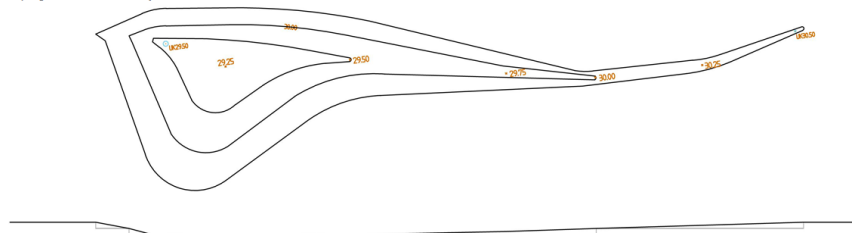


Figur 18: Resultat af beregning med importerede 0,5-meters kurver. Det ses at strømningsvejene ligger som lige 45 graders linjer på de vandrette flader. Dette er ikke et retvisende resultat, og de importerede koter er dermed for grove.

Kurve	Kurve [m]	Delareal	Areal A [m ²]	Delvolumener	Volumener V [m ³]
K0	30,50	A0	303,2	V1	113,675
K1	30,00	A1	151,5	V2	49,7
K2	29,50	A2	47,3	V3	5,9125
K3	29,25	A3	0	V4	0
K4		A4		V5	0
K5		A5		V6	0
K6		A6		V7	0
K7		A7			

Samlet volumen: **169,288 m³**
 Gennemsnitlige dybde: **0,56 m**

Eksempelfigur fra Bank Mikkelsens Vej:



Figur 19: Volumenberegning og skitse af koncept for bassin på Bank-Mikkelsens Vej. Vand fra tagene føres til området, hvor det renses ved nedsivning gennem filtermuld til et drænrør der leder det til Gammelmosen.

Nedbørskaraktetika	
Kommune	Gentofte

Designkaraktetika	
Gentagelsesperiode (år)	10 år
Sikkerhedsfaktor (klima, fremtidig udbygning, etc)	1,1

Oplandskaraktetika	
Befæstet areal (m ²)	10000 m ²

Jord- og nedslivningskaraktetika	
K (Hydraulisk ledningsevne) - se evt måling neders	1,55E-04 m/s

Regnbed	
Areal regnbed	302,0 m ²
Dybde	0,58 m
Dræn kapacitet	4,68E+01 l/s
Samlet opland (befæstet areal + eget areal)	10302,0 m ²

Indtast blå og røde tal i kolonne B.
 Derefter tryk på knappen "Beregn"

Beregn

	Beregningsstjek	Vol m ³	Dræn kap l/s
Faskine	OK	201,244	33,059808
Regnbed	OK	174,075	46,81
Grøft	OK	185,748	40,088798
Perm. bel.	OK	0,09737	6,2

Hjælpstørrelser, regnbed	
Opstuvningsvolumen	174,07 [m ³]
Regn, der holdes umiddelbart	16,90 [mm]
Regn, der siver pr døgn	392,58 [mm/døgn]
Tømmetid 1 timer	3,72E+03 [s]
Afløbstal	4,54E+01 [l/sek/ha]



Figur 20: Resultater fra LAR-Dimensionering. Vand fra et tagareal på 10.000 m² skal renses i et 169 m³ stort bassin. Vandet skal sive gennem filtermuld, hvorefter det løber til Gammelmosen gennem et drænrør. Ved at beregne volumenet gentagne gange med en variabel hydraulisk ledningsevne, blev den nødvendige hydrauliske ledningsevne fundet til 1,55*10⁻⁴ m/s ud fra det planlagte volumen.

05.04 Lisbjerg Bakke

Lisbjerg Bakke er en masterplan i Aarhus, hvor en ny bydel skal opføres omkring den lille landsby Lisbjerg, på hvad der nu blot er bar mark. Letbanen er allerede planlagt i området, og byen bygges derfor op omkring den, samt den eksisterende landsby.



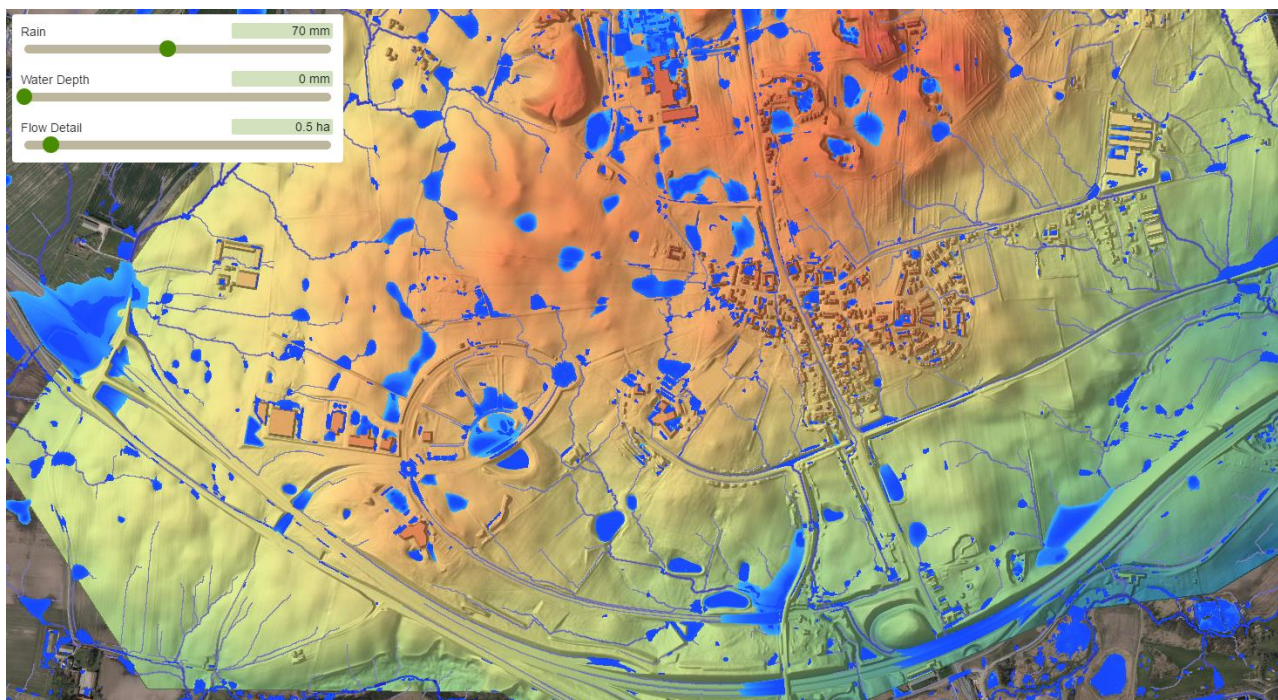
Figur 21: Kort som viser Lisbjergs placering, samt situationsplan som viser de overordnede koncepter for masterplanen, heriblandt de tre opholdsbånd i forskellige størrelser markeret med grøn og den nye letbane markeret med rød.

Da dette modsat de andre cases er en masterplan, og altså en helt anden skala, er det vigtigt at overveje hvordan området skal sikres mod mere ekstreme regnhændelser end regn med en 5-10 års gentagelsesperiode. Området skal derfor helst sikres for regnhændelser med en gentagelsesperiode på 100 år. COWI arbejder sammen med Vandkunsten om at løse masterplanen, og har beregnet hvor store volumener der skal håndteres for hver bebyggelsesparcel ved en 5 års regn og ved en 100 års regn.

Planen består af grønne bæltter som hver især ligger nogenlunde i samme terrænniveau. Niveauforskellen mellem bæltterne er stor, hvilket medfører store og kraftige vandstrømme herimellem. Dette taler for etablering af skybrudsrør/-tunneller mellem båndene til 100 års regn og forsinkelse på båndene til 5 års regn.

Tabel 6: Beregninger fra COWI, som viser hvor stort et behov der er for opstuvning af vand per parcel.

	Volumenbehov ved en 5 års regn	Volumenbehov ved en 100 års regn
2 parceller	183 m ³	2988 m ³
5 parceller	458 m ³	7471 m ³
10 parceller	915 m ³	14.942 m ³
30 parceller	2745 m ³	44.826 m ³



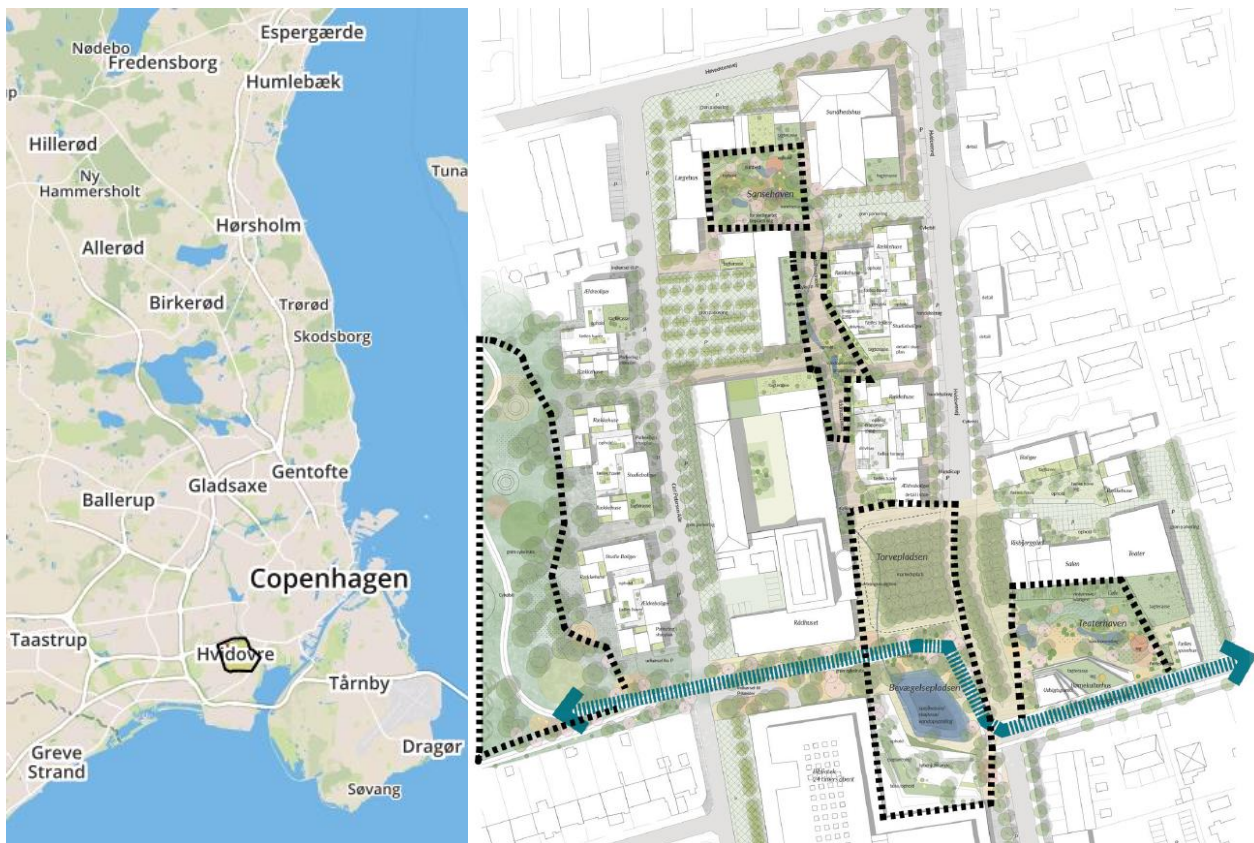
Figur 22: Kort fra SCALGO med opstuvninger ved 70 mm nedbør og strømningsveje på terrænet.

