

Prosjektering og simulering av blågrønne overvannsløsninger, Trondheim syd

Design and simulation of blue-green stormwater management, Trondheim south

Trondheim Mai 2020

Einar Sæteren
Fredrik Helgesen

Intern veileder:
Rolf Edvard Peterson

Ekstern veileder:
Knut Trøbak

Prosjektnr:
21 - 2020

Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Problemdefinering/prosjektbeskrivelse og resultatmål

Prosjektet er basert på utbygging av nytt bysentrum hvor parkeringsplassen til city syd er plassert. Her skal parkeringsplassen flyttes ned i kjelleren, det skal primært være næring på bakkenivå med leiligheter og/eller kontorer over. Det er også planlagt park/fotballbane på deler av taket til city syd, samt et «torg» i midten med park /grøntareal. På taket til boliger og næringsliv er det også planlagt uteareal.

Tiltakene vi foreslår skal beskrives og vurderes med hensyn til ønskede effekter. Den rasjonelle metoden blir brukt for å vurdere om ønskede effekter er oppnådd. Endelig forslag skal sammenlignes med hydrogram fra MIKE URBAN for å undersøke forskjellen de to metodene gir

Stikkord fra prosjektet:

Åpen overvannshåndtering

Bærekraftig byplanlegging

Innovasjon

Forord

Denne bacheloroppgaven er en avslutning på den treårige ingeniørutdannelsen, innen bygg og miljøteknikk ved NTNU. Oppgaven er gjennomført i perioden januar til mai 2020 i samarbeid med Asplan Viak. Hensikten med oppgaven har vært å prosjektere og simulere ulike overvannstiltak.

Prosessen har vært interessant, gøy, lærerikt og krevende. Oppgaven vår var veldig åpen hvor vi fikk bestemme selv hvilke løsninger vi skulle analysere. Vi bestemte oss tidlig for å fokusere på åpne løsninger. Dette viste seg å være krevende å få modellert i simuleringsprogrammet.

Først og fremst vill vi takke Asplan Viak for tildelt oppgave og informasjon. Vår eksterne veileder, Knut Trøbak var kjapt ute med å skaffe oss arbeidsrom på deres kontorer, slik at vi kunne sitte og jobbe hos dem en gang i uken. Dessverre ble ikke bachelorperioden vår slik vi hadde tenkt på grunn av covid19. Vi har allikevel jobbet etter beste evne, og stått på. Vi vill spesielt takke Rebecca Martinsen ved Asplan Viak for gode svar på spørsmål vi har sendt til henne. Vi vill også takke vår interne veileder Rolf Edvard Petersen for faglige råd og oppfølging under denne perioden.

Einar Sæteren

Einar Sæteren

Fredrik Helgesen

Fredrik R. Helgesen

Sammendrag

Denne hovedoppgaven er en case-basert oppgave som omhandler prosjektering og simulering av blå-grønne overvannstiltak på Tiller, Trondheim. Parkeringsarealet til handelskjempen city syd skal forvandles til et urbant og bærekraftig bymiljø. Her er skal det bygges boliger, kontor og næringsarealer. Oppgaven har derfor basert seg på åpen overvannshåndtering. Målet har vært å redusere påslippsmengden til kommunale ledninger, samt bruke benytte overvannet til å skape et attraktivt bymiljø. Vi har forholdt oss til gjeldende regler for maksimalt videreført vannmengde. Valgte løsninger er presentert i en teoridel og en simuleringsdel. Teoridelen gir en innføring i hvordan løsningene teoretisk fungerer, mens i simuleringsdelen får man se effekten av tiltakene. Totalt sett er gjeldende regler for maksimalt videreført vannmengde oppfylt, men det er knyttet en viss usikkerhet til resultatet. Konklusjonen faller på at de valgte tiltakene oppfyller kommunens krav til videreført vannmengde, samt at de bidrar som et positivt aspekt i området.

Abstract

This main thesis is a case-based study regarding design og simulation of blue-green stormwater measures at Tiller, Trondheim. The parking area of city syd will be transformed into an urban and sustainable city environment. Here it is planned a construction development of multiple houses, office and commercial areas. The task has therefore been based upon open stormwater systems. Our goal has been to reduce the amount of water running to the municipal pipes, as well as to use the stormwater to create an attractive urban environment. We have adhered to the current rules for maximum continued water flow. Selected solutions are presented in a theory section and a simulation section. The thoery section gives an introduction to how the solutions theoretically work, while in the simunlation section you see the effects of the sololutions. Overall, the current rules for maximum continued water volume are met, but there is some uncertanity associated with the results. The conclusion is that the chosen sololutions meet the municipality's requirements for continued water volume, and that they contribute as a positive aspect in the area.

Innholdsfortegnelse

Innhold

Forord.....	i
Sammendrag	ii
Abstract.....	iii
Innholdsfortegnelse.....	iv
Figurliste	viii
Tabelliste.....	xi
Del 1 Innledning	1
1.1 Presentasjon av oppgave og problemstilling.....	1
1.2 Metode	2
1.3 Avgrensninger.....	3
Del 2 Litteratur og teori	4
2.1 Klimaendringer	4
2.1.1 Påvirkning for vann og avløpssystemene	5
2.1.2 Byplanlegging	6
2.2 Strategier for overvannshåndtering.....	8
2.2.1 Treleddstrategien.....	8
2.2.2 Den rasjonelle formell.....	9
2.2.3 Summasjonskurvemethoden	11
2.2.4 Tid-areal metoden	11
2.2.5 Regnhyetogram	11
2.3 LOD-tiltak.....	12
2.3.1 Grønne tak.....	12
2.3.2 Fordrøyningsdam	15
2.3.3 Regnbed	17
2.3.4 Kanaler, renner, vannveier	20
2.3.5 Virvelkammer	21

2.4 Mike Urban	22
2.4.1 Generelt.....	22
2.4.2 MOUSE.....	23
2.4.3 MOUSE RUNOFF	24
2.4.4 MOUSE PIPEFLOW	26
Del 3 Case.....	27
3.1 Presentasjon av caseområdet.....	27
3.1.1 Dagens situasjon	27
3.1.2 Fremtidig situasjon.....	28
3.1.3 Grunnforhold.....	29
3.1.4 Eksisterende infrastruktur	30
3.1.5 Flomfare og eksisterende flomveier.....	31
3.2 Kommunale mål og krav knyttet til overvann	32
3.3 Maksimalt videreført vannmengde	33
3.4 Tiltak	36
3.4.1 Grønne tak.....	36
3.4.2 Regnbed	37
3.4.3 Fordrøyningsdam	37
3.4.4 Innovasjon.....	38
3.4.5 Vurderinger rundt avrenningskoeffisient.....	39
3.4.6 Dimensjonering.....	40
3.4.7 Trinn 3 i treleddstrategien	43
3.5 Modelloppsett for simuleringer.....	44
3.5.1 Hyetogram.....	44
3.5.2 MIKE URBAN	49
3.6 Resultater	59
3.6.1 Dagens situasjon	59
3.6.2 Fremtidig situasjon.....	60

3.6.3 Sammenligning	62
3.7 Konklusjon og diskusjon.....	64
4. Referanseliste.....	66

Figurliste

Figur 1 Intensiteten og hyppigheten på korttidsnedbøren har i de senere år økt og vill øke mer i fremtiden. Korttidsnedbør er nedbør som forekommer i et tidsrom som er kortere enn et døgn. Bildet til venstre viser gjennomsnitt av årlig maks 1-døgns nedbør 1957-2010. Bildet til høyre viser prognosen for samme regn 2011-2099. (YR, 2015)	4
Figur 2 Økt urbanisering og klimaendringer bidrar til oversvømmelse, flommer og skader (Kim H.Paus,2018).....	5
Figur 3 Konvensjonelt system for håndtering av overvann (Storemyr, 2015)	7
Figur 4 Åpen og lokal håndtering av overvann (Storemyr, 2015).....	7
Figur 5 Treleddstrategien (Norsk vann, 2018).....	8
Figur 6 Eksempel hyetogram (Lindholm, 2008).....	11
Figur 7 Kvaliteter grønne tak (SINTEF, 2012).....	13
Figur 8 Typisk oppbygning grønne tak (SINTEF, 2012)	13
Figur 9 Prinsippskisse våt dam (COWI).....	15
Figur 10 Fordrøyningsdammer i boligbebyggelse (Foto; Frank Bjørnø)	16
Figur 11 Prinsippskisse for oppbygningen av regnbed (NVE, 2013).....	17
Figur 12 Vedlikeholds pyramiden (Erickson et al. 2010).....	19
Figur 14 Overvannskanal, Bjølsen studentby (Foto: Dronninga landskap).....	20
Figur 13 Vannrenne, Oslo (Statsbygg)	20
Figur 15 Virvelkammer.....	21
Figur 16 MIKE URBAN Model Manager (DHI, 2017)	22
Figur 17 Illustrasjon MOUSE (DHI, 2017)	23
Figur 18 De tre definerte tid-areal kurvene i MOUSE runoff. Tid-areal kurvens form avhenger av feltets utseende. (DHI 2009d)	25
Figur 19 Kart og satellittbilde (Norgeskart).....	27
Figur 20 Fremtidig situasjon (GHILARDI + HELLSTEN ARKITEKTER)	28
Figur 21 Flomsonekart (NVE, 2020)	31
Figur 22 Eksisterende flomveier (Trondheim kommune, 2020)	31
Figur 23 Reguleringsbestemmelse for caseområdet (Trondheim kommune, 2013).....	32
Figur 24 Separatsystem. Minimumskrav til fordrøyning og maks videreført vannmengde. (Trondheim kommune)	33
Figur 25 Leirelvavassdraget (Trondheim kommune)	33
Figur 26 Tillerbyen med utslipp i Nidelva (Trondheim kommune)	34
Figur 27 Situasjonsplan (Ghilardi + Hellsten arkitekter).....	36

Figur 28 Pondjet eco flytende fontene (Niigata).....	38
Figur 29 Drensplan ved flom	43
Figur 30 IVF kurve for Trondheim (Trondheim kommune)	44
Figur 31 Ledningskart MIKE.....	49
Figur 32 Ledningsnett eksisterende situasjon	50
Figur 33 Regnhyetogram 20 års regn med klimafaktor	51
Figur 34 Regnhyetogram 30 års regn med klimafaktor	51
Figur 35 Inndeling delfelt	52
Figur 36 Nomogram (Trondheim kommune)	52
Figur 37 Fremtidig situasjon MIKE.....	53
Figur 38 Regnbed MIKE	54
Figur 39 Caseområdet MIKE.....	58
Figur 40 Hydrogram fra hele tomten, dagens situasjon.....	59
Figur 41 Hydrogram fra parkeringsareal, dagens situasjon	59
Figur 42 Hydrogram fra deltfelt 1, fremtidig situasjon.....	60
Figur 43 Hydrogram fra deltfelt 2,3 og 4, fremtidig situasjon.....	60
Figur 44 Hydrogram fra parkeringsplass, fremtidig situasjon	60
Figur 45 Oppstuvning i kummer.....	61
Figur 46 Hyetogram rasjonelle metode, 20 års regn.....	62
Figur 48 Hydrogram av MIKE og rasjonelle.....	63
Figur 47 Sammenligning mellom eksisterende og ny situasjon med MIKE	63

Tabelliste

Tabell 1 Avrenningskoeffisienter (VA-norm, 2020)	9
Tabell 2 Oppbygning sedumtak (SINTEF, 2012).....	36
Tabell 3 Oppbygning intensive tak (SINTEF, 2012).....	37
Tabell 4 Klimafaktor (Trondheim kommune)	44
Tabell 5 Nedbørintensitet (l/s*ha) for ulike varigheter (Trondheim kommune)	45
Tabell 6 Verdier hyetogram 20 års regn	46
Tabell 7 Verdier hyetogram 30 års regn	48
Tabell 8 Konsentrasjonstid delfelt, eksisterende situasjon	53
Tabell 9 Konsentrasjonstid fremtidig.....	56
Tabell 10 Rørdimensjoner	57
Tabell 11 Rasjonelle metoden, 20 års regn.....	62

Del 1 Innledning

1.1 Presentasjon av oppgave og problemstilling

Prosjektet er basert på utbygging av nytt bysentrum hvor parkeringsplassen til city syd er plassert. Her skal parkeringsplassen flyttes ned i kjelleren, det skal primært være næring på bakkenivå med leiligheter og/eller kontorer over. Det er også planlagt park/fotballbane på deler av taket til city syd, samt et «torg» i midten med park /grøntareal. På taket til boliger og næringsliv er det også planlagt uteareal. Byparken skal være preget av fremtidsrettede løsninger og bachelorgruppen skal se på ‘blågrønne’ overvannsløsninger i området.

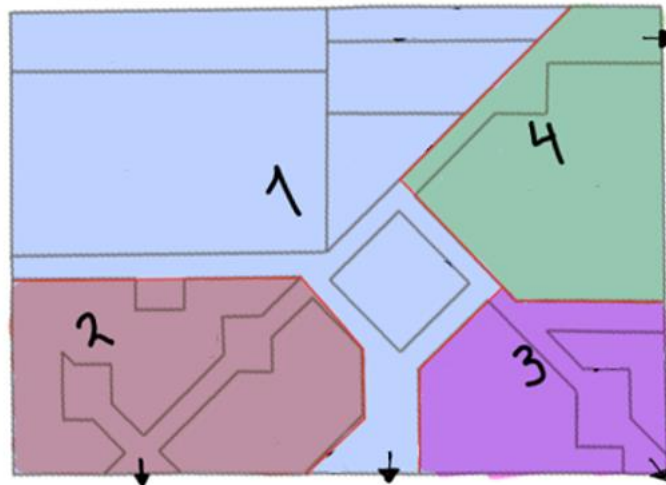
Ved planlegging av ny bypark i Trondheim syd settes det nye krav til overvann, det skal slippes mindre vann på kommunalt nettverk, og mye må håndteres lokalt. Dette kan gjøres effektivt med LOD-tiltak (lokal overvannsdiskonering) som grønne tak, regnbed, permeable flater osv. I vår oppgave skulle vi se på effekten av disse løsningene sammenlignet med dagens situasjon innenfor ett gitt område. Tiltakene vi foreslår skal beskrives og vurderes med hensyn til ønskede effekter. Noen av disse analysene blir gjort ved bruk av MIKE URBAN, og ved bruk av hydrogram. Endelig forslag simuleres via MIKE URBAN, samt bruk av den rasjonelle formel for sammenligning for å få et helhetlig bilde av avrenningen på området.

1.2 Metode

Gruppen har valgt å basere seg på åpen overvannshåndtering. Igjennom litteraturperioden ble oppdaget at mange utbyggere benytter seg av nedgravde løsninger når de skal forsinke overvannet. Gruppen ser ikke noe problem med disse løsningene, men bestemte seg tidlig for å benytte vannet til noe positivt. Usikkerheten til overhøyde over parkeringskjeller og enkle vedlikeholds muligheter var også med på valget.

For å få et bilde av hvordan dagens situasjon er har gruppen valgt å simulere hele området slik det er i dag. Ved beregning av nødvendig fordrøyning for tiltaket er det kun gjort beregninger i det området hvor det blir endring, altså parkeringsplassen sør for City Syd. Dette er ifølge Rebecca Martinsen ved Asplan Viak vanlig praksis når de jobber mot kommunen. Det er derfor gjort en simulering kun for parkeringsplassen slik det er per dags dato. På den måten har man noe å sammenligne med.

Ved beregninger av maksimal videreført vannmengde på fremtidig system har gruppen delt opp parkeringsplassen i fire delområder. De fire delområdene er delt opp etter antagelser til hvor avrenningen går. Hvert delområde har forskjellig utløp til kommunale ledninger.



1.3 Avgrensninger

Bacheloroppgaven tar kun for seg håndtering av overvann inne på området. Det blir ikke tatt stilling til kapasiteten til kommune ledninger som fører bort vannet.

Det blir ikke tatt stilling til rensing av overvann, selv om mange av tiltakene har god renseseffekt

Det blir ikke tatt stilling til de økonomiske aspektene ved LOD-tiltakene vi velger.

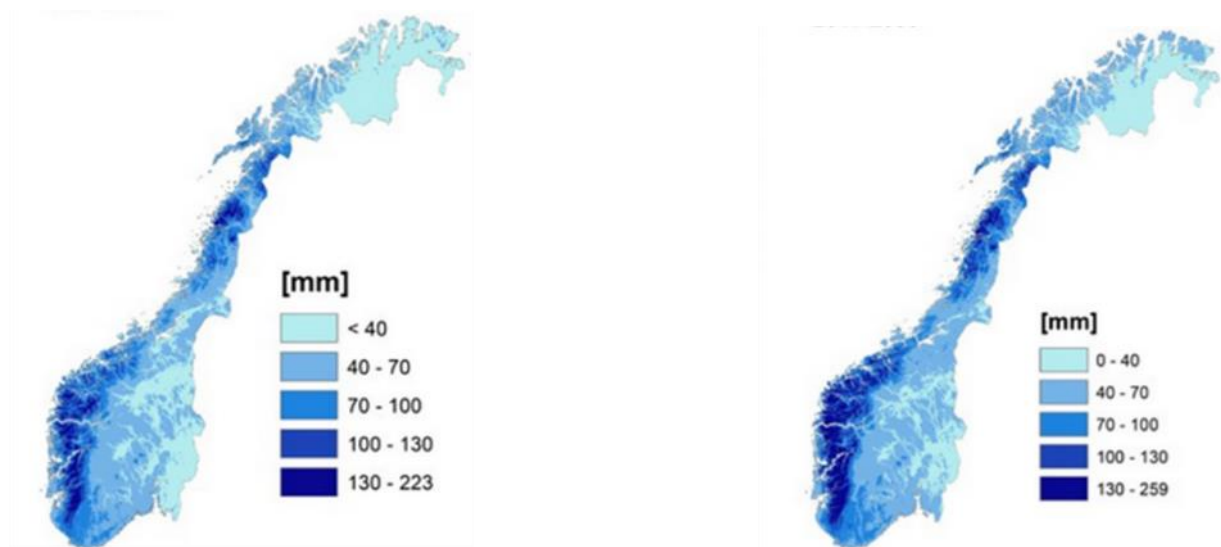
LOD-tiltakene blir ikke detaljprosjektert.

Del 2 Litteratur og teori

2.1 Klimaendringer

Klimaet er i endring og klimaendringer har store konsekvenser. Målinger viser at temperaturen globalt har økt med 0,85 °C fra 1880 til 2012 (1). Det forventes at oppvarmingen fortsetter dette århundre, noe som fører til mer ekstremvær, mer nedbør, mer tørke og flere naturkatastrofer. Klimaendringene vill også forsterke eller svekke de ulike komponentene i vårt hydrologiske kretsløp avhengig av lokasjon.

I Norge har vi de siste 100 årene observert en temperaturøkning på ca 1 °C, og en økning i nedbør på ca 18% (1). Siden Norge har store regionale forskjeller vill endringen av vårt hydrologiske kretsløp føre til større regionale forskjeller. F. eks så varierer nedbøren mye fra kyst til innland, og fra nord til sør. Variasjonene er forskjellig intensitet, varighet, frekvens og vinterforhold. God kjennskap til nedbør er veldig viktig når man skal planlegge overvannstiltak.

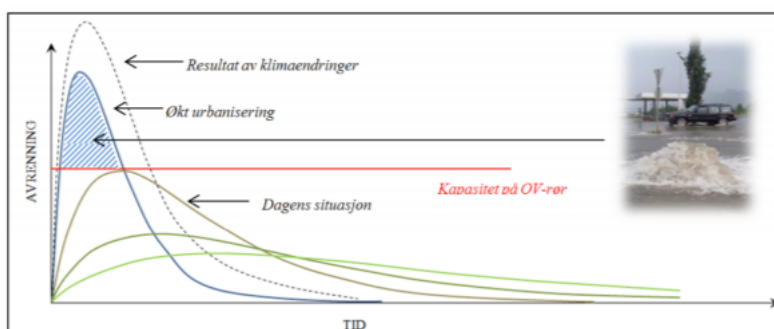


Figur 1 Intensiteten og hyppigheten på korttidsnedbøren har i de senere år økt og vill øke mer i fremtiden. Korttidsnedbør er nedbør som forekommer i et tidsrom som er kortere enn et døgn. Bildet til venstre viser gjennomsnitt av årlig maks 1-døgns nedbør 1957-2010. Bildet til høyre viser prognosen for samme regn 2011-2099. (YR, 2015)

2.1.1 Påvirkning for vann og avløpssystemene

Tradisjonelt har håndtering av overvann i urbane områder basert seg på å føre vannet i lukkede ledningssystemer. Avledning av overvann i ledninger ble i over 100 år ansett som et tilstrekkelig tiltak for å hindre skader fra overvann. I 1978 ga Statens forurensningstilsyn retningslinjer om håndtering av overvann, hvor det ble lagt til grunn at den tradisjonelle håndteringen ikke var tilstrekkelig (2). Erfaringsmessig kan man se at problemer med oversvømmelse i tettbebygde områder ofte kan tilbakeføres til lukkede løsninger hvor vannet mister sin naturlige vannveg.

I dag er nesten 95 prosent av ledningsnettet lagt etter krigen, og nesten halvparten er lagt etter 1980. Ledningsnettets har en økende gjennomsnittsalder og er dimensjonert for kunnskapen som var på etableringspunktet. Dette skaper utfordringer, som følge av økte arealer med tette flater og klimaendringer (2).



Figur 2 Økt urbanisering og klimaendringer bidrar til oversvømmelse, flommer og skader (Kim H.Paus,2018)

Konsekvensene av klimaendringene på dagens infrastruktur forverres med den økende fortettingen. Som vist i figur 2 vill økte klimaendringer sammen med økt urbanisering føre til at infrastruktur og bygninger flomskades. I tillegg vill kraftige nedbør føre til at urensset overvann føres ut til en resipient via overløp og skape miljøskader (3).

Forsikringsselskapene er blant de som merker den foreløpige økningen av regnintensitetene på grunn av klimaforandringer. De siste 10 årene har vannskader økt dobbelt så mye som brannskader, og mye tyder på at boligforsikringene blir svært mye dyrere enn i dag (4).