Møde med COWI 19/10 2016

Jeg deltog i et møde mellem Vandkunsten og COWI, hvor især håndteringen af vand blev diskuteret. COWI havde indledningsvist lavet SCALGO-screeninger af strømningsveje i hele området for masterplanen og derudover var der lavet beregninger for 5 års regn og 100 års regn, for hvor meget vand der skulle håndteres per parcel regnen falder på. Beregningerne bliver videregivet til arkitekterne, så bassinvolumenerne kunne placeres som en slags "lego-klodser" i de rumlige forhold. SCALGO-analysen viste strømningsveje, og var for arkitekterne meget visuelt kommunikativt. COWI var dog ærgerlig over at SCALGO-analyserne ikke var integreret endnu tidligere, da dette ville kunne hjælpe med placering af parceller og især veje og letbane, som ikke er placeret hensigtsmæssigt på nuværende tidspunkt. For bedre kommunikation havde COWI tegnet pile for overordnede strømninger ind ovenpå SCALGO-kortene. Konklusionen på mødet var at beslutningstagerne i projektet skulle præsenteres for konflikten mellem ønsket om en meget tæt by og ønsket om at håndtere mest muligt regnvand på overfladen. Planen ender sandsynligvis med en mellemting mellem håndtering på overfladen og under jorden.

På grund af kompleksiteten i dette projekt blev den vigtigste opgave at sparre med planlægger Maria Crammond ift. tolkning af SCALGO-kort og beregningsmetode fra COWI. Det var klart at dette problem var for komplekst til at noget eksisterende værktøj kunne løse problematikken, og den rigtige løsning i sådan et stort masterplan projekt er derfor at investere i et samarbejde mellem ingeniører og arkitekter. Da ønsket fra bygherre både var at få en tæt by og håndtere regnvand på overfladen opstår der en konflikt mellem disse arealkrævende løsninger. Der er derfor både tekniske og politiske problemstillinger i denne case. Generelt gav ingeniørernes beregninger i sammenspil med SCALGO dog et bedre grundlag for placering af de mange vandhåndteringsløsninger, men det er formentlig uundgåeligt at problematikken delvist skal løses underjordisk. Fremgangsmåde for Maria Crammond blev derfor at få plads til så meget som muligt på terræn, og derefter overveje resterende opmagasinering i faskiner eller lignende.

05.05 Hvidovre Bymidte

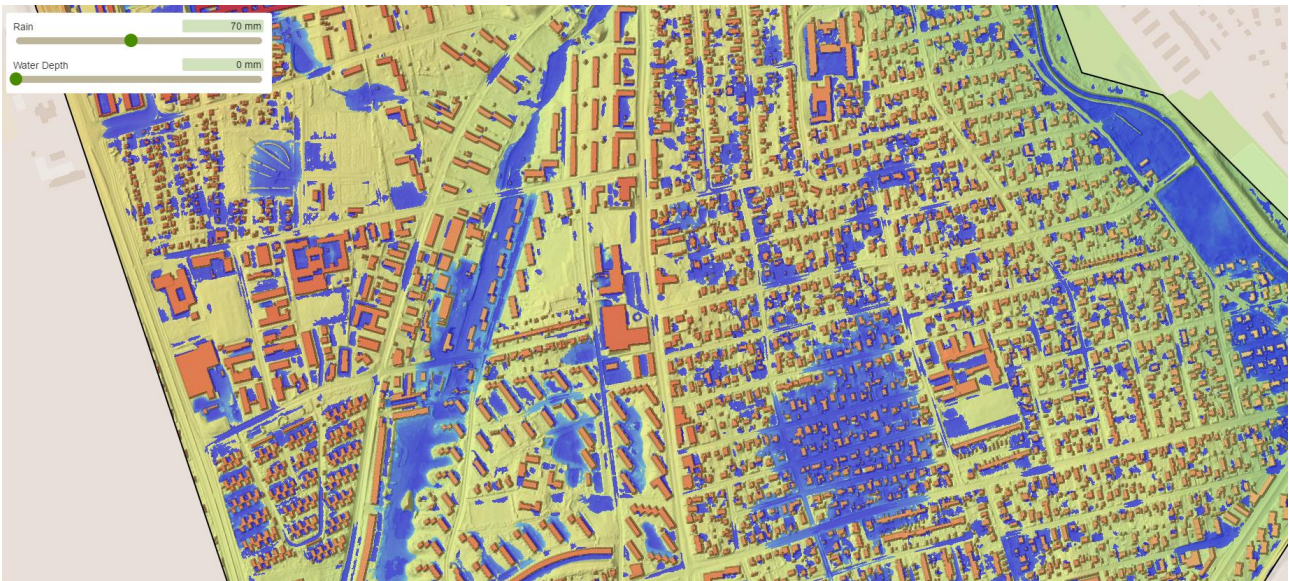


Figur 23: Kort over Hvidovre Bymidtes placering samt kort over potentielle områder til implementering af klimatilpasningstiltag. De blå pile viser vandets strømning (væk fra højderyggen) og den blå figur viser placeringen af et multifunktionelt regnvandsbassin.

Arkitekt Stine Christiansen var i 2015 på Klimatilpasningsuddannelsen hos Teknologisk Institut⁷, hvor hun lærte at bruge LAR-Dimensionering. Dette førte til at hun i helhedsplanen for Hvidovre Bymidte selv kunne estimere hvor store volumener regnvand der skulle håndteres ved forskellige regnhændelser. Metoden var 1) at kigge på oversvømmelseskortene produceret af Hvidovre Kommune [14], 2) identificere at udviklingsområdet lå på en højderyg, 3) beregne arealet af områdets samlede tagflader, 4) beregne volumenbehovet med LAR-Dimensionering og 5) designe løsninger med de beregnede volumener på potentielle områder fundet i bebyggelsen. Det førte til at løsningen på grønne områder og pladser alene kunne klare 30 % af en 100 års regn.

En hurtig analyse i SCALGO blev udført, men da ønsket i dette projekt var estimering af volumener, havde en SCALGO-analyse ikke kunnet bidrage til ret meget. Man kan se på Figur 24 at vandet naturligt lægger sig i en langstrakt figur vest for området og i et område med villaer mod øst. Dette stemmer overens med observerede problemområder. Dog var der ikke observeret problemer i projektområdet, men de akkumulerede oversvømmelser i problemområderne bliver mindre når regnen håndteres på projektområdet. SCALGO ville altså kun bidrage med en visualisering af højdemodellen i dette projekt, og det er derfor helt rigtigt at bruge LAR-Dimensionering i stedet.

⁷ <http://www.teknologisk.dk/kurser/klimatilpasningsuddannelse-fra-teknologisk-institut/k27716>



Figur 24: SCALGO-analyse med indtegnede lavninger, som er potentielle problemområder. På Hvidovre Bymidte opstår der ikke de store problemer, men nedbør fra området bidrager til oversvømmelser mod øst og vest.

05.06 Amager Fælled Kvarter

Vandkunsten har vundet konkurrencen om at bygge boliger og erhverv på den sidste etape i Ørestaden – Amager Fælled Kvarter. Det gamle naturområde på Amager Fælled bliver skærpet af bebyggelsen, og man forsøger derfor at skåne det mest muligt. Dette ved at bygge tæt mod vest, og etablere en blød kant mod naturområdet mod øst.



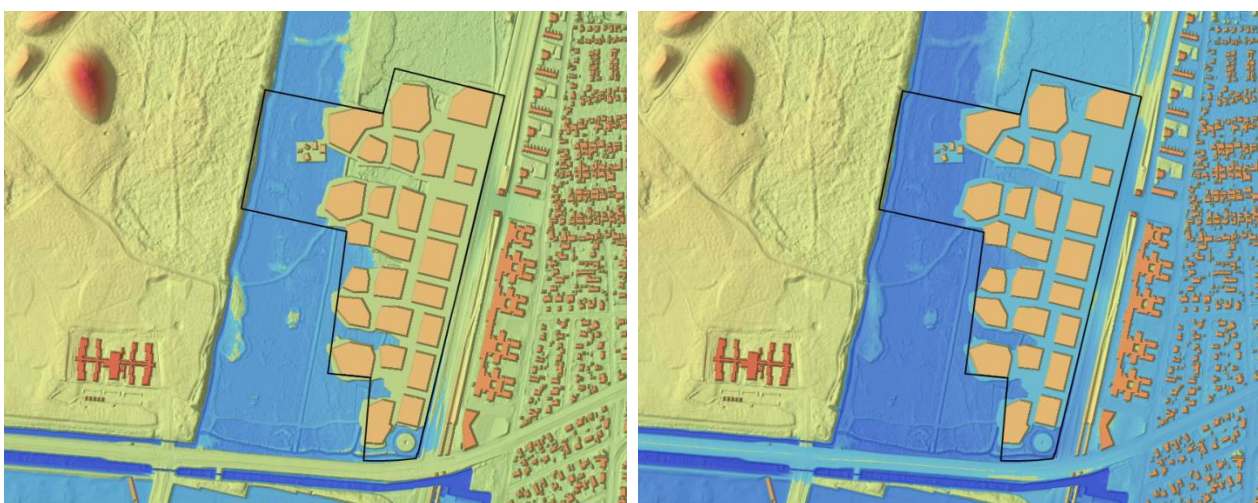
Figur 25: Indtegning af Amager Fælled Kvarter på kort og rendering af projektet.

Allerede ved at studere terrænmodellen i SCALGO, som kan ses i Figur 26, bemærkes terrænniveauet. Grunden ligger nemlig cirka i kote 1, hvorimod det tilstødende område i vest ligger i kote 4, da man har deponeret jord på dette område, hvor der engang lå en losseplads. Med den lavtliggende grund opstår der naturligvis problemer. Allerede inden SCALGO blev involveret i Amager Fælled projektet var dette problem dog identificeret, og man har derfor bestemt sig for at lægge bebyggelsen på et nyt jordlag i kote 2,5. Da det omkringliggende område ligger lavere end 2,5, vil al vand blive ledet til disse områder. Det gælder især det blivende Amager Fælled vest og nord for området og den meget lave underskæring ved metrostationen øst for området.



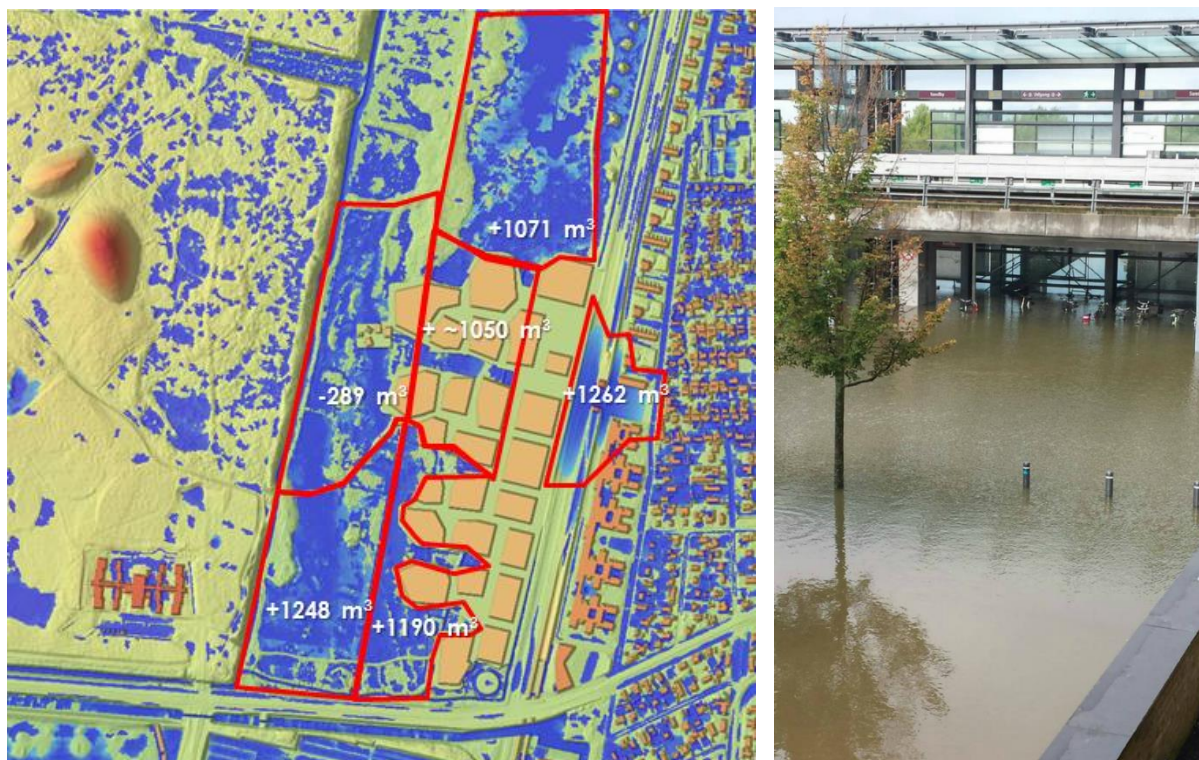
Figur 26: Terrænmodel for Amager Fælled i eksisterende forhold og simplificerede fremtidige forhold.