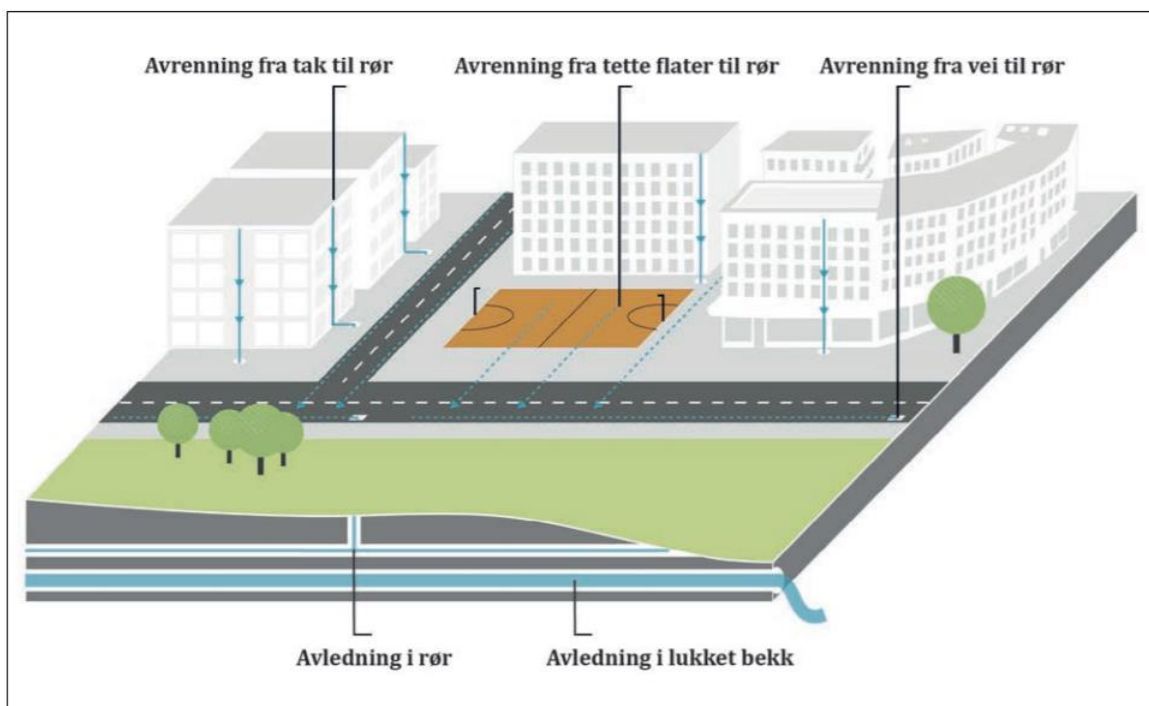
2.1.2 Byplanlegging

Byutvikling påvirker avrenning fra overflaten i urbane områder ved at naturlige vannveger, vegetasjon og permeable grunner blir erstattet med tette flater. Dette skaper utfordringer med tanke på naturmangfold, vannkvalitet på overvann, sikkerhet, helse, økonomi og overbelastning av overvannssystemer.

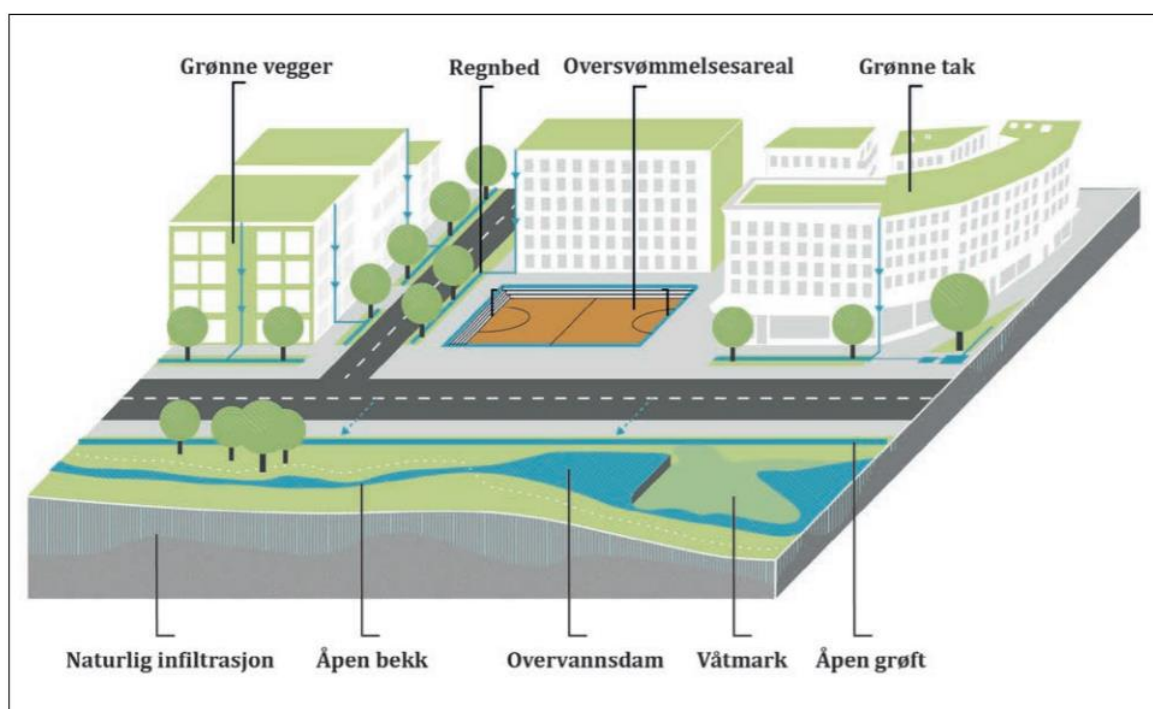
Klimatilpasning er derfor en viktig del av byplanlegging, og overvann er en utfordring som krever tverrfaglig samarbeid. Derfor er det viktig at ved utbygging av nye områder må tiltak for overvannshåndtering innarbeides allerede på plannivå, da etablering av overvannsanlegg ofte omhandler arealdisponering. Det bør utarbeides en overordnet plan som omhandler overvann, slik at man kan knytte denne til reguleringsplan og kommuneplan. I plan og bygningsloven § 3-1 presiseres det at planleggingen skal fremme helhet ved at sektorer, oppgaver og interesser i et område ses i sammenheng gjennom samordning og samarbeid om oppgaveløsning mellom sektormyndigheter og mellom statlige, regionale og kommunale organer, private organisasjoner og institusjoner, og allmennheten (5). Planer skal ta klimahensyn gjennom reduksjon av klimagassutslipp og tilpasning til forventede klimaendringer, herunder gjennom løsninger for energiforsyning, areal og transport (5).

Ved planlegging er det viktig å ta et grønt valg. Tradisjonelt sett kan man fornye hele ledningsnett. Dersom dagens utskiftingstakt på 0,5 prosent årlig opprettholdes, vil det ta 200 år før alle ledningene er fornyet (6). Oppgradering av ledningsnett vil også føre til klimagassutslipp og dårlig tilpasning til forventede klimaendringer. Det har derfor blitt større og større fokus på naturbaserte overvannstiltak. Dessverre så er lokal overvannshåndtering lite tatt i bruk, fordi det ligger mye usikkerhet rundt løsningene og det er manglende erfaringer for tiltakene i Norge.

“Det kreves nytenking og holdningsendringer for å møte fremtidens utfordringer knyttet til økt fortetting, økte befolkningskonsentrasjoner, samt økte nedbørsmengder” (7).



Figur 3 Konvensjonelt system for håndtering av overvann (Storemyr, 2015)

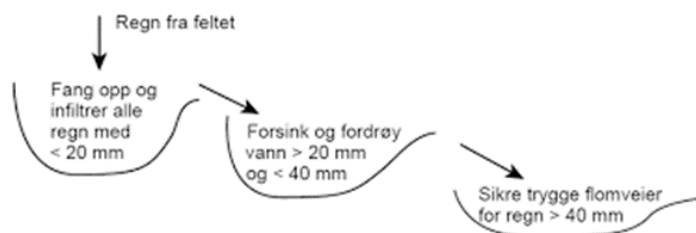


Figur 4 Åpen og lokal håndtering av overvann (Storemyr, 2015)

2.2 Strategier for overvannshåndtering

2.2.1 Treleddstrategien

Overvannstiltak skal tilpasses lokale forhold og forventede klimaendringer. De valgte løsningene må fungere for ulike nedbørmengder. Norsk vann publiserte derfor i 2008 en strategi for arbeid med overvannshåndtering. Strategien kalles treleddstrategien og er illustrert i figur 5. Hensikten med denne strategien er å avlaste ledningsnett, skape gode bymiljø og sikre trygge flomveier.



Figur 5 Treleddstrategien (Norsk vann, 2018)

Trinn I: Infiltrasjon

Infiltrasjon er for de minste nedbørmengdene, som f.eks nedbør under 20mm. Her forventes det at alt overvannet blir fanget opp og infiltrert lokalt ved hjelp av grøntarealer som regnbed, grønne tak, beplantning, gjennomtrengelige flater som permeable dekker og andre lokale tiltak som sikrer naturrik vannbalanse.

Trin II: Fordrøyning

Fordrøyning er for de mellomstore nedbørmengdene, som f.eks nedbør mellom 20-40mm. Tiltakene nevnt i trinn I vill også bidra her, men det må også gjøres tiltak for å forsinke og fordrøye overvannet. Dette kan gjøres ved å legge til overvannsdammer, lekearealer og andre arealer for oversvømmelse. Disse tiltakene vil føre til en reduksjon av spissavrenningen til kommunalt ledningsnett.

Trin III: Trygg avledning

Trygg avledning er for de største nedbørmengdene som kan forårsake en flom og skader på bebyggelse og infrastruktur, nedbørmengdene her kan være alt over 40mm. Ved disse store nedbørmengdene er vannet nødt til å avledes trygt til et egnet sted som fjord, sjø, elv eller annet planlagt oversvømmelsesareal. Dette kan gjøres ved å f.eks føre vannet i åpne bekker, naturlige forsenkinger i terreng eller konstruerte veier.

2.2.2 Den rasjonelle formell

Den rasjonelle formel er en manuell avrenningsberegning som blir mye brukt for små urbane felt (20-50) ha.

$$Q_{dim} = \varphi * A * I * K_f$$

Q_{dim}	=	Dimensjonerende vannføring [l/s]
φ	=	Avrenningskoeffisient
A	=	Området innenfor vannskillene for feltet [ha]
I	=	Dimensjonerende nedbørintensitet [$l/s * ha$]
K_f	=	Klimafaktor

2.2.2.1 Avrenningskoeffisient

Avrenningskoeffisient (φ) for et område beskriver hvor stor andel overvann som renner av en gitt flate ved en nedbørsituasjon. Koeffisienten varierer for permeabilitet og beskaffenhet, fallforhold, nedbørintensitet og nedbørvarighet (8). Det må derfor gjøres nøye vurderinger ved beregninger, og det er utarbeidet flere anbefalte avrenningskoeffisienter for flater som man kan ta i bruk.