Pga. nærhed til havet og den lavtliggende placering valgtes det at lave en havstigningsanalyse, som kan ses i Figur 27. Niveauerne for havstigning er valgt til 1,78 m og 2,63 m. Førstnævnte niveau er valgt med baggrund i en artikel af Jevrejeva [15], hvor et værst tænkeligt scenarie for havstigning i 2100 globalt set er 1,78 m højere end nu. 2,63 m er hvor højt vandet kommer til at stå ved 100 års højvande ifølge Københavns Kommune i [16] i 2110. Det er derfor også deres anbefalede designkote for bygning af huse. Da bebyggelsen på Amager Fælled ligger i kote 2,5, vil den naturligt ikke blive oversvømmet ved en havstigning på 1,78, men derimod vil soklen lige netop stå under vand ved en stigning på 2,63 m. I det sidstnævnte tilfælde ses det dog at meget store dele af amager vil stå under vand ved sådan en havstigning, og man kunne derfor forestille sig at et projekt vil blive udført i at beskytte det tætbefolkede område ved at bygge diger om København og Amager.



Figur 27: Havstigning ved 178 cm og 263 cm.

Som afslutning på analysen blev skybrudsforholdene undersøgt. Da hele bebyggelsen er hævet vil al regnvand naturlig strømme ned til de lavere liggende områder omkring bebyggelsen, og bebyggelsen er dermed sikret for skybrud, så længe en fornuftig afstrømningsplan projekteres. I Figur 28 kan oversvømmelseskortet ses. Det blev observeret, at mængderne af vand ændrede sig, hvilket skyldes at al vandet fra bebyggelsesområdet strømmer af til de omkringliggende arealer. Mængderne ved metrostationen er i forvejen store (8098 m³), men stiger yderligere 1262 m³. Derudover ledes der ekstra vand til Amager Fælled. Dette kan både være en fordel og en ulempe, og hvis ulempen er for stor, kunne man eksempelvis overveje at implementere et underjordisk reservoir, til forsinkelse af vandet til kloakken (eller naturområdet) samt afhjælpning af oversvømmelserne ved metrostationen, som ved flere skybrud har stået under vand – blandt andet i august 2014, hvor teknikrummet blev ramt, og stationen lukkede i 3 uger⁸.

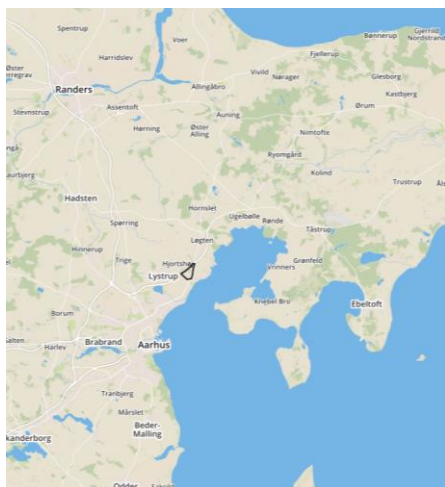


Figur 28: Til venstre difference i vandmængder i tilstødende områder til Amager Fælled Kvarter. Samlet set fordeler 5532 m³ ekstra vand sig i området ved et regnskyl på 70 mm. Til højre ses oversvømmelse af Sundby Station ved et skybrud i august 2014.⁹

⁸ <http://www.mx.dk/nyheder/kobenhavn/story/10322567>

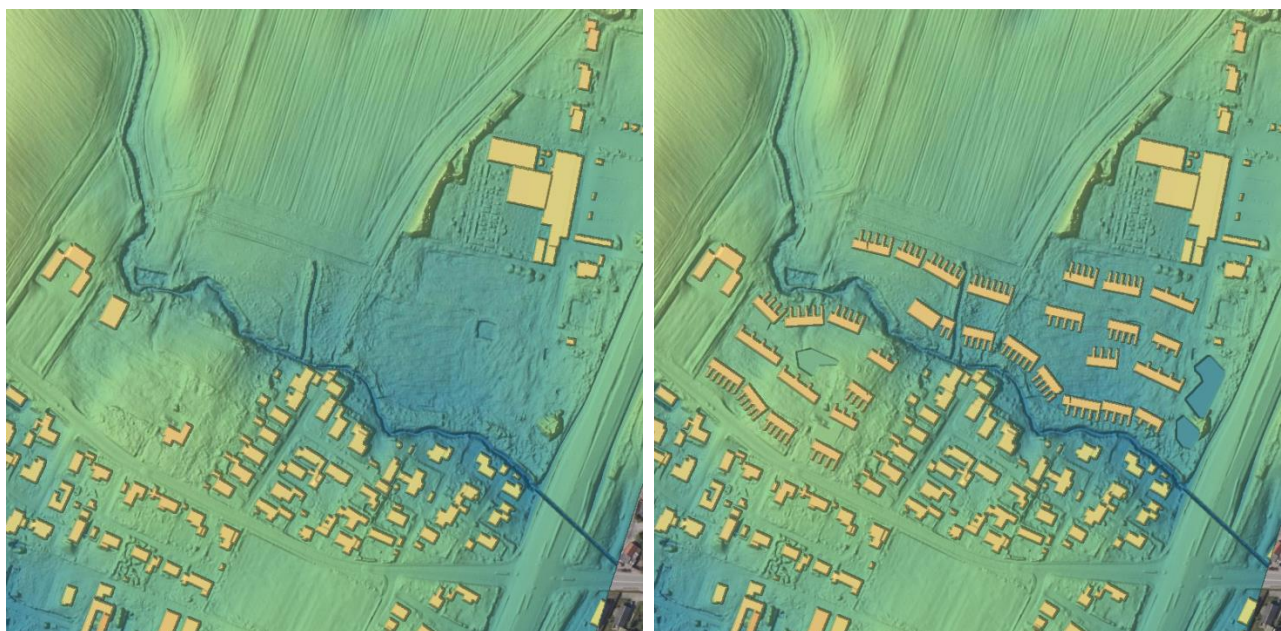
⁹ <https://prezi.com/eqbxkmd36qu/oversvømmelse-ved-sundby-station/>

05.07 Boliger ved bækken



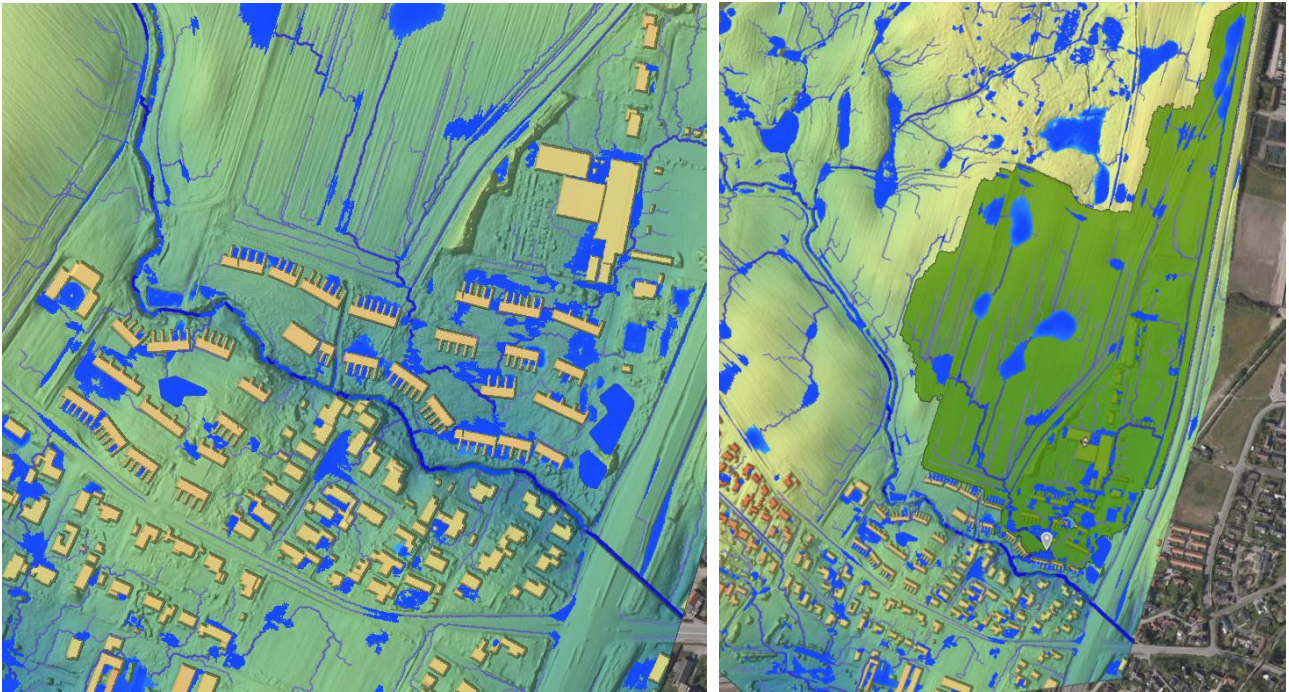
Figur 29: Oversigtskort og situationsplan af området hvor Boliger ved bækken skal opføres.

I projektet Boliger ved bækken lykkedes det at integrere SCALGO-analyser i den helt tidlige designfase. Projektet inkluderer en tæt boligbebyggelse på en tom byggegrund i Skæring nord for Aarhus, hvor Skæring Bæk løber igennem som et attraktivt naturelement. På terrænmodellen i Figur 30 ses det at bækken naturligvis danner en lavtliggende linje gennem bebyggelsen, hvor det meste vand i sidste ende vil løbe til. Derudover er den vestlige del af grunden fint hævet, mens den østlige del af grunden ligger temmelig lavt. Desuden bemærkes det at der er konstrueret en rende fra marken mod nord til bækken.

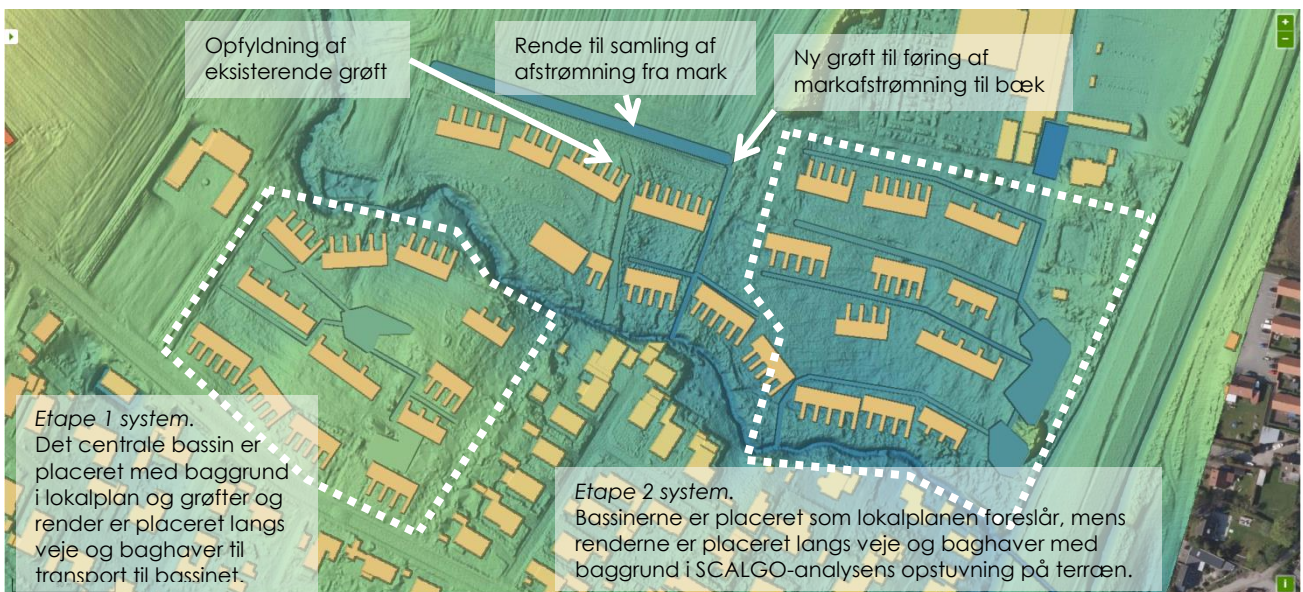


Figur 30: Terrænmodel i eksisterende forhold og med importeret bebyggelse og regnvandsbassiner.

Efter en oversvømmelsesanalyse (med 70 mm nedbør), som kan ses i Figur 31, blev følgende observationer gjort: 1) Bækken er den primære strømningsvej gennem området, og det meste overfladevand løber til i sidste ende i bækken, 2) antaget at intet vand løber til kloak, nedsivning eller tilbageholdes i overfladen, vil der ske opstuvning på terræn ved bebyggelse helt mod vest, samt i store dele af den østlige del af byggegrunden, 3) to store strømninger løber igennem den østlige del af området, som samler vand fra et 28 ha stort markområde. Den ene markante strømningsvej fra de nordlige marker, skulle sandsynligvis have ramt den konstruerede rende. Dette er dog ikke tilfældet, og renden har derfor umiddelbart ingen funktion.



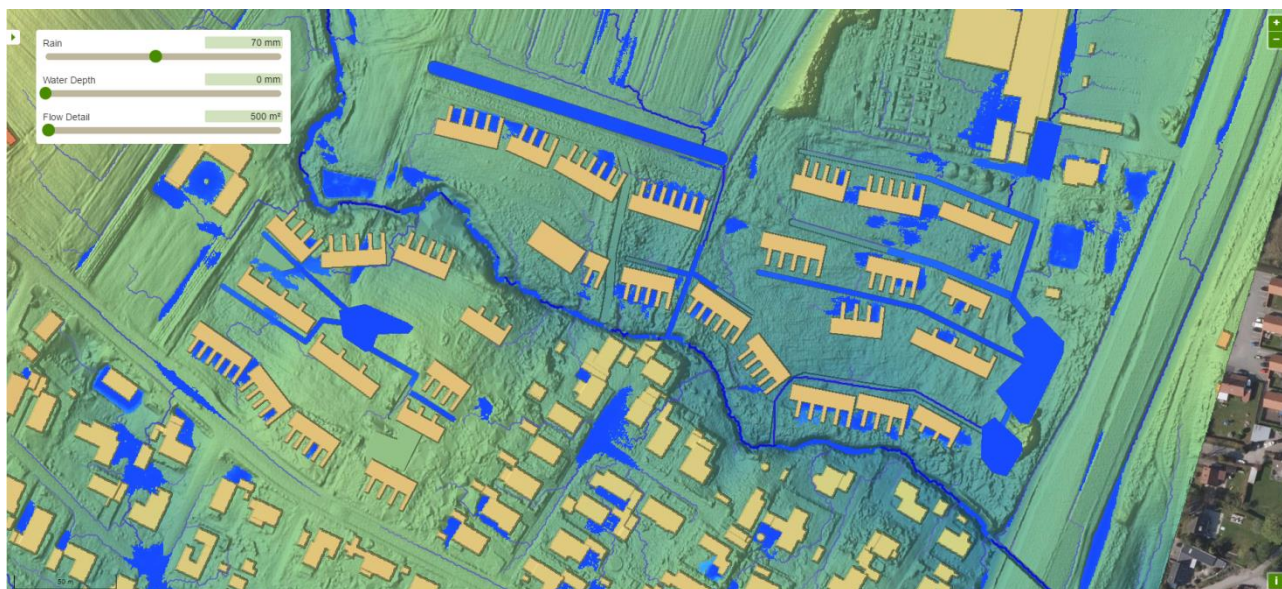
Figur 31: Til venstre ses et oversvømmelseskort med strømningsveje ved 70 mm regn. Det ses på opstuvningerne at der lægger sig meget vand på den østlige del af grunden samt at bygningerne helt mod vest ligger i et risikabelt område. På strømningsvejene ses en markant strømning igennem bækken, men også to store strømninger fra nord. De strømmer ned igennem det lavtliggende område, og rammer slet ikke den rende, som ellers formentlig er konstrueret til formålet. På kortet til højre ses oplandet til de to strømninger, som er 28 hektarer stort. Meget vil i de fleste nedside og holdes tilbage, da området primært består af mark.



Figur 32: Den udarbejdede løsning med baggrund i oversvømmelses- og strømningsanalyse samt projektmedarbejdernes kendskab til projektområdet.

Ovenstående kortanalyser blev udarbejdet på 2 timer frem til et møde med projektgruppen. Til dette møde blev de forskellige parametre der bidrager til landskabet mellem bygningerne diskuteret – heriblandt regnvandshåndtering. Løsningen på Figur 32 blev udarbejdet på mødet. Den inkluderer 1) to strømningsnetværk i den vestlige og østlige del af byggegrunden, 2) flytning af den eksisterende rende, så den ligger fra hjørnet af marken og nu kan føre strømmingen direkte mod bækken, og 3) en opsamlingsgrøft i bunden af marken, som kan opsamle og forsinke

regnvandet herfra. De markante grøfter i de to regnvandssystemer ser voldsomme ud, men markerer blot transportvejene for vandet, hvilket vil sige at de efterfølgende kan dimensioneres som det ønskes. Det kunne f.eks. være som regnebede eller render langs veje og haver eller i lukkede, nedgravede rør. I Figur 33 ses effekten af de implementerede designs, og de problematiske områder er nu håndteret så vandet enten ledes til regnvandsbassinerne eller bækken. Der er stadig vand i mange haver, men mængderne er så spredte og små, at de delvist vil nedsive og delvist vil løses i det detaljerede design, hvor man automatisk laver hældninger væk fra bygningerne.



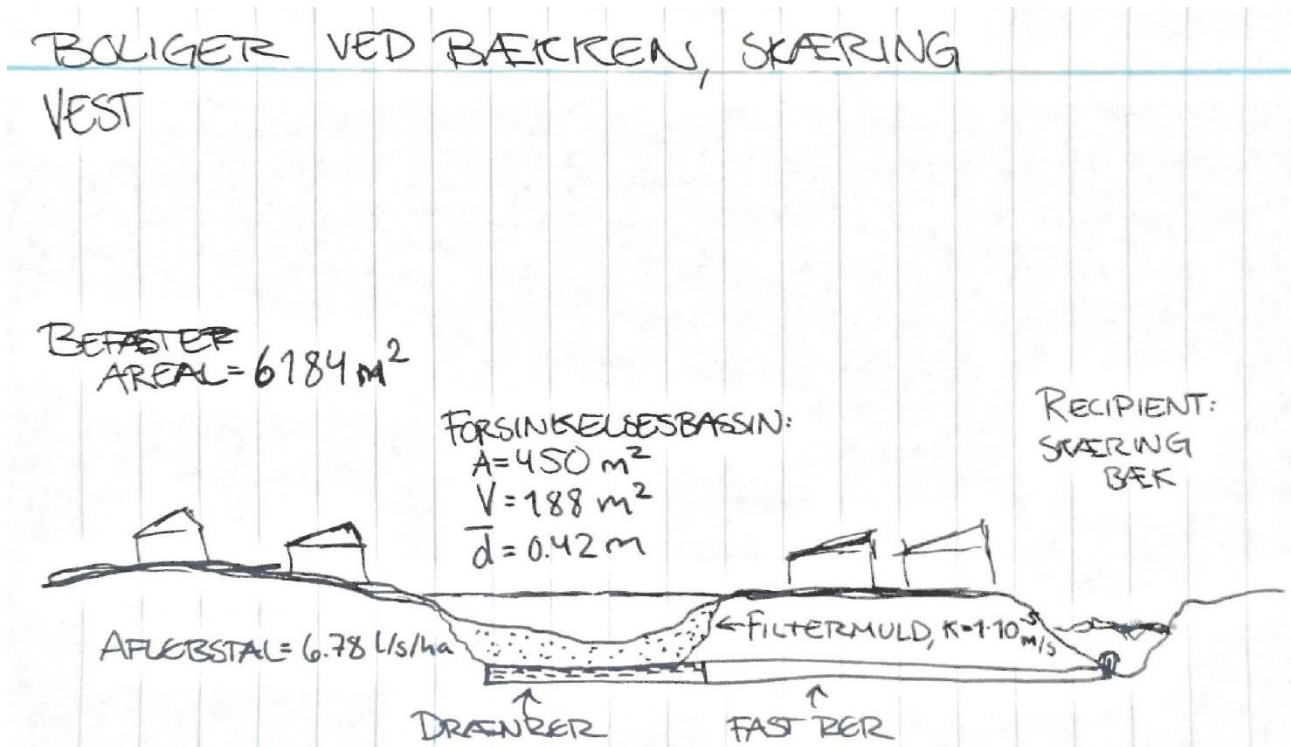
Figur 33: Effekten af det implementerede design. Renderne er overdimensionerede og symboliserer blot transport af vand. Det ses af de problematiske strømninger og opstuvninger nu håndteres af regnvandsbassiner og strategisk ledning mod bækken.

Der dimensioneres bassiner til en 5 års regn i LAR-Dimensionering, da området er separatkloakeret [8]. Det forbindende område i midten af bebyggelsen afleder vand til bækken, og en LAR-løsning er ikke indtænkt. Derfor beregnes der for de to områder markeret på Figur 34.



Figur 34: De to områder, hvor der skal afledes vand til forsinkelsesbassiner. Bassinerne dimensioneres med LAR-Dimensionering.

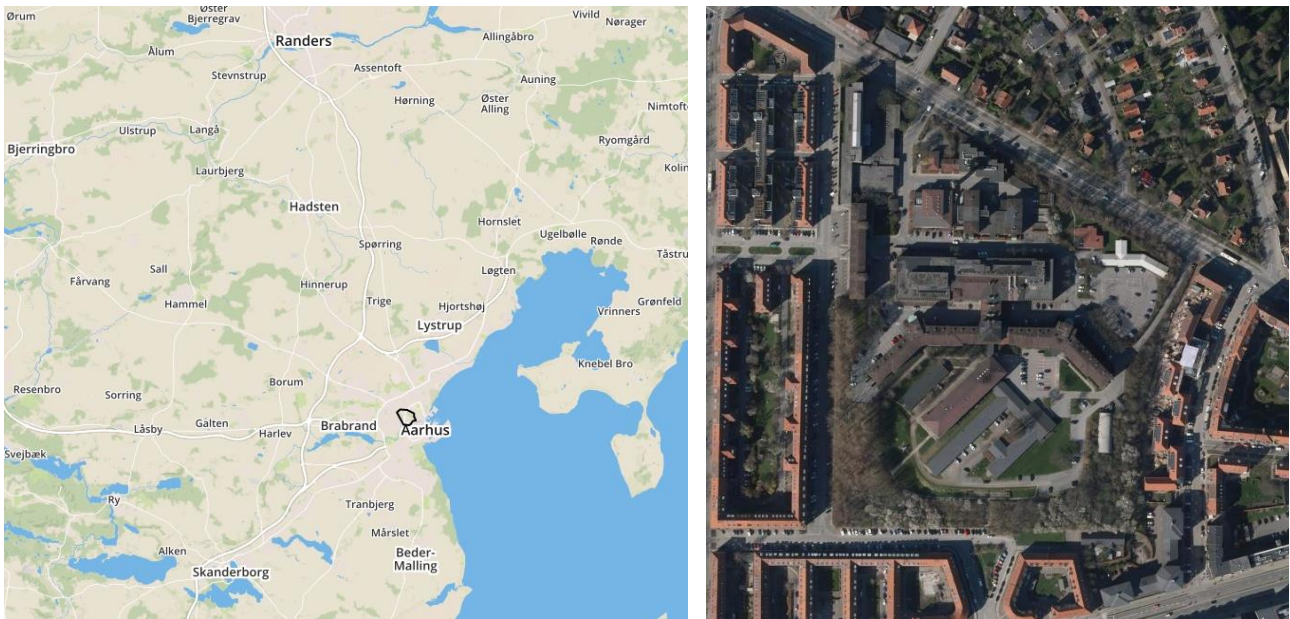
Område vest har et bebyggelsesareal på 2323 m² og et vejareal på 3861 m², hvilket giver et totalt befæstet areal på 6184 m². De geotekniske undersøgelser viser at undergrunden primært består af moræneler, og en dårlig nedsivningsevne på $5,5 \cdot 10^{-7}$ antages derfor. Overfladearealet af søen er kun 450 m², og volumenet for et bassin med ovenstående beregningsparametre beregnes derfor til at være 482 m³, med en dybde på 1,07 m og en meget lang tømme tid (541 timer = 22,5 dage). Dette er ikke en holdbar løsning. Derfor bør bassinet udformes med et overløb til bækken, eventuelt som vist på Figur 35 i et drænrør under bassinets bund af filtermuld eller lignende. Der skal installeres olieudskillere da der samles vand fra vejarealer.