Maksimal avrenningskoeffisienter for noen arealer:

Type Areal	Koeffisient (c)
Tette flater	0,85 - 0,95
Bykjerne	0,70 - 0,90
Rekkehus-/ leilighetsområde	0,60 - 0,80
Eneboligområde	0,50 - 0,70
Grusvei/ -plasser	0,70 - 0,80
Industriområde	0,70 - 0,90
Plen, park, eng, skog, dyrket mark etc.	0,30 - 0,50

Tabell 1 Avrenningskoeffisienter (VA-norm, 2020)

For returperioder som er lengre enn $n=10$ anbefaler statens vegvesen og øke avrenningskoeffisienten etter følgende retningslinjer (9): (Maksimal verdi for φ er 0,95)

25 år: legg til 10%

50 år: legg til 20%

100 år: legg til 25%

200 år: legg til 30%

Ved felt eller tiltak som har ulike avrenningskoeffisienter beregner man gjennomsnittlig avrenningskoeffisient. Denne koeffisienten beregnes ut fra følgende formel:

$$\varphi_{midl} = \frac{\varphi_1 A_1 + \varphi_2 A_2 + \dots + \varphi_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (8)$$

2.2.2.2 Dimensjonerende nedbørintensitet

For å bestemme dimensjonerende nedbørintensitet for et gitt område benytter man IVF-kurver. IVF står for intensitet, varighet og frekvens og man finner kurvene hos norsk klimaservicesenter. Man skal bruke IVF kurver som er representative for området og det må vurderes nøye hvilken nedbørstasjon som gir best mulig nedbørstatistikk. Man må også vite hvilken konsentrasjonstid og returperiode som skal anvendes. Disse to faktorene anvender man nemlig i en IVF kurve.

Med returperiode menes hvor ofte en nedbørintensitet kan forventes å bli overskredet en gang i løpet av en gitt tidsperiode. F.eks 30-, 100-års returperiode (10).

Konsentrasjonstiden (t_k) er tiden en regndråpe bruker fra den faller ned som regn til den når en sluk eller resipient. Man skal finne den lengste strømmingstiden, fra helt ytterst i feltet til det punktet man skal beregne. Denne tiden varierer med feltets lengde, overflatens beskaffenhet og terrengfall (8). Konsentrasjonstiden består av avrenningstid på bakken (t_s) og strømmingstiden i rørsystemet (t_l). Konsentrasjonstiden blir da $t_s + t_l$. Man må anslå en fornuftig verdi for t_s . Man kan få denne fra kommunaltekniske rapporter, va-normer eller erfaringer fra konsulenter. Den anslås ofte til ca. 3-7 minutter i urbaniserte områder (8). For å beregne t_l må man anslå en fornuftig verdi for vannhastigheten i ledningsnett. Det anslås ofte $1,5-2 \frac{m}{s}$ (8), men man kan gjerne bruke colebrooks formel her. Tiden i ledningen blir da $\frac{lengde [m]}{hastighet [m/s]}$.

Konsentrasjonstiden settes lik regnvarigheten slik at man får maksimal overvannsføring.

2.2.2.3 Klimafaktor

Det forventes at hyppigheten og intensiteten på ekstreme nedbørstilfeller vill øke på grunn av klimaendringene (1). Det fører til at dimensjonerende nedbørintensitet også vill øke. For å ta høyde for dette multipliserer man nedbørintensiteten med en klimafaktor (K_f). Siden Norge har store regionale forskjeller vill klimafaktoren variere fra sted til sted. Hvert prosjekt må vurderes for sitt område og sine konsekvenser. For å finne anbefalt klimafaktor kan man ta i bruk VA-norm for det gitte området.

2.2.3 Summasjonskurvemetoden

Summasjonskurvemetoden er en annen manuell metode som blir mest brukt når man vill få frem ulike delfelt sin påvirkning på den samlede avrenningen. Den rasjonelle metode er ikke anvendbar i et slikt tilfelle. Ved summasjonskurvemetoden må man ta for seg hver enkelt ledningstrekk og finne ut når det starter sitt bidrag til det punktet man vil finne avløpsmengden til. Da deler man inn området i ulike felt med hvert sitt areal og sin avrenningskoeffisient. Når regnskyellet kommer vil hvert felt bidra forskjellig på grunn av ulike konsentrasjonstider. Man må ha kontroll på når de ulike delfeltene starter med sitt overvannsbidrag til utløpet av feltet. Ved å fremstille grafisk når alle delfeltene bidrar kan man finne maksimal vannføring (11).

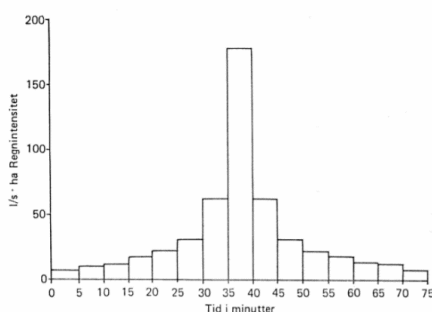
2.2.4 Tid-areal metoden

Tid-areal metoden har mange likheter med summasjonskurvemetoden. I tid-areal metoden gjør man beregninger med varierende regnintensiteter over tid. Metoden trenger da et hyetogram som viser varierende regnintensiteter over tid. Når regnintensitetene vokser over tid, vokser også avrenningskoeffisienten. Man ganger da sammen areal, regnintensitet og avrenning for hvert tidsintervall og summerer alle de ulike bidragene. Man får da en maksverdi som vil være dimensjonerende (12).

2.2.5 Regnhyetogram

Når man beregner med manuelle metoder, er det forholdsvis såkalte kasseregner man benytter.

Dette kan f. eks være et 10-minutters regn på $200 \frac{l}{s \cdot ha}$. Svakheten med kasseregner er at regnintensiteten blir konstant, og man vet ikke når toppintensiteten starter. Det kan unngås ved bruk av symmetriske hyetogram. Symmetrisk hyetogram omdanner man fra en IVF-kurve. Ved bruk av symmetrisk hyetogram øker man sannsynligheten på å få frem dimensjonerende vannføringer på flest mulige steder og den maksimale avrenningen blir mye mer realistisk (13).



Figur 6 Eksempel hyetogram (Lindholm, 2008)

I denne bacheloroppgaven er det omdannet et symmetrisk hyetogram fra en IVF-kurve for Trondheim. Prosedyren er vist i delkapittel 3.5.1.

2.3 LOD-tiltak

Lokal overvannsdiskonering (LOD), også kaldt lokal overvannshåndtering (LOH), er et begrep som dukket opp på 70-tallet. Med lokal overvannsdiskonering menes det at overvann skal håndteres lokalt ved å etterligne den naturlige vannbalansen i området. Ved infiltrasjon, fordrøyning og sikring av trygge flomveier skaper man et trygt og bærekraftig bymiljø. Det finnes flere ulike LOD-tiltak, og tiltakene må tilpasses lokale forhold.

2.3.1 Grønne tak

Generelt

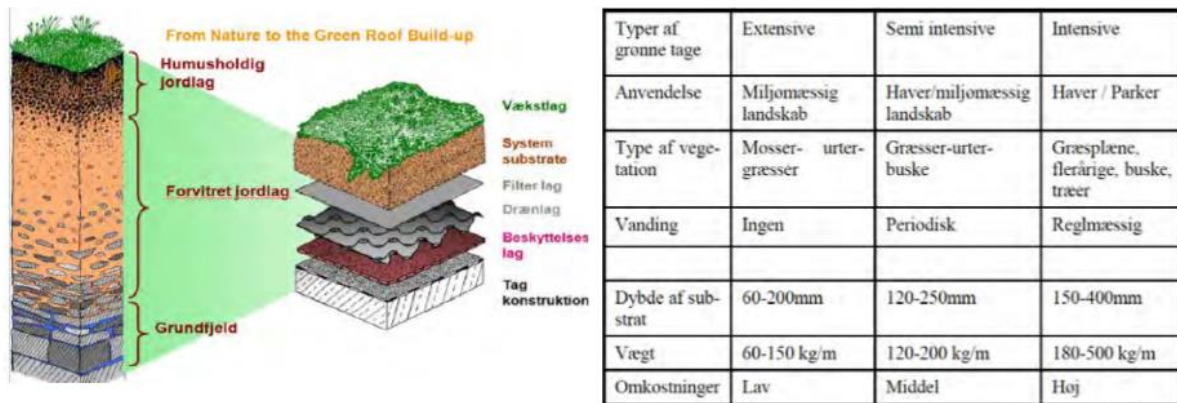
Grønne tak er noe som har vært tradisjonelt i Norge over lengre tid, da som oftest i form av torvtak. Grønne tak er en svært effektiv måte å utnytte arealet for å forsinke nedbøren og imøtekomme klimaforandringene. Målinger viser at avrenningen fra mindre regn holdes igjen på taket. Ved lengre regn oppstår metning i vegetasjonsdekket, og fordrøyningseffekten reduseres (14). Andre positive effekter med grønne tak er støydempende effekt, reduksjon av kjølebehovet til bygninger, filtrering av forurenset vann, økt biologisk mangfold. Det er også estetisk pent og kan brukes for opphold for mennesker. Om man skal anlegge grønne tak må bygningskonstruksjonen være dimensjonert for ekstrabelastningen det gir.

Grønne tak deles ofte opp i tre hovedtyper (15).

Ekstensive tak: Ekstensive tak er ofte sedumtak eller en blanding av sedum, urter og gress. Disse takene har liten jorddybde, og krever lite vedlikehold. Av de tre hovedtypene har ekstensive tak lavest vekt, og er derfor best egnet på takkonstruksjoner som tåler lite belastning. De kan benyttes både på flate og skrå tak.

Intensive tak: Intensive tak er den tyngste typen av grønne tak. Denne typen er tilrettelagt for menneskelig opphold, samt busker og trær. Disse takene kan gjerne tenkes på som typiske hageanlegg. På grunn av tyngden krever disse takene mer vedlikehold og sterkere takkonstruksjoner.

Semi-intensive tak: Semi-intensive tak er en blanding mellom ekstensive og intensive tak. De har tykkere jorddybde enn ekstensive tak og tåler gangtrafikk. Det tradisjonelle torvtaket havner under denne kategorien. Semi-intensive tak legges som oftest på flate tak, men benyttes et vekstmedium av torv kan de legges på tak med helning opp til 30°.