Figur 35: Koncepttegning for bassinet i den vestlige del af Skæring. Bassinets bund består af jord/grus med en god nedsivnings- og rensningseffekt. Herunder kan et drænrør placeres, som i dette tilfælde ville dræne til bækken.

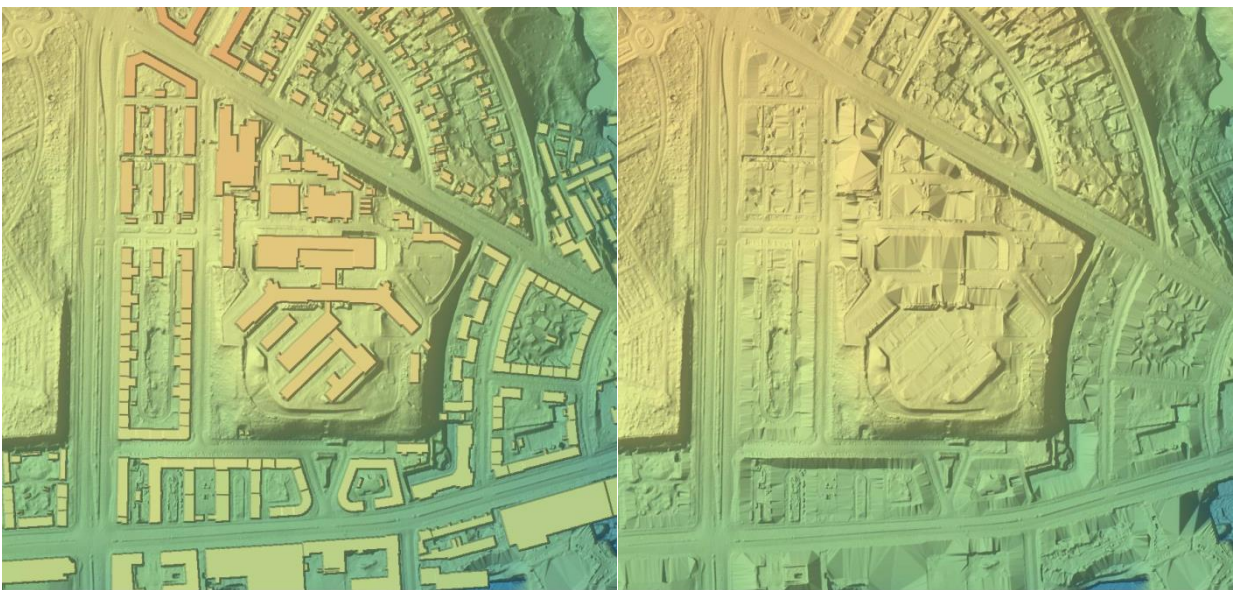
Område øst har et bebyggelsesareal på 2500 m² og et vejareal på 4700 m². Det giver et totalt befæstet areal på 7200 m². De to forsinkelsesbassiner har et overfladeareal på 1277 m². Da dette areal er så stort får bassinerne et fornuftigt samlet volumen på 478 m³, og altså en gennemsnitlig dybde på 0,37 m. Dog er tømme tiden 189 timer (~8 dage), hvilket er i overkanten, men det er ikke realistisk at nedbringe den med denne jordtype. Man kunne vælge at udføre en lignende løsning som i område vest hvis tømme tiden skal nedbringes. Dette vil i samme omgang kræve et mindre volumen.

05.08 Tage-Hansens Gade



Figur 36: Kort og luftfoto af Tage-Hansens Gade

Projektet på Tage-Hansens Gade var for alvor et projekt med indblanding tidligt i designfasen. Projektet omfatter en ombygning af det gamle amthospital i Aarhus til boliger, og er i den allertidligste fase, hvilket betyder at det endnu ikke er besluttet hvilke bygninger som skal bevares og hvilke som skal nedrives. En SCALGO analyse blev udført, hvor man i første omgang kunne konkludere at der på grunden ikke bliver tilført vand fra andre grunde. Ved at gange grundarealet på 68.600 m^2 op med nedbørsdybden på en 10 årsregn på 70 mm fås et totalt volumen på 4802 m^3 vand. Dette er ved 100% afstrømning. Terrænmodellen blev vist med eksisterende bygninger og på modelgrundlaget bygninger er trianguleret væk. På grund af kældernedgange o.a. giver terrænmodellen uden bygninger desværre ikke et helt sandfærdigt billede af terrænets udformning, men ellers ville det være et godt grundlag til at placere nye bygninger til en ny bebyggelsesplan. På nuværende tidspunkt er det desværre ikke muligt at korrigere terrænet til andet end vandrette flader.



Figur 37: Terrænmodel med og uden bygninger.

I oversvømmelsesanalyserne blev følgende observationer gjort:

1. Der sker opstuvninger af vand i den nuværende situationsplan, som kan ses på Figur 38. Det handler for de største volumener om 169, 128, 11 og 9 m³ vand. Situationen er formentlig anerkendt i virkeligheden hvor vandet nok ledes til kloakken.
2. Det resterende vand løber af hele grunden mod Silkeborgvej i syd, hvorfor det ledes i Aarhus Å.
3. Boligbebyggelserne i periferien er desværre recipient for noget af afstrømningen fra grunden. Dette ønsker Aarhus Kommune at undgå.



Figur 38: Oversvømmelsesanalyser fra SCALGO. Det ses at der omkring bygningerne er risikoområder. Vand fra disse områder ledes formentlig på nuværende tidspunkt væk i kloakken. Derudover ses det på figuren til højre, at vand fra hele grunden naturligt strømmer til Silkeborgvej, hvorfra det løber til Aarhus Å.

I programmet blev en vifte af ønsker og krav præsenteret. Blandt disse var kravene til regnvandshåndtering at regnvandet enten skal nedsives, genanvendes eller renses før det ledes mod Aarhus Å. Derudover er det et ønske at minimum en 10 års regn skal kunne håndteres. Samtidig med dette er et krav at bebyggelsen bliver tæt, hvilket betyder at en underjordisk løsning muligvis være en idé.

En hurtig analyse blev lavet i LAR-Dimensionering. Ved et befæstet areal på 50 % af grunden (34.300 m²), en hydraulisk ledningsevne på $1 \cdot 10^{-6}$ m/s vil der ved en 10 års regn skulle laves et regnbed (bassin) på 2330 m³ (ved et areal på 5000 m² og en dybde på 0,47 m). Dette areal vil ved meget tæt bebyggelse være svært at finde.

I projektet blev der i øvrigt rådgivet i hvordan regnvand kan håndteres på begrænset plads og indbyde til aktivitet, samt hvilke løsninger man kan implementere på stejlt terræn, som der findes i grundens periferi.

05.09 Delkonklusion på casestudier

Følgende delkonklusioner fra de enkelte cases kunne drages:

I projektet ved *Trekroner* blev det konkluderet, at tre forskellige analyser kunne give værdi til projektet: 1) en analyse af det eksisterende terræn uden bebyggelse, 2) en analyse af strømningforholdene i den foreslåede bebyggelsesplan, og 3) en analyse af et foreslået LAR-design, og derefter brug af SCALGO som værktøj til at tilrette og tilføje elementerne. Den sidste analyse gav svar på om designet var optimalt til at fange de naturlige strømninger, og inddragelsen af SCALGO resulterede i små korrektioner af dette design. LAR-Dimensionering blev brugt til at finde hvilket bassinvolumen der er behov for på grunden med det nuværende overfladeareal. Ved en gentagelsesperiode på 5 år, en dårlig nedsivningsgrad på $5,5 \cdot 10^{-7}$ og et overfladeareal på 470 m² fås et volumen på 173 m³ med en gennemsnitlig dybde på 0,37 m.

I rækkehusbebyggelsen i *Havdrup Vest* blev en analyse lavet i både SCALGO, LAR-Dimensionering og LAR-Potentiale. SCALGO viste nogle risikoområder – især i den sydlige del af bebyggelsen. Der er dermed skabt opmærksomhed om at der muligvis bør gøres noget i dette område, hvor vand fra et 33 ha stort område ledes til. De to regneark-værktøjer viste at der ved en 5-års regn og 2600 m² håndteringsareal (tagflader) kan etableres ét stort regnbed på 155 m³ (LAR-Dimensionering) eller for enden af hver af de ni bygninger kan etableres regnbede med indbygget forsinkelse med et overfladeareal på hver 25 m².

Bank-Mikkelsens Vej adskilte sig fra de to forrige ved at være en ombygning af eksisterende forhold. Derfor ændres dele af terrænet, hvilket på nuværende tidspunkt er svært at modellere i SCALGO. Et forsøg med import af kurver fra CAD-tegninger blev forsøgt, men dette gav for udetaljerede resultater. Sivebassinnet i projektet blev projekteret til at kunne rense og lede vand fra tagene til Gammelmosen, hvortil man ønsker mest muligt rent vand. Gennem vejledning fra ingeniører blev en god løsning projekteret. Det blev fundet vha. LAR-Dimensionering, at nedsivningsevnen i bassinet skulle være $1,55 \cdot 10^{-4}$ for at det ville kunne håndtere regnvand fra 10.000 m² tagareal ved en 10-års regn.

Et projekt der adskiller sig endnu mere fra de resterende er *Lisbjerg Bakke*. I dette tilfælde skyldes adskillelsen dog skala, da projektet er en masterplan. SCALGO blev brugt af de tilkoblede ingeniører, COWI, til at vise overordnede strømninger på det store, stejle område. Det blev konkluderet at de værktøjer som undersøges i dette projekt i højere grad understøtter en lavere skala, og at det i et projekt som dette kræver indblanding fra ingeniører til at håndtere kompleksiteten i masterplaner.

Hvidovre Bymidte blev ikke modelleret i dette projekt, men repræsenterer et projekt, hvor modelleringen af tilbageholdelsesvolumenerne blev udført af Stine Christiansen, som er arkitekt på tegnestuen. Det blev gjort med LAR-Dimensionering.

Et projekt hvor SCALGO's havstigningsmodul blev relevant, var *Amager Fælled Kvarter*. I dette projekt bygges en ny bebyggelse på terræn i 1 m over havets overflade, og det bygges derfor på puder af hævet terræn. Pudernes højde kan bestemmes ift. hvor højt havvandet forventes at stige. Derudover vil afvanding kunne modelleres ind i det nye terræn, og nedbørsanalyserne giver derfor ikke andet svar end hvor meget vandtilførelsen til de indskrænkede naturarealer og den lavtliggende underføring ved metrostationen stiger.