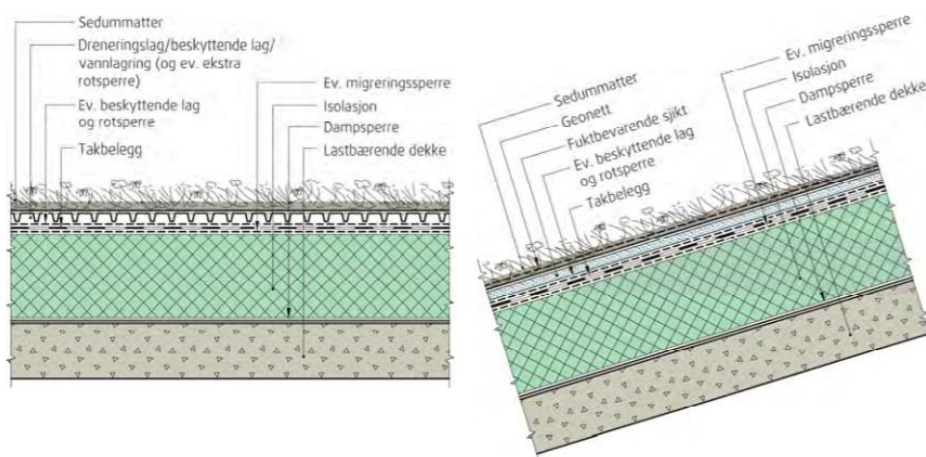


Figur 7 Kvaliteter grønne tak (SINTEF, 2012)

Utforming

Oppbygningen av grønne tak består generelt av: (16)

- Plantedekke (avhenger av type tak)
- Vekstmedium (type og tykkelse avhenger av type tak)
- Geonett (ved skrå tak for å holde gressmatten på plass)
- Filterlag
- Drenerende, vannlagrende og beskyttende sjikt
- Rotsperre (hvis taket ikke har rotsikker takmembran)



Figur 8 Typisk oppbygning grønne tak (SINTEF, 2012)

Drift og vedlikehold

Grønne tak, slik som all annen vegetasjon i et dyrket grøntanlegg trenger en form for skjøtsel. Omfanget vill variere med hvilken type grønt tak man har. Generelt sier man at grønne tak ikke trenger mye vedlikehold, men de trenger litt skjøtsel og vedlikehold hvert år. Ved legging av grønt tak er det viktig å ha klart for seg hvilke drift og vedlikeholdsoppgaver taket trenger slik at funksjon og levetid opprettholdes (16). De ekstensive takene trenger minst vedlikehold.

I vintersesongen kan tilbakeholdingen være stor, da nedbøren hovedsakelig faller ned som snø. Grønne tak sin isolerende effekt kan bidra til at oppvarmingsbehovet om vinteren blir mindre og energibehovet reduseres. Om det kommer mye snø og belastningen blir for stor for takkonstruksjonen må taket måkes. Når temperaturen øker vill snøen på grønne tak smelte langsommere i forhold til vanlige tak. Dette fører til at avrenningen reduseres (16).

2.3.2 Fordrøyningsdam

Generelt

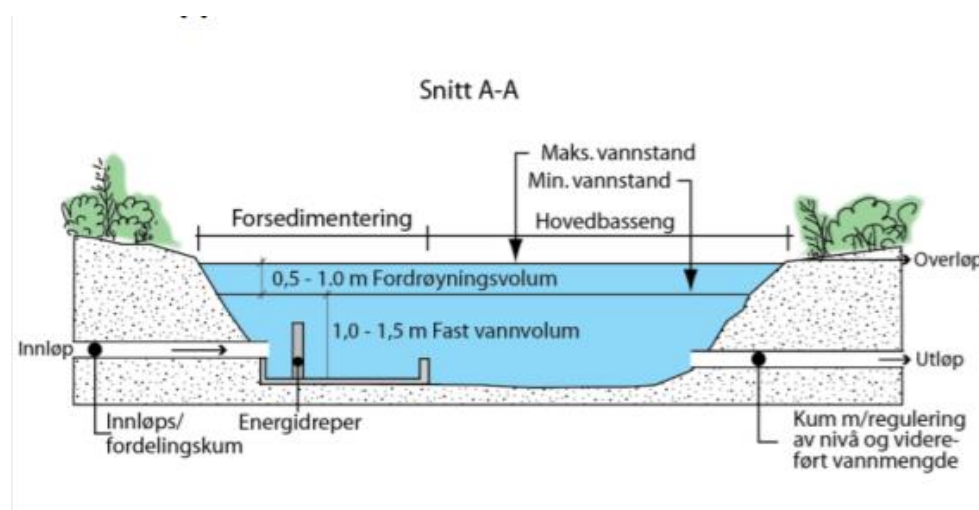
Fordrøyning i dammer forekommer både «tørt» og «vått». Med tørt menes volum som periodevis fylles med vann. Volumet kan brukes til andre formål når det er tørrvær, og er derfor en arealeffektiv løsning. Med vått menes det at dammen har et permanent vannspeil.

Fordrøyningsdam med permanent vannspeil er et vanlig LOD-tiltak og et viktig element i åpen overvannshåndtering. Permanente vannspeil oppleves som positive og livgivende innslag i et bymiljø.

Dimensjonering

I våte dammer dimensjoneres det for fordrøyningsvolum og tørrværsvolum. Tørrværsvolumet vill være vannspeilet som skal være permanent under tørrvær. Dambunnen må være tett slik at det permanente vannspeilet ikke infiltrerer bort. Over det permanente vannspeilet skal det avsettes et fordrøyningsvolum. Fordrøyningsvolumet utgjør det volum av tilført overvann som kan magasineres mellom høyeste og laveste vannstand. Utslippet fra dammen reguleres via en mengderegulator slik at utslippet er tilpasset nedstrøms ledningsnett, resipient etc. Innløpet må ha en energidreper for å unngå erosjon i sedimentene. Det må også utformes et overløp som skal fungere ved ekstreme regnintensiteter når dammen ikke har tilstrekkelig kapasitet (17).

Av sikkerhetsmessige grunner anbefales det skrånede kanter langs dammens sider. Figur 9 viser en prinsippskisse av en våt fordrøyningsdam.



Figur 9 Prinsippskisse våt dam (COWI)

Drift og vedlikehold

Det kan etableres et forsedimenteringsbasseng foran hoveddammen for å holde tilbake grove partikler. Slamfjerning i forsedimenteringsbassenget er nødvendig ca. hvert andre år. I hovedbassenget derimot er det kun behov hvert 10-20 år. Dammer som utelukkende mottar takvann har ikke behov for slamfjerning (18). Dammer skal også fungere om vinteren, og det er viktig at innløpet og utløpet dykkes slik at det ikke oppstår frysing.



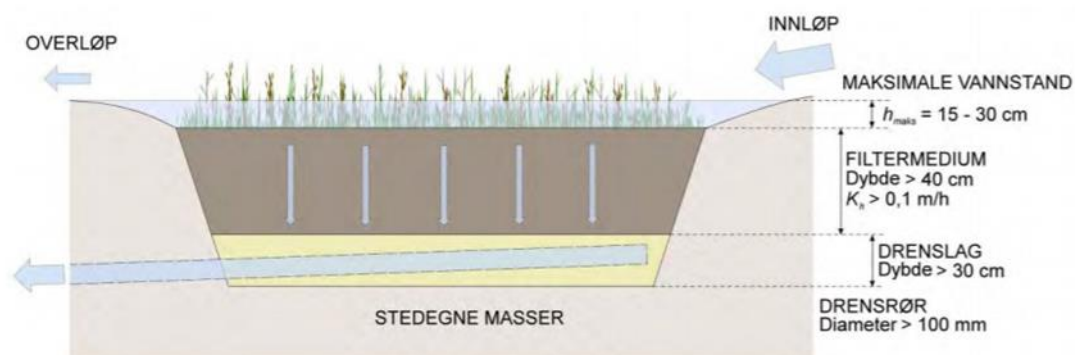
Figur 10 Fordrøyningsdammer i boligbebyggelse (Foto; Frank Bjørnø)

2.3.3 Regnbed

Generelt

Regnbed er et lokalt tiltak for overvannshåndtering hvor en beplantet forsenkning mottar overvann fra områder som tak, gårdsplasser, veger og andre typer flater. Regnbed består av et vegetasjonslag med et anlegg av filtermedium og dre slag under. Vannet som blir tilført i regnbedet samles opp og infiltrerer eller føres til et overvannsnett. Dette fører til at vannet forsinkes slik at flomtoppene reduseres. I tillegg kan regnbed holde igjen forurensninger og etterfylle grunnvannet dersom de stedlige massene har tilstrekkelig infiltrasjonsevne (19).

Et regnbed kan utformes på flere måter, men består prinsipielt av ett vegetasjonslag og ett underliggende filtermedium med dybde 50-80 cm. Det er viktig å velge planter ut ifra hvilket miljø de skal stå i og at de tåler perioder med stående vann og tørke. Filtermediet består normalt av 50-60% sand, 20-30% matjord og 10-20% løvkompost. Det er viktig at regnbedet har god drenering slik at det stående vannet ikke fryser til når det blir kaldt. Dersom de stedlige massene har dårlig infiltrasjonsevne, kan det være nødvendig å ha regnbedet underdrenert. Det vil si at det plasseres et dre slag i grovere masser i bunn regnbed (19).



Figur 11 Prinsippkisse for oppbygningen av regnbed (NVE, 2013)

Dimensjonering

Regnbedet dimensjoneres etter treleddstrategien. Overflatearealet avhenger om det skal ta hånd om første ledd, eller om det skal være et flomreducerende tiltak som håndterer trinn to. I 2012 utførte Torstein Dalen analyser av regnbeds ytelse med avrenningsdata fra Bergen, Trondheim og Ås. Resultatet viste at 95% av årsavrenningen kan infiltreres alle de tre stedene med et regnbed på 2,5% av nedbørsfeltets areal. Simuleringer av tre timer timers 15 års nedbør i Trondheim viste at regnbed som er 7% av nedbørsfeltet vil gi en flomtoppreduksjon på 90% (20).

Ved beregning av overflateareal kan følgende formel benyttes: (21)

$$A_{regnbed} = \frac{\varphi * A_{felt} * I}{h_{maks} + k_h * t_r}$$

hvor

$A_{regnbed}$ = regnbedets overflateareal [m^2]

φ = nedbørsfelt gjennomsnittlige avrenningskoeffisient

A_{felt} = arealet på nedbørsfelt [m^2]

I = dimensjonerende nedbørsmengde [m]

h_{maks} = oppstuvning over filtermediet [m]

k_h = filtermediets mettede hydrauliske konduktivitet [m/t]

t_r = regnvarighet [min]

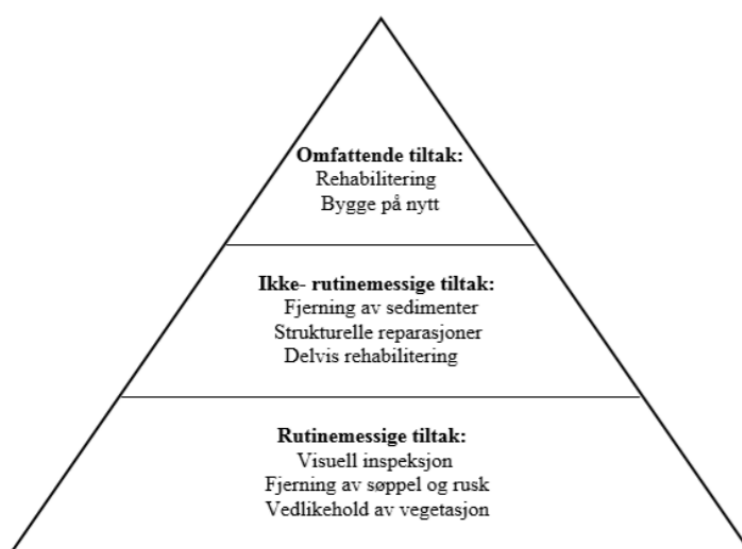
I små nedbørsfelt er tidsforskyvningen mellom nedbør og avrenning liten og derfor vil t_r tilsvare regnvarigheten. h_{maks} er den maksimale avstanden fra det åpne vannspeilet til vannet går i overløp. Denne verdien vill ha betydning for regnbedets evne til å håndtere styrtregn siden høyden danner et fordrøyningsvolum. Filtermediets mettede hydrauliske konduktivitet forteller om hvor fort vannet kan bevege seg igjennom filtermediet. Denne vill ha betydning for regnbedets evne til å klargjøre seg til neste nedbørshendelse, samt også håndtering av langvarige nedbørshendelser (22).

Drift og vedlikehold

Mye av vedlikeholdsarbeidet til regnbed vill være å fjerne søppel, klippe vegetasjon, tilsette matjord og andre oppgaver som opprettholder det estetiske uttrykket. Det må også gjøres vedlikehold som er relatert til regnbedets funksjon. Typiske oppgaver kan være å fjerne gjenstander som kan tette innløp og utløp (23).

For å opprettholde infiltrasjonen bør det øverste jordlaget skiftes ut iblant, samt fjerning av sedimenter som legger seg på overflatearealet og senker den hydrauliske konduktiviteten. Studier viser at det er i de øverste 5-10 cm at tungmetallene blir absorbert (24).

Ericson et. al (2010) utførte et studie om vedlikehold av lokale overvannsløsninger og presenterte en vedlikeholds trekant om hvordan vedlikeholdet bør inndeles. Studiet baserte seg på innsamlet data fra 36 amerikanske byer (25).



Figur 12 Vedlikeholds pyramiden (Erickson et al. 2010)

I en vintersituasjon er gjenfrysing av filtermediet et problem. Når filtermediet fryser vill den hydrauliske konduktiviteten reduseres. I Norge er det anlagt fire pilot regnbed for forskning og utvikling. Man bør derfor ved dimensjonering undersøke verdiene disse regnbedene har for å få regnbedet best mulig klimatilpasset. Paus og Braskerud anbefaler en minsteverdi på 0,1 m/t for hydraulisk konduktivitet når regnbed skal anlegges i Norge (26).

2.3.4 Kanaler, renner, vannveier

Generelt

Vannkanaler, renner benyttes i åpne systemer til å lede bort overvann og forsinke avrenningen. Slike anlegg kan inngå i alle tre ledd i treleddstrategien, og oppleves ofte som positive tilskudd i urbane miljøer. Når kanalene, rennene transporterer vann forsinkes vannføringen og flomtoppen reduseres. Kostnadmessig er ikke åpne kanalsystemer vanligvis billigere enn tradisjonelle systemer (27).



Figur 14 Overvannskanal, Bjølsen studentby (Foto: Dronninga landskap)



Figur 13 Vannrenne, Oslo (Statsbygg)

Dimensjonering

Vannveier kan utformes på forskjellige måter. De kan utformes med elementer av stein, betong, eller som gresskledde forsenkninger. Som nevnt innledningsvis så kan de dimensjoneres for normale, store og ekstreme regnintensiteter. Ved store og ekstreme regnintensiteter utformes vannveier som kanaler eller som naturlige bekker i grøntdrag (28).

Kapasiteten til vannveien kan utregnes med Mannings formel (29).

$$Q = A_v * M * Rh^{\frac{2}{3}} * \sqrt{I}$$

Q = Vannføring (m^3/s)

A_v = Areal vått tverrsnitt (m^2)

M = Mannings tall ($m^{1/3}/s$)

Rh = Hydraulisk radius (m)

I = Grøftebunnens fall i lengderetning (m/m)

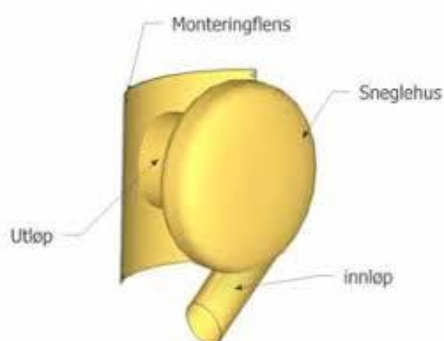
Drift og vedlikehold

Åpne overvannssystem trenger som regel mer vedlikehold enn tradisjonelle overvannssystemer. Fjerning av søppel, gjenstander som stanser vannveien vill være typiske vedlikeholdsoppgaver. Det må også tenkes på muligheter for maskinelt vedlikehold.

2.3.5 Virvelkammer

Et virvelkammer er en mengderegulator som gir kontroll på videreført vannmengde fra et magasin. Da får man redusert spissbelastningene og overbelastningen av nedstrøms ledningsnett.

Virvelkammeret er sirkulært, med tangentielt innløp. Vannstrømmen som kommer inn følger en spiral, kaldt sneglehuset. Daniel Bernoulli slo fast at en væske aldri mister energi, energien skifter bare form. Inne i virvelkammeret akselereres vannets hastighet fra innløp til utløp slik at trykkenergien omformes til hastighetsenergi. Den innkommende vannstrømmen treffer de roterende vannmassene der trykket er høyest og blir på den måten kraftig bremsset opp. Hastighetsenergien omsettes når «hullstålen» forlater virvelkammeret (30).



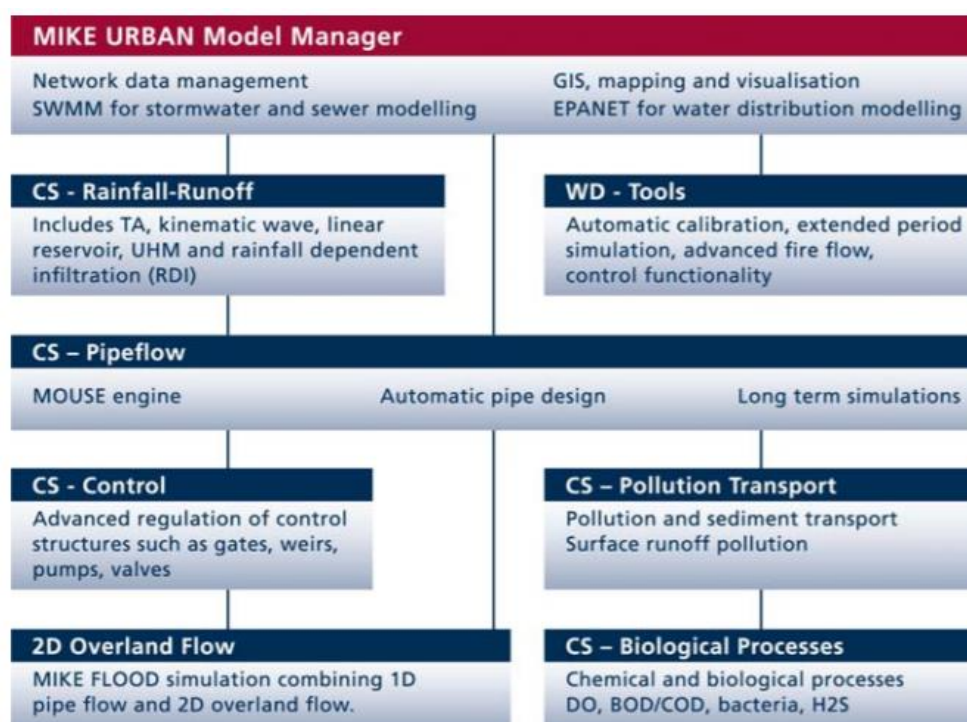
Figur 15 Virvelkammer

2.4 Mike Urban

2.4.1 Generelt

Mike Urban er utviklet av DHI, og er et modellerings og simuleringsverktøy for urbane vannsystemer. Mike Urban dekker alle urbane vannsystemer, inkludert vannforsyning, overvannssystem, og avløpssystem i både separate og felles system. Typiske anvendelsesområder ved vannforsyning er for eksempel planlegging, brannvannanalyse eller rehabilitering og trykk optimalisering. For overvann og avløpsvann er typiske anvendelsesområder planlegging, analyser av kapasitet, overløp, vannkvalitet og beredskapsplanlegging for by flom (31). Med Mike Urban kan man presentere modellresultatet i form av blant annet tidsserier, profiler, animasjoner og statistikker (32).

Mike Urban er modulbasert og i figur 16 kan man se de ulike modulene. Modulene er «Water distribution» (WD-moduler), «Collection system» (CS-moduler) og Model Manager modul (32).

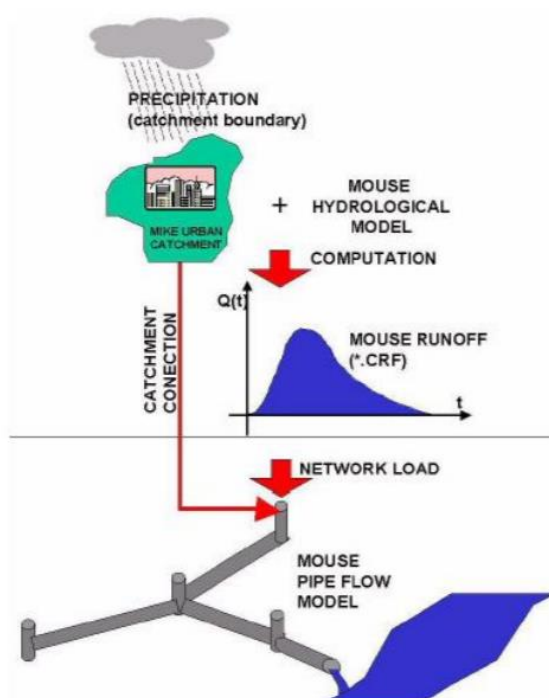


Figur 16 MIKE URBAN Model Manager (DHI, 2017)

2.4.2 MOUSE

I denne bacheloroppgaven er det brukt CS moduler. CS moduler er basert på beregningsmotoren MOUSE. Når man modellerer et system med Mike Urban kan man enten velge å bruke SWMM motoren eller MOUSE motoren. MOUSE motoren DHIs egenproduserte beregningsmotor og består av ulike moduler (33). I denne oppgaven ble det sett på modulene MOUSE RUNOFF og MOUSE PIPEFLOW.

Ved å benytte seg av disse modulene kan man utføre simuleringer i to steg. Først defineres alle delområder og knytter disse til nettverket. Deretter, etter alle parametere er satt inn kan man kjøre modellen og se på avrenningen for området. Andre steg går ut på å simulere belastningen på ledningsnettverket. Man får da ut flere snitt av ledningsnettverket hvor man kan undersøke belastningen for hvert tidsintervall.



Figur 17 Illustrasjon MOUSE (DHI, 2017)

2.4.3 MOUSE RUNOFF

Følgende beskrivelse er hentet direkte fra Renate Sara, 2012 (34).