Den måske mest succesfulde case i projektet var *Boliger ved bækken* nord for Aarhus, hvor SCALGO-analyser blev introduceret mens bebyggelsesplanen stadig kunne ændres. På den måde blev vandføringsveje modelleret, så man fangede de naturlige strømningsveje og opstuvninger/risikoområder på terrænet. De markerede nedsivningsområder fra lokalplanen blev desuden undersøgt. Fra den geotekniske rapport var det fundet at undergrunden i høj grad bestod af moræneler, som har en meget ringe nedsivningsevne. En konstruktion med filtermuld og drænrør til recipienten, Skæring Bæk, blev derfor udtænkt i Vest, mens bassinvolumenerne var tilstrækkelige til forsinkelse af en 5-års regn i Øst.

Den sidste case, *Tage-Hansens Gade*, er et eksempel på et projekt i så tidlig en fase, at ingen præcise svar kan gives. Det blev dog konkluderet at grunden ligger højere end de omkringliggende områder, hvorfor der kun skal håndteres et regnbidrag fra egen grund. LAR-Dimensionering viste, at hvis man ønsker at håndtere regnvandet i et regnbed/regnvandsbassin, ville det skulle have et volumen på 2330 m³, hvilket strider mod ønsket om tæt bebyggelse. En løsning kunne derfor være et underjordisk forsinkelsesbassin.

06 Fremtidig udvikling

I undersøgelserne med SCALGO blev det fundet, at værktøjet rummer stort potentiale – især i den allertidligste proces, hvor bygningerne stadig kan placeres. Muligheden for at beregne strømninger på overfladen var især et godt værktøj, som kunne bruges til at "indfange" vand til mere kontrollerede forhold i et projekts afvandingsdesign. Dog viste SCALGO også begrænsninger – især da det kvantitative grundlag ikke var vurderet realistisk i forhold til de faktiske forhold. Dette skyldes at hverken nedsivning, tilbageholdelse i overfladeruhed eller kloaksystemet er en del af modelleringen. Hvis man derfor bruger sammenhængen mellem gentagelsesperiode og nedbørsmængde fra [7], vil resultatet af opstuvning på terræn være overestimeret, og de bassinvolumener man dimensionerer med SCALGO vil derfor være for store. For at løse de kvantitative spørgsmål i en planlægningssammenhæng er LAR-Dimensionering brugbart i en lang række tilfælde. Dette værktøj mangler til gengæld den rumlige faktor for at kunne løse en planlægningsopgave. En måde at få et kombineret svar på både strømninger og volumener vil være ved enten 1) at korrigere datagrundlagene i SCALGO, så det viser mere korrekte kvantiteter, 2) at bruge SCALGO til at løse de strømningsmæssige spørgsmål og løse kvantitative spørgsmål ved hjælp af LAR-Dimensionering eller LAR-Potentiale eller 3) at udvikle et nyt værktøj eller sammenkoble eksisterende værktøjer så det kan vise resultater som en kombination af overfladens udformning og de kvantitative behov.

06.01 Korrektioner i SCALGO

I det følgende er en metode for korrektion i SCALGO forsøgt udviklet. Antagelserne i SCALGO, som er nævnt i afsnit "04.01.01 Beskrivelse", gør at resultaterne er forvredne i forhold til virkeligheden. Da det ønskes at nå frem til et så realistisk resultat som muligt, forsøges det at korrigere inputs og terræn, så SCALGO ville kunne bruges til at modellere faktiske, og realistiske, volumener. Processen for dette er 1) at identificere usikkerheder/tab, 2) at finde måder hvorpå disse usikkerheder udlignes så meget som muligt og 3) afprøvning og sammenligning med cases fra tegnestuen med eksisterende beregninger.

06.01.01 Identifikation af usikkerheder/tab

SCALGO beregner tidsafhængige resultater på baggrund af den digitale højdemodel og et regndata-input. I Figur 39 ses konceptet for modelleringen i SCALGO, samt nogle identificerede tab, som modellen ikke medregner.

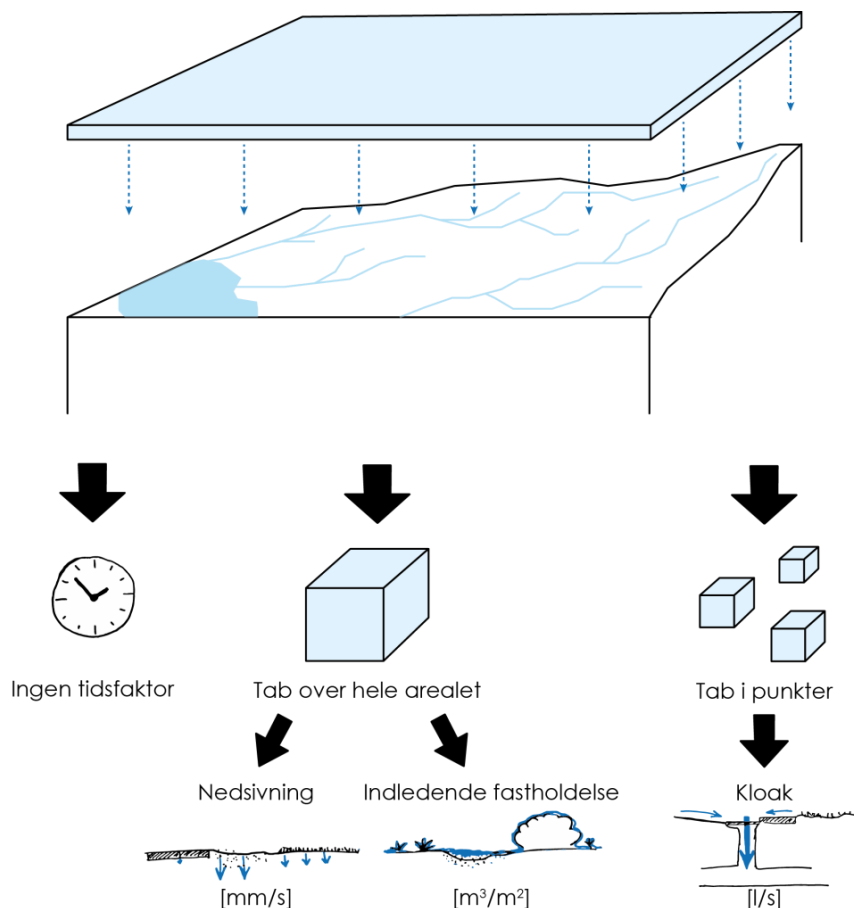
Regndataene antages jævnt fordelt over et areal på terrænet. Det vil sige at den valgte nedbørsmængde (i mm) ganget med projektområdets areal giver et totalt vandvolumen, som efterfølgende fordeler sig på terrænet i lavninger. Da overfladen på modellen er antaget som "glass-surface", tages der ikke højde for vand som nedsiver eller det der i den indledende regnfase hænger fast på overfladeelementer (græs, sten osv.). Andelen af vand der holdes tilbage, antages at være afhængig af regnhændelsens længde og intensitet – en stor andel holdes tilbage ved hverdagsregn og en lille andel ved ekstremregn.

Kloaksystemet antages insignifikant i SCALGO. Dette er især ikke retvisende i urban kontekst, hvor kloaksystemet er dominerende. Kloaksystemets kapacitet er tidsafhængig, og man regner derfor ofte med hvor meget vand der er ført væk i liter per sekund. Alternativt vil kloaksystemets kapacitet kunne udtrykkes ved hvilken gentagelsesperiode det er dimensioneret til at kunne håndtere. Ifølge [8] er separatkloakering som tommelfingerregel dimensioneret til 5 års regn, mens fælleskloakering er dimensioneret til 10 års regn.

En anden antagelse i SCALGO er, at de faktiske hændelser er *tidsafhængige*. Resultatet viser altså hvor vandet vil lægge sig efter alt har fordelt sig i lavningerne. Hele processen fra regnen opstår til at al vand har fordelt sig, er derfor negligeret. I denne proces foregår både nedsivning, optagelse i kloakker og decideret forsinkelse på overfladen og i forsinkelsesbassiner. Den sidstnævnte er en vigtig metode til håndtering af regnvand, og en korrektion for dette ville derfor være yderst brugbar.

06.01.02 Udligning af usikkerheder

Et excel-værktøj blev udviklet til at korrigere *regn-inputtet* til SCALGO, så programmet viser mere retvisende volumener (*ikke præcise volumener*).



Figur 39: Modelleringsgrundlag i SCALGO, samt identificerede tab. SCALGO udfører beregninger på baggrund af terrænmodel og nedbørsmængde. Identificerede tab, som ikke medregnes, er for nedsivning, indledende fastholdelse og kloak.

Tabet af vandmængder til nedsivning og indledende fastholdelse i modellen antages at kunne findes som en gennemsnitlig faktor over hele projektarealet på baggrund af overfladekategorisering. For korrektion for dette blev der derfor fundet to løsningsmuligheder:

1. Beregning af en korrektionsfaktor for det specifikke projekt, hvor konkrete arealer og overflader opgøres, eller
2. Forudberegnete korrektionsfaktorer for forskellige kategorier af bebyggelser – f.eks. tæt by, grøn by, villakvarter eller bar mark.

Den første løsning vælges for at finde en projektspecifik afløbskoefficient, mens den anden løsning er en hurtig måde at få et korrigeret regn-input til sin SCALGO-model. Værktøjet består af forskellige faner, hvor afløbskoefficienten udregnes. Uanset om man vælger den ene eller anden metode indtastes nogle grundinformationer på forsiden – hvilken gentagelsesperiode der ønskes dimensioneret for (0,2, 1, 5, 10, 20, 50 eller 100 år) og hvilken metode ("Beregn for specifikt projekt" eller "Slå op for typebebyggelse") man ønsker at bruge. Hvis man ønsker at *beregne for sit specifikke projekt* kræver det at man laver en arealopgørelse for de forskellige overfladeelementer i området. Arealer tages derefter ind ud for de tilhørende overfladetyper og nederst i arket fås dermed en gennemsnitlig korrektionsfaktor. På forsiden gives det resulterende nedbørs-input som tages ind i SCALGO. Hvis denne proces er for tidskrævende kan en estimeret korrektionsfaktor findes ved at *vælge en typebebyggelse*. De kategoriserede bebyggelsestyper er præsenteret i Figur 40, og er estimerede ud fra udklip fra luftfotos.

1. Bar mark

Intet eller stort set intet befæstet areal.
Bebyggelsesprocent på 0-5 %.

Korrektionsfaktor: 10 %

Tilsvarende cases: Eksisterende forhold for nybyggeri (Skæring, Trekroner, Havdrup etc.)



2. Villakvarter

Enfamiliehuse med private haver og villavej. Arealet af terrasse kan variere, men generelt ser man store arealer med græs og bede. Bebyggelsesprocent på 20-40 %, derudover arealer til veje og terrasser.

Korrektionsfaktor: 10 %

Tilsvarende cases: Bank-Mikkelsens Vej,

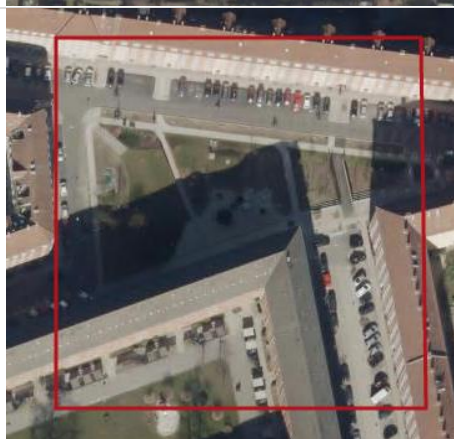


3. Grøn by

Tæt bebyggelse, men med grønne lommer og pladser. Implementerede tiltag, hvor der nedsives, fordampes og forsinkes. Bebyggelsesprocent på 30-60 %, derudover betydelige arealer til veje.