Det finnes fire ulike metoder for beregning av overflateavrenning ved bruk av MOUSE runoff:

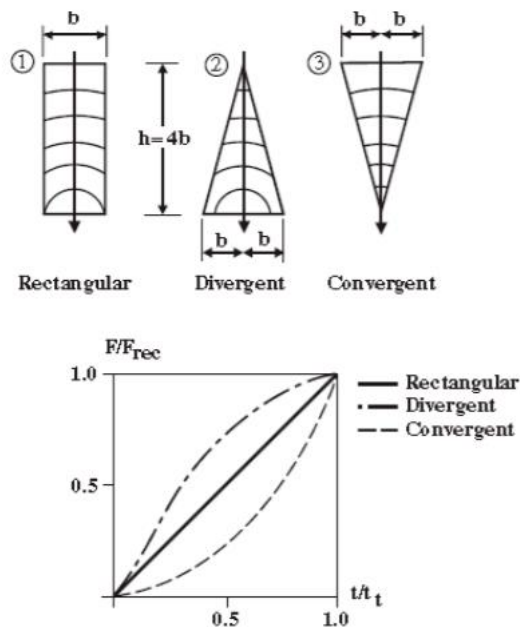
- Modell A: Tid-arealmetoden.
- Modell B: Kinematisk bølge. Ikke-lineært reservoar
- Modell C: Lineært reservoar. Herunder to ulike metoder (C1 og C2)
- UHM: Unit Hydrograph Model.

Valg av metode kan avhenge av tilgjengelig nødvendig data om nedbørsfeltene, og det er ikke mulig å kombinere flere beregningsmetoder for ulike delfelter i en og samme modellkjøring. MOUSE runoff beregner avrenningen på overflaten, men modell A, B og C kan kombineres sakte avrenning i RDI-modulen. Metodene kan gi store ulikheter i resultatet for overflateavrenningen på grunn av forskjellige inputdata for nedbørsfeltene, og parametere og beregningsmetoder i modellen. (DHI 2009d) Tid-areal metoden (modell A) beregner avrenning fra nedbørsfelt avhengig av feltes areal, regn og hydrologiske tap. Før en beregning kan utføres må hvert nedbørsfelt i modellen beskrives ved hjelp av følgende feltparametere:

- Størrelse: det horisontale overflatearealet til feltet.
- Beliggenhet: identifiserer hvor feltet kobles til avløpsnett.
- Andel tette flater: prosentandelen av overflaten som bidrar til avrenningen.
- Innbyggere: antall innbyggere i nedbørsfeltet. Benyttes kun til tørrværsavrenning.
- Annen avrenning: en konstant avrenning som legges til avrenningshydrografen. Dette kan for eksempel være en forenklet beskrivelse av bidrag fra infiltrasjon for en enkelt hendelse. I tillegg angis modellspesifikke data som er andel tette flater, det bidragende arealet til overflateavrenningen. De hydrologiske parameterne for modellen som må bestemmes er:
 - Konsentrasjonstid: tiden det tar før punktet i feltet med størst avstand til feltets utløpspunkt bidrar til avrenningen.
 - Hydrologisk tap: reduksjonsfaktor som tar hensyn til for eksempel evapotranspirasjon og tette flater som ikke bidrar til avrenning til ledningsnett.
 - Initialtap: en gitt høyde for magasinerings av nedbørsmengden. Dette tar høyde for porerom og ujevnheter, og overflateavrenningen starter når magasinet er fylt opp.

- Tid-arealkurve: Det benyttes en kurve avhengig av formen på nedbørsfeltet. Det finnes tre forhåndsdefinerte kurver å velge mellom.

MOUSE deler ved tid-areal metoden nedbørsfeltet i mindre bueformede celler med senter i feltet utløp, som vist i figur 18.



Figur 18 De tre definerte tid-areal kurvene i MOUSE runoff. Tid-areal kurvens form avhenger av feltets utseende. (DHI 2009d)

Arealet av hver celle beregnes etter tid-areal kurven. Summen av cellene er lik arealet av de angitte tette flatene i feltet. Avrenningen i nedbørsfeltet starter idet regnvolumet overskrider gitt initialtap, og stanser når det akkumulerte regndybden er mindre enn magasineringskapasiteten i feltet. Etter avrenningen har startet vil det akkumulerte regnvolumet fra en celle bevege seg nedstrøms mot neste celle. Avrenningen i ethvert tids steg i en celle er et resultat av innløpet, utløpet og regnfallet i selve cellen. Avrenningen for hele nedbørsfeltet er derav utløpet i den nederst beliggende cellen, og er feltets hydrogram for overflateavrenningen. Antall celler (n) er avhengig av konsentrasjonstiden (t_c) og tidssteget (Δt) i simuleringen, og er gitt ved formelen: (DHI 2009d)

$$n = \frac{t_c}{\Delta t}$$

2.4.4 MOUSE PIPEFLOW

Følgende beskrivelse er hentet direkte fra Renate Sara, 2012 (34).

Med modulen MOUSE Pipe Flow beregnes turbulent vannføring i avløpsnett ved hjelp av kompliserte formelverk, og er et nyttig verktøy for beregninger i både nye og eksisterende avløpssystemer. Det kan beregnes rørstrømninger med og uten trykk, eller for fri overflate. MOUSE løser Saint Venants ligninger for bevaring av masse og moment numerisk for dynamisk strømning:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad \text{Kontinuitetsligning (DHI, 2009d)}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} = gA(I_0 - I_f) \quad \text{Momentligning (DHI 2009d)}$$

Hvor:

Q = Vannføring

A = Strømningsareal

y = Strømningsdybde

g = tyngdeakselerasjon

x = avstand i strømningsretning

t = tid

α = hastighets distribusjonskoeffisient

I_0 = bunnhelning

I_f = friksjonshelning

Grensebetingelsene for ligningene er gitt av hydrografene fra MOUSE Runoff, hvor det beskrives hvordan overvannet når ledningsnett til enhver tid. (Olsen 2011) MOUSE Pipe Flow modulen har muligheter til å definere og beregne vannstrømmen i blant annet følgende komponenter i avløpssystemet:

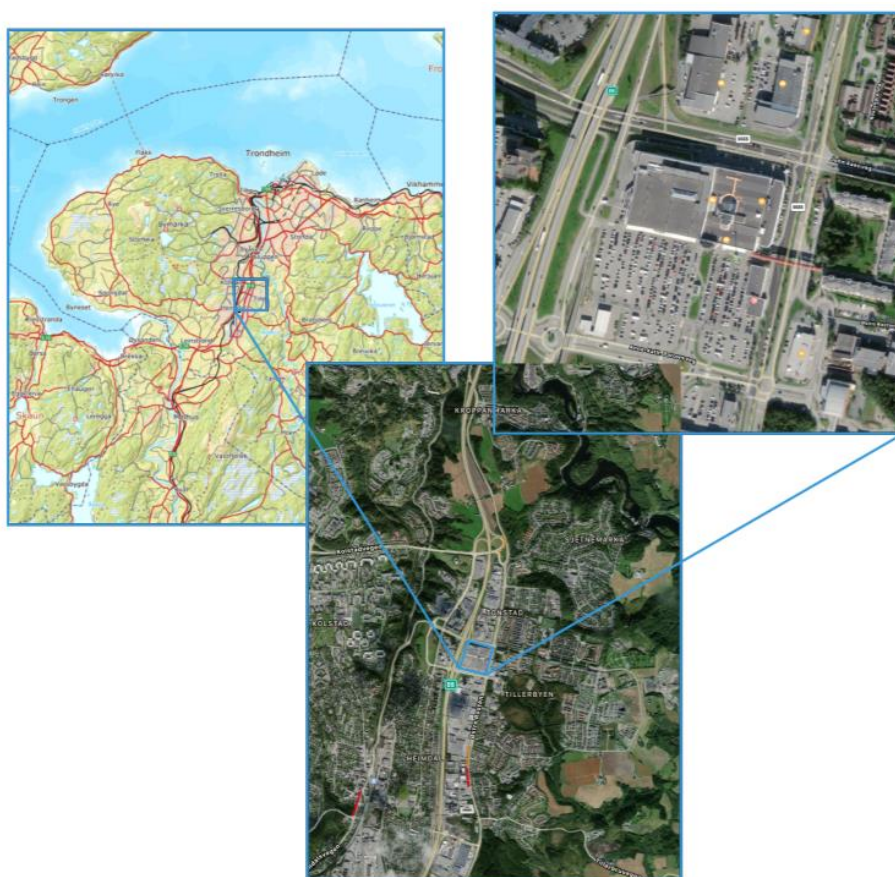
Ledninger, åpne kanaler, runde kummer, fordrøyningsbasseng (herunder tanker, ikke-sirkulære kummer og dammer), utløp med konstant eller tidsavhengig vannivå, regnvannsoverløp og nødoverløp for pumpestasjoner, strømningsregulering og tilbakeslagsventiler, pumper med ulike styringsbestemmelser, konstante eller variable innløpsmengder (DHI 2009a)

Del 3 Case

3.1 Presentasjon av caseområdet

3.1.1 Dagens situasjon

Tomta befinner seg i Trondheim kommune, ca 8 km sør for Trondheim sentrum, i området Tiller. Prosjektets omfang avgrenses hovedsakelig av veiene Jon Aaes vei i nord, Anne-Kath. Parows veg i sør, Østre Rosten i øst og E6 i vest. Tomta er 59 000 m² og består i dag av kjøpesenteret City Syd, YX City syd, Brilleland Tiller, Asia House og tilhørende utendørs parkeringsplass. Området er i dag preget av mye tette flater, med litt gressareal på og rundt parkeringsplassen.



Figur 19 Kart og satellittbilde (Norgeskart)

Tomta ligger i et attraktivt næringsområde, og har god tilgjengelighet til E6. City Syd er Midt-Norges største kjøpesenter og kan sies å være tyngdepunktet for Tiller. Kjøpesenteret huser 74 butikker og det er 1000 gratis parkeringsplasser på tomta. Det er også et godt kollektivtilbud i området.

3.1.2 Fremtidig situasjon

Utbyggingen skal foregå på det store parkeringsarealet sør for city syd. Her planlegges det et stort byggeprosjekt hvor bilene skal bli gjemt i en parkeringskjeller. Parkeringskjelleren skal ligge under arealet hvor dagens parkeringsplass befinner seg. Dagens parkeringsplass skal erstattes med boliger, kontorer og næringsbygg. Kjøpesenteret city syd vil i stor grad være som i dag. Næringsbyggene og kontorplassene skal fremtre mer som gate butikker, istedenfor å fremtre som en del av et stort kjøpesenter.



Figur 20 Fremtidig situasjon (GHILARDI + HELLSTEN ARKITEKTER)

Det legges stor vekt på grønne løsninger. Området skal være preget av grønne tak og grønne utearealer med et felles parkområde. Det skal også plasseres solcellepaneler på taket til city syd. Hoved innkjøringen planlegges mellom dagens E6-rampe og tomta. Her er det planlagt at både innkjøring og utkjøring av parkeringskjeller skal være.

3.1.3 Grunnforhold

I forbindelse med planleggingen har Rambøll utarbeidet en geoteknisk rapport for området. Denne rapporten ble tilsendt av Rebecca Martinsen ved Asplan Viak. Følgende informasjon er hentet direkte fra den geotekniske rapporten.