Korrektionsfaktor: 65 %

Tilsvarende cases: Hvidovre Bymidte, Amager Fælled Kvarter.



4. Tæt by

Meget tæt bebyggelse. Kun få gårdpladser, hvor der typisk ikke er implementeret regnvandstiltag. Bebyggelsesprocent på 60-80 %, derudover store arealer til veje og gårdrum.

Korrektionsfaktor: 85 %

Tilsvarende cases: Tage-Hansens Gade.



Figur 40: Kategoriserede bebyggelsestyper og dertilhørende korrektionsfaktorer til nedbørs-input i SCALGO.

En korrektion for kloakker blev ikke afprøvet, men kan umiddelbart ske på to måder: Ved indtegning af tilpas store huller hvor kloakskakterne er placeret, eller ved at trække et regndata svarende til hvad kloakken er dimensioneret til fra regn-inputtet. Hvis alt regnvand ønskes håndteret på egen grund, kunne man argumentere for slet ikke at modellere kloaksystemet. Dog kunne man måske ønske eksempelvis at håndtere en 10-årsregn på egen matrikel, men lade regnhændelser over dette overløbe til kloaksystem. Dette ville muligvis også kunne håndteres med SCALGO, men er ikke undersøgt nærmere i dette projekt.

At gøre beregningerne tidsafhængige er ikke undersøgt nærmere i dette projekt.

06.01.03 Afprøvning af korrektioner

Værktøjet blev afprøvet i casen "Boliger ved Bækken" (som er analyseret i "05.07 Boliger ved bækken"). Arealerne på de forskellige overflader blev indtastet i værktøjet og en korrektionsfaktor på 42 % blev givet. Ved en 5 års regn, som systemet skal dimensioneres til da der er separatkloakeret, fås en nedbørsdybde på 25,3 mm, som indtastes i SCALGO i stedet for de 60 mm givet af [7]. I Figur 41 kan beregningerne ses.

Beregning af korrektionsfaktorer for specifikt projekt

Indtast arealer fra bebyggelsen under nedenstående liste med tilsvarende overfladetyper. Den endelige korrektionsfaktoren er: **42** %

Gentagelsesperiode (fra forside): **5** år

Areal for hele bebyggelsesplan: **60500** m²

Eksempelkatalog over overfladetyper kan ses **HER**

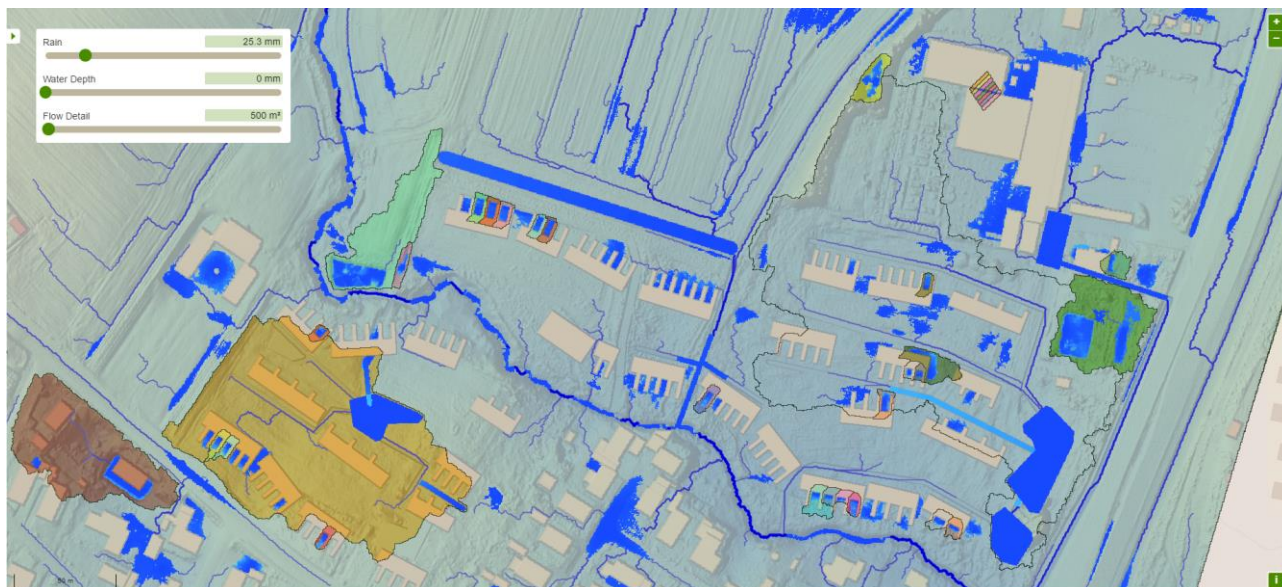
Tilbage til forsiden

Overfladetype:		Anbefalet afløbskoefficient, Ψ [-]	Målt areal [m ²]	Valgte afløbskoefficient, Ψ [-]	Reduceret areal [m ²]
Skråt tag	Glas, skifer, fibercementplade	0,9-1,0	0	0,95	0 m ²
	Tagsten	0,8-1,0	9700	0,90	8730 m ²
Fladt tag (hældning op til 3°/5%)	Glas, skifer, fibercementplade	0,9-1,0	0	0,95	0 m ²
	Tagpap	0,9	0	0,90	0 m ²
	Grus	0,7	0	0,70	0 m ²
Grønt tag (hældning op til 15°/25%)	Jordlag < 10 cm	0,5	0	0,50	0 m ²
	Jordlag > 10 cm	0,3	0	0,30	0 m ²
Veje, stier, pladser	Asfalt, beton (uden fuger)	0,9	11210	0,90	10089 m ²
	Belægning med tætte fuger	0,75	6760	0,75	5070 m ²
	Hård grusoverflade	0,6	0	0,60	0 m ²
	Belægning med åbne fuger	0,5	0	0,50	0 m ²
	Løs grusoverflade eller græs	0,3	0	0,30	0 m ²
	Permeabel filsebelægning	0,25	0	0,25	0 m ²
Grønne områder	Permeabel græs-belægning	0,15	0	0,15	0 m ²
	Flat terræn	0,0-0,1	32830	0,05	1642 m ²
	Stejlt terræn	0,1-0,3	0	0,20	0 m ²
Samlet arealer:			60500 m ²		25531 m ²
Gennemsnitlige afløbskoefficient (og dermed korrektionsfaktor):				42 %	

Figur 41: Udklip fra værktøjet, hvor det reducerede areal og dermed endelige afløbskoefficient beregnes.

Efter indtastning i SCALGO på projektområdet ses det, at regn fra områderne Vest og Øst håndteres i de dertil designede forsinkelsesbassiner. Bassinernes størrelser blev bestemt i LAR-Dimensionering, hvor det vestlige bassin fik en dybde på 1,07 m og de to østlige bassiner fik dybder på 37 cm. Førstnævnte dybde er urealistisk og løsningen blev tilrettet med mere nedsvivningsvenlig filtermuld og drænrør til bækken, men dimensionen er fint til kalibrering af korrektionsfaktor-værktøjet, hvor den hydrauliske ledningsevne skal være ens i hele projektet. Som det ses i Figur 42 dannes der to oplande i Vest og Øst (vandoplandet i Øst er lidt utydeligt, da det har samme farve som det resterende opland, men hvis man kigger efter, er rammen markeret med en sort streg). Oplandene viser et område hvorfra regn håndteres i en lokal lavning. Al regnvand der lander i det gule område håndteres altså i det vestlige forsinkelsesbassin, ved en nedbør på 25,3 mm, som altså er tilsvarende en 5 års regn korrigeret ned fra 60 mm, mens al vandet fra det grå område med sort ramme håndteres i det østlige forsinkelsesbassin, under de samme forhold.

Ved at sætte nedbøren trinvist op i SCALGO, blev det yderligere fundet, at bassinet i Vest overløber ved 27,5 mm, mens området i Øst overløber ved 30,9 mm. For Vest er dette 9 % over de indtastede 25,3 mm, mens det for Øst er 22 % over. I forhold til dette enkelte projekt stemmer korrektionen altså nogenlunde overens med beregningerne fra LAR-Dimensionering, dog med et underestimat, hvilket betyder at korrektionen er konservativ, og derfor vil give en smule større volumener end der er brug for. Dette kan anses som en sikkerhedsfaktor.



Figur 42: Figur fra SCALGO af den foreslåede LAR-løsning i Boliger ved Bækken, Skæring. Det ses på vandoplendene (gult og gråt område med markeret sort ramme) at områderne Vest og Øst håndterer regnvand i de designede regnvandsbassiner. Dybderne på regnvandsbassinerne er givet fra LAR-Dimensionering ved en 5 års regn fra det lavest liggende punkt i bassinkanten, som ofte er overløbsrenden.

Der er ingen tvivl om at ovenstående eksempel ikke er nok evidens for at man kan konkludere at korrektionsværktøjet leverer sandfærdige resultater, og dette bør derfor undersøges grundigere. Der vil altid være en usikkerhedsmargin, men denne er af samme årsag stadig ukendt.

06.02 SCALGO i kombination med andre værktøjer

Både SCALGO og de to regneark til dimensionering af LAR-løsninger har stor berettigelse hos Tegnestuer. Et kombineret værktøj, som samtidig er hurtigt, intuitivt og grafisk, ville derfor ramme ned i et stort behov hos arkitekter, landskabsarkitekter og planlæggere. Så længe dette værktøj ikke er udviklet endnu, må man ty til at bruge flere værktøjer. En kombination af at bruge SCALGO og regnearkene er derfor en god løsning nu og her. På den måde kan folkene på projektet både vha. SCALGO svare på spørgsmålet: "Hvor løber vandet?" og vha. regnearkene svare på spørgsmålet "Hvor store skal vores anlæg være?".

I casestudierne ovenfor blev begge værktøjet ofte brugt, hvilket i første omgang gav mulighed for at placere de rumlige elementer og derefter svarede på hvor store anlæggene nogenlunde skulle være.

06.03 Udvikling af nyt værktøj

Som nævnt er der et potentiale for at udvikle et godt værktøj henvendt til den kreative og tidlige skitseringsfase. Elementer ved eksisterende værktøjer fungerer allerede godt, men især den grafiske platform, samt koblingen mellem det rumlige og det kvantitative ville være eftertragtet. Fra dette projekts behovsanalyse og casestudier er følgende elementer observeret eftertragede i et nyt værktøj (eller kobling af eksisterende) i prioriteret rækkefølge:

1. Angivelse af et estimeret volumen der skal skabes i landskabet for at håndtere en vis regnmængde.
2. En grafisk platform, som viser resultaterne på en illustrativ og rumlig måde frem for med tal og grafer.
3. Angivelse af hvordan vandet strømmer på overfladen.

4. Et værktøj som er hurtigt at bruge, intuitivt og kommunikativt.
5. Mulighed for at tilgå kort baggrundsinformation, som kan give én et mere dybdegående og informeret grundlag for ens designs.
6. Et modul med gennemgang af proces, så man husker alt der skal huskes (f.eks. i forhold til myndigheder).
7. Gennemgang af forskellige løsningsmetoder og gode eksempler på disse metoder.
8. Muligvis et modul hvor man direkte kan modellere i terrænet.

Ikke alle disse idéer er nødvendige i et nyt værktøj, men de giver et billede af hvad der kunne være nyttigt for en tegnestue. Punkt 1-4 er dog ekstra eftertragede for tegnestuer.

Udfordringen ved eksisterende værktøjer er, at ingen af dem er udviklet med direkte henblik på arkitekters arbejde. Derfor har man tit brug for en dyb baggrundsviden om emnet, brugerfladen er ikke grafisk kommunikativ og værktøjerne er ikke udviklet til at designe LAR-elementer til designkriterier (eksempelvis gentagelsesperiode på 5 eller 10 år).

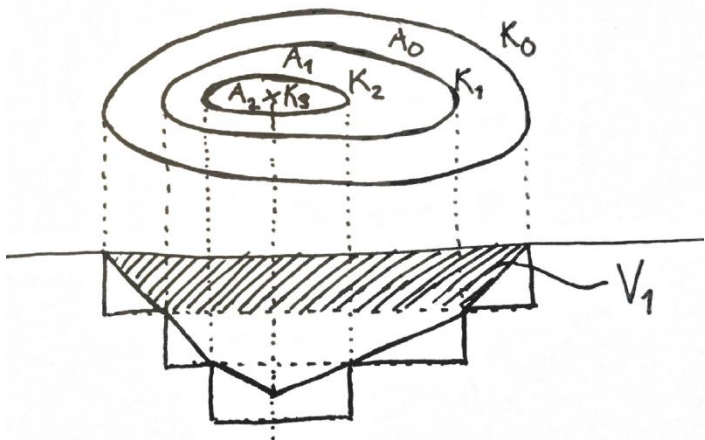
06.03.01 Volumenberegningsværktøj

Thomas Nybo Rasmussen udviklede i løbet af projektet et simpelt værktøj til beregning af volumener i blødt kurvet terræn. Da grundlaget landskabsarkitekter arbejder ud fra ofte er designet på plantegninger med indtegning af kurver, er det en fordel hurtigt at kunne beregne bassinvolumener for denne slags implementeringer.

Beregningen antager en flad hældning mellem kurverne. Det betyder at jo kortere intervaller der er mellem kurverne og jo fladere et terræn der opereres i, jo mere præcist bliver resultatet. Beregningerne udføres vha. to formler, som kan ses i Figur 43. Det samlede volumen, V_{Total} , beregnes ved at lægge delvolumener, V_n , for hver kote sammen. Delvolumenerne beregnes ved det fulde volumen for en kurves udformning ned til næste kurve, hvorfra et halvt volumen for forskellen mellem to kurver trækkes.

$$V_{Total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

$$V_1 = (A_0 \cdot (K_0 - K_1)) - ((A_0 - A_1) \cdot \frac{K_0 - K_1}{2})$$



Figur 43: Formler og forståelsesfigur for beregning af volumen i et organisk formet bassin.

Ved at bruge dette værktøj fås et totalt volumen som kan sammenlignes med regnearksværktøjerne eller modelleres i SCALGO.

På Figur 44 er beregnet et eksempel med tegningen fra Figur 43 vist. Tegningen viser et overdimensioneret bassin som antages at have 0,5 meters koter. Nederste punkt i bassinet er i kote 0,85. Dette er ikke angivet med en kote, men blot med en punktmarkering på tegningen. Arealerne for hver kote er henholdsvis 50, 18 og 4 m². Bundkoten har ikke noget areal, men danner stadig et volumen. Ved at bruge ligningerne fra Figur 43 fås delvolumenerne i den grønne kolonne, som samlet set giver et totalt volumen på 22,8 m³. Gennemsnitsdybden er desuden beregnet ved at dividere det samlede volumen, V_{Total} , med arealet af den første kurve, A_0 .

Kurve	Kurve [m]	Delareal	Areal A [m ²]	Delvolumener	Volumener V [m ³]
K0	2,00	A0	50	V1	17
K1	1,50	A1	18	V2	5,5
K2	1,00	A2	4	V3	0,3
K3	0,85	A3	0	V4	0
K4		A4		V5	0
K5		A5		V6	0
K6		A6		V7	0
K7		A7			

Samlet volumen:	22,800 m³
Gennemsnitlige dybde:	0,46 m

Figur 44: Volumenberegninger for et tænkt eksempel, med figuren fra Figur 43 som grundlag.

Beregningerne kommer for eksemplet til at se således ud:

$$V_{Total} = \left((50 \cdot (2 - 1,5)) - \left((50 - 18) \cdot \frac{(2-1,5)}{2} \right) \right) + \left((18 \cdot (1,5 - 1)) - \left((18 - 4) \cdot \frac{(1,5-1)}{2} \right) \right) + \left((4 \cdot (1 - 0,85)) - \left((4 - 0) \cdot \frac{(1-0,85)}{2} \right) \right) = \underline{\underline{22,8}} \text{ m}^3$$

07 Konklusion

Behovsanalysen viste, at der for Tegnestuen Vandkunstens tilfælde er et behov for et værktøj, der først og fremmest giver svar på hvor store volumener vand som skal håndteres. Sekundært er det attraktivt, hvis værktøjet viser strømninger på overfladen, og i øvrigt har et grafisk interface, som helst kan bruges direkte i leverancer. Desuden viste behovsanalysen, at fordi emnet er komplekst at sætte sig ind i, bliver arbejdet med klimatilpasning tit udsat til ingeniører bliver involveret, hvilket først sker sent i projektfasen. Dette er problematisk, da det er i den indledende designfase, hvor de mest markante rumlige parametre fastsættes.

Følgende værktøjer blev undersøgt i Vandkunsten-cases: SCALGO Live, LAR-Dimensionering (af Spildevandskomiteen) og LAR-Potentiale (under udvikling af DTU Miljø). SCALGO blev vurderet succesfuldt i visning af terrænmodellen, visning af strømningsveje og i sin hurtige, intuitive og grafisk kommunikative brugerflade. Til gengæld var beregningen af volumener og terrænkorrigeringerne mindre succesfulde. LAR-Dimensionering viste helt andre kvaliteter idet det var godt til volumenberegninger, men ikke har det kartografiske lag hvor det kan beregne på rumlige parametre, og derfor hverken beregner strømninger eller har et kommunikativt grafisk interface. Derudover er det svært at estimere den hydrauliske ledningsevne, hvilket giver en vis usikkerhedsmargin i resultaterne. Til gengæld er det ligeledes hurtigt at bruge og skal bruge relativt få data. LAR-Potentiale kan ligesom LAR-Dimensionering beregne på tilbageholdelsesstørrelser i forhold til gentagelsesperiode. Værktøjet vender til gengæld beregningen om og beregner på baggrund af hvad der er plads til i stedet for hvilken gentagelsesperiode man vil dimensionere for. Derudover kan det regne i systemer og viser en grafisk repræsentation af resultaterne. Fremtidsudsigterne er, at LAR-Potentiale skal kobles sammen med et kortelement, og den udsigt har stort potentiale i tegnestuesammenhænge.

Gennem involvering i forskellige cases blev det klart, at de individuelle cases var forskelligartede i skala, projektfase, hvilken type eksisterende terræn der var på grunden og afstand til recipient. "Boliger ved bækken" var den mest succesfulde projektinvolvering med SCALGO. Dette var der primært to grunde til: 1) projektinvolveringen skete i en meget tidlig fase, hvor der stadig var muligheder for modifikationer i landskabet og bygningsplaceringer og 2) byggeriet sker på "bar mark", hvorfor terrængrundlaget er realistisk ift. fremtidige forhold. Projekter som havde en mindre succesfuld involvering af SCALGO var især de projekter, hvor terrængrundlaget var meget forskelligartet fra de fremtidige forhold – hér kan Bank-Mikkelsens Vej og Tage-Hansens Gade nævnes som eksempler. I forhold til skala i projekterne, viste værktøjet SCALGO potentiale i både lille, men især stor skala. Strømningsvejene er det mest brugbare resultat, som man kan bruge til at placere sine vandhåndterende elementer. Dog skal man holde in mente, at jo længere strømningsvejene er, desto mindre retvisende vil mængderne være, da meget af det transporterede vand undervejs vil blive forsinket. Såfremt man har designet et vandhåndteringssystem som transporterer vandet fornuftigt, og at der er definerbare nedsivningsforhold giver LAR-Dimensionering et brugbart resultat på hvor store volumener man kan håndtere i forsinkelsesbassinerne.

Det blev konkluderet, at alle tre værktøjer havde stort potentiale, men også individuelle begrænsninger. Da Vandkunsten har behov for værktøjer der både kan kvalificere dimensionering af LAR-elementer og placering af dem, ville en kombination af værktøjerne have stort potentiale. En udfordring ved kombinationen af LAR-Potentiale og SCALGO ligger umiddelbart i, at LAR-Potentiale bliver udviklet til regnhændelser som ligger i domænet for hverdagsregn op til designregn, mens SCALGOs resultater primært kan bruges i ekstremregnsdomænet. Fra tegnestuen er der et behov for et værktøj til regnhændelser med 5-10 års gentagelsesperiode, og et værktøj udviklet til dette specifikke formål, kombineret med arkitekter som målgruppe, kunne derfor være en fornuftig overvejelse.

08 Liste over bilag

Bilag A: Guide til SCALGO og Spildevandskomiteens LAR-Dimensioneringsark

Bilag B: Rapporter for cases

Bilag C: Spørgeskemaer

Bilag D: Værktøj: Korrektionsfaktor til SCALGO (Oplåsningskode: SCALGO)

Bilag E: Værktøj: LAR-Volumen

09 Referencer

- [1] S. M. Lerer, K. Arnbjerg-Nielsen, and P. S. Mikkelsen, "A Mapping of Tools for Informing Water Sensitive Urban Design Planning Decisions—Questions, Aspects and Context Sensitivity," *Water*, vol. 7, no. 3, pp. 993–1012, 2015.
- [2] eWater, "Information Brochure about MUSIC, version 6." 2016.
- [3] T. D. Fletcher *et al.*, "SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage," *Urban Water J.*, vol. 12, no. 7, pp. 525–542, 2015.
- [4] S. Lerer, K. Arnbjerg-Nielsen, and P. Mikkelsen, "A Mapping of Tools for Informing Water Sensitive Urban Design Planning Decisions—Questions, Aspects and Context Sensitivity," *Water*, vol. 7, no. 3, pp. 993–1012, 2015.
- [5] C. Viavattene, "SUDSLOC - A GIS-based SUDS selection and location tool." London, 2009.
- [6] C. Fratini, G. D. Geldof, J. Kluck, and P. S. Mikkelsen, "Three Points Approach (3PA) for urban flood risk management: A tool to support climate change adaptation through transdisciplinarity and multifunctionality," *Urban Water J.*, vol. 9, no. 5, pp. 317–331, Oct. 2012.
- [7] H. J. D. Sørup, S. M. Lerer, K. Arnbjerg-Nielsen, P. S. Mikkelsen, and M. Rygaard, "Efficiency of stormwater control measures for combined sewer retrofitting under varying rain conditions: Quantifying the Three Points Approach (3PA)," *Environ. Sci. Policy*, vol. 63, pp. 19–26, 2016.
- [8] P. Harremoës *et al.*, "Funktionspraksis for afløbssystemer under regn," no. 27, 2005.
- [9] Dansk Standard, *DS/EN 752:2008 - Afløbssystemer uden for bygninger*. København, 2008.
- [10] S. M. Lerer, J. S. Andersen, A. Backhaus, M. B. Jensen, and H. J. D. Sørup, "Characteristic Rain Events: a methodology for improving the amenity value of stormwater control measures. (Currently in preparation, contact authors to get a copy)," *Landsc. Urban Plan.*, 2017.
- [11] "Dimensionering af LAR-anlæg." [Online]. Available: <http://www.laridanmark.dk/dimensionering-af-lar-anlaeg/31582>. [Accessed: 07-Mar-2016].
- [12] S. M. Lerer, H. J. D. Sørup, and P. S. Mikkelsen, "Værktøj til vurdering af LAR-potentiale," *Vand Jord*, vol. 22, no. 4, pp. 127–130, 2015.
- [13] S. Gabriel, T. H. Larsen, and J. Vollertsen, "Baggrundsrapport," 2012.
- [14] Hvidovre Kommune, "HvidovreKortet 3.11.3," *Webkort*. [Online]. Available: <http://webkort.hvidovre.dk/cbkort>. [Accessed: 16-Nov-2016].
- [15] S. Jevrejeva, L. P. Jackson, R. E. M. Riva, A. Grinsted, and J. C. Moore, "Coastal sea level rise with warming above 2 °C," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 113, no. 47, pp. 13342–13347, Nov. 2016.
- [16] Københavns Kommune, "Københavns Klimatilpasningsplan." 2011.