Opprinnelig var det i dette området myr med slakt fall mot øst og nord. Opprinnelig torvlag hadde 1 – 3 m tykkelse. Generelt er det meget gode grunnforhold i dette området, mellom vegene E6 og Østre Rosten, da det er faste masser av mest leire, men også med lag av silt og sand. Øverst i mineralsk grunn (dvs. rett under opprinnelig torvlag) ble det noen steder i området påvist et bløtere/løsere overgangslag med tykkelse inntil 2 – 3 m. Mot E6 besto dette laget av bløt til middels fast leire og løst lagret sand/silt. Mot Østre Rosten ble det også påvist et bløtt leirlag. Inne på selve tomte til dagens kjøpesenter ble det ikke påvist slike masser. Hele dette området er opparbeidet og det antas at torv og mye av de løsere topplagene er blitt fjernet. E6 ligger i dag omtrent i nivå med tidligere myrterreng. Torva er naturligvis fjernet under E6, men her er ikke overgangslaget fjernet og dette var heller ikke nødvendig da oppfyllinga for vegen er liten, antatt 2 – 3 m forbi området (opplyst av Vegvesenet). John Aas veg krysser under E6 og skjærer seg dermed ned i den faste leira. Grunnvannstanden er tidligere målt i 13,5 m dybde (tilsvarer kt 136) og ligger derfor meget dypt. Dette skyldes nok dype, drenerende silt-/sandlag. Det er påvist tilsvarende forhold bla. ved hotellet mot sør. Det er ikke kvikkleire i dette området. De nærmeste sonene ligger i god avstand mot nord og øst. Ingen av disse kan påvirke området da de ligger på et lavere nivå. Områdestabiliteten er derfor ivaretatt. Området er tilnærmet flatt og det er derfor ingen stabilitetsproblemer lokalt med nåværende terrengnivå og høydeforskjeller (35).

3.1.4 Eksisterende infrastruktur

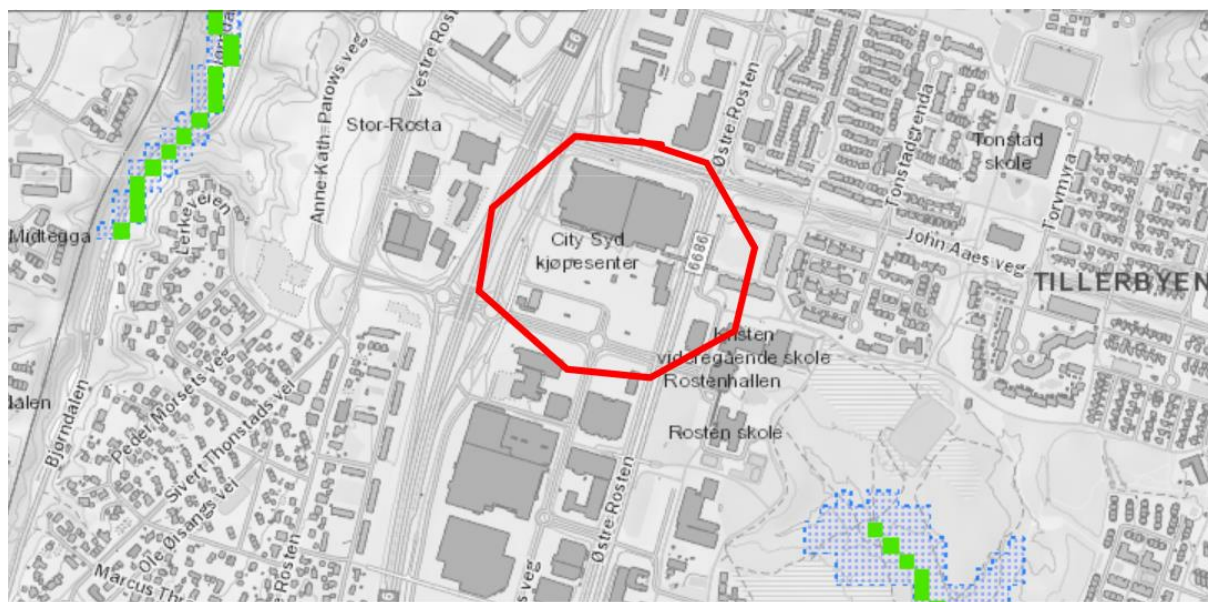
Hovedledningsnettets består av separate ledningssystem. Innenfor planområdet eksisterer DN150, DN200, DN250, DN300, DN400 betongrør. Ledninger på sørsiden av city syd ligger med fall mot Anne-Kat Parrows veg. Ledninger rundt city syd, samt ledninger foran Brilleland ligger med fall mot John Aaes veg.

Kommunale ledninger omfatter DN800-DN1200 betongrør i Anne-Kat Parrows veg. Disse ligger med fall mot område Tillerbyen. I Østre Rosten ligger DN400 betongrør som knytter seg litt ledningene i John Aaes veg. I John Aaes veg er det registrert DN500 rør som ligger i fall mot vest.

Det er tatt utgangspunkt i at alle ledninger innenfor planområdet blir erstattet ved utbygging av fremtidig situasjon.

3.1.5 Flomfare og eksisterende flomveier

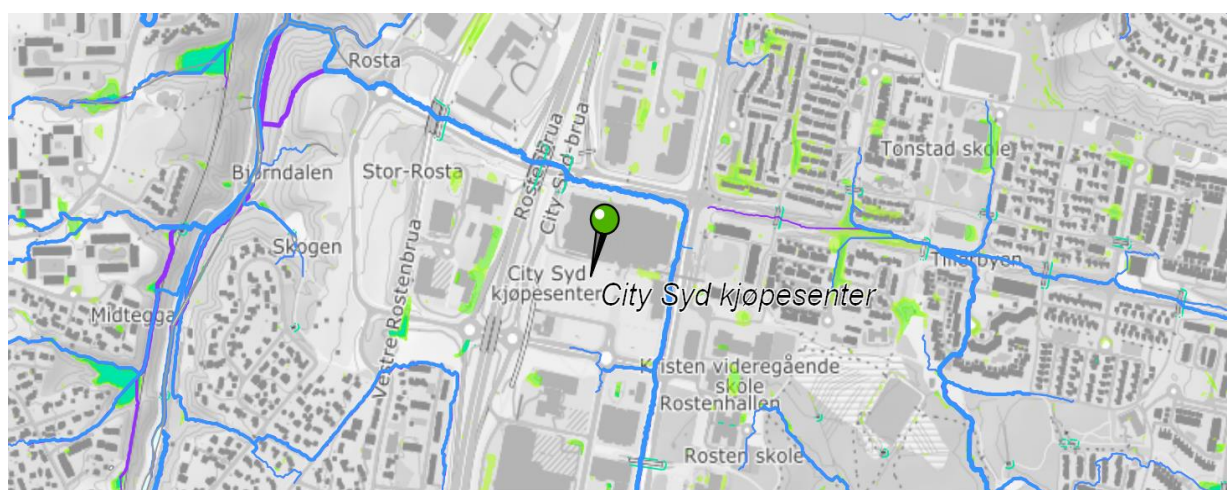
Ved kartlegging av flomfare er NVE sitt aktsomhetskart for flom benyttet. Flomsonekartet viser hvilke områder som blir oversvømt ved flommer med ulikt gjentaksintervall (36). Ut ifra kartet vurderes tomte som flomsikker.



Figur 21 Flomsonekart (NVE, 2020)

Eksisterende flomveier er hentet ut ifra Trondheim kommune sitt aktsomhetskart.

Aktsomhetskartet er laget som et hjelpemiddel for saksbehandlere og viser ulike farer knyttet til ekstremvær. Flomveiene vises som blå linjer på kartet (37).



Figur 22 Eksisterende flomveier (Trondheim kommune, 2020)

3.2 Kommunale mål og krav knyttet til overvann

Utdrag fra Trondheim kommunes hovedplan avløp og vannmiljø 2013-2024 (38):

«Fortetting medfører en økning i andel tette flater og en reduksjon av naturområder og grønne arealer. Større andeler av nedbøren transporteres raskere bort, og man får endringer i vannets naturlige hydrologiske kretsløp. For å motvirke disse uheldige virkningene av fortetting er det ønskelig å øke tilførselen av overvann til grønne arealer og til grunnen generelt der dette er mulig. I tillegg til å ha effekter i form av forsinking og fordrøyning av overvann vil dette gi en rekke andre gunstige effekter som økt biologisk mangfold, bedring av lokalklima, forbedrede vekstvilkår for vegetasjon, vannkvalitetsforbedringer på overvannet samt grønne rekreasjonsarealer».

Kommunedelplanen for Tiller fastlegger (39).

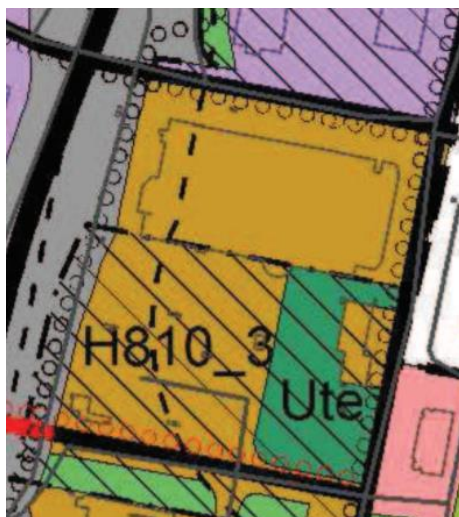
§ 4.2 Grøntanlegg og krav til uteoppholdsareal

«For alle tiltak som omfatter bolig, kontor, service eller handel skal det legges vekt på uteoppholdsareal med god kvalitet der vegetasjon skal inngå».

§ 14.4 Uteområdet og etablering av bydelspark/torg ved City Syd

«Ny bebyggelse innenfor areal avsatt til sentrumsformål kan ikke tas i bruk før grønnstruktur ved City syd merket Ute i plankartet er opparbeidet som bydelspark/torg».

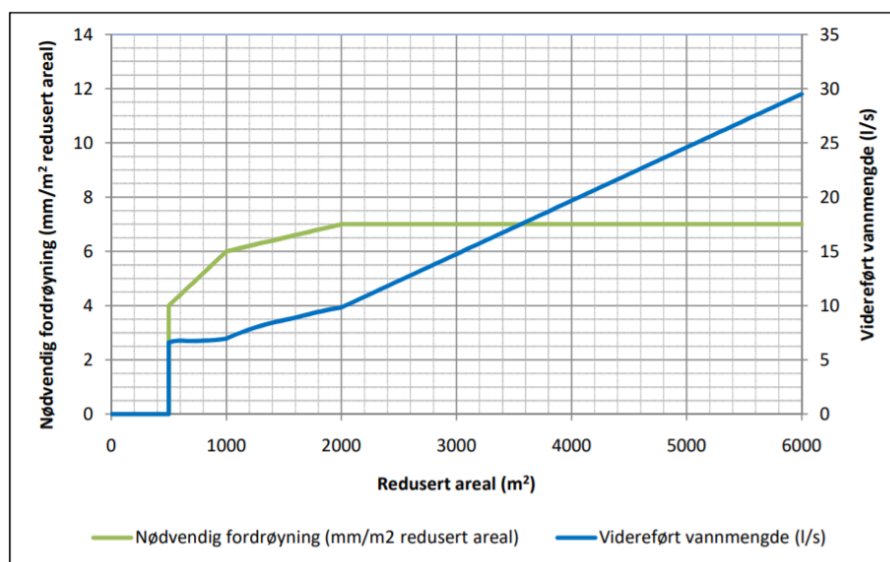
I kommunedelplanen for Tiller er caseområdet regulert for sentrumsformål og uteoppholdsareal.



Figur 23 Reguleringsbestemmelse for caseområdet (Trondheim kommune, 2013)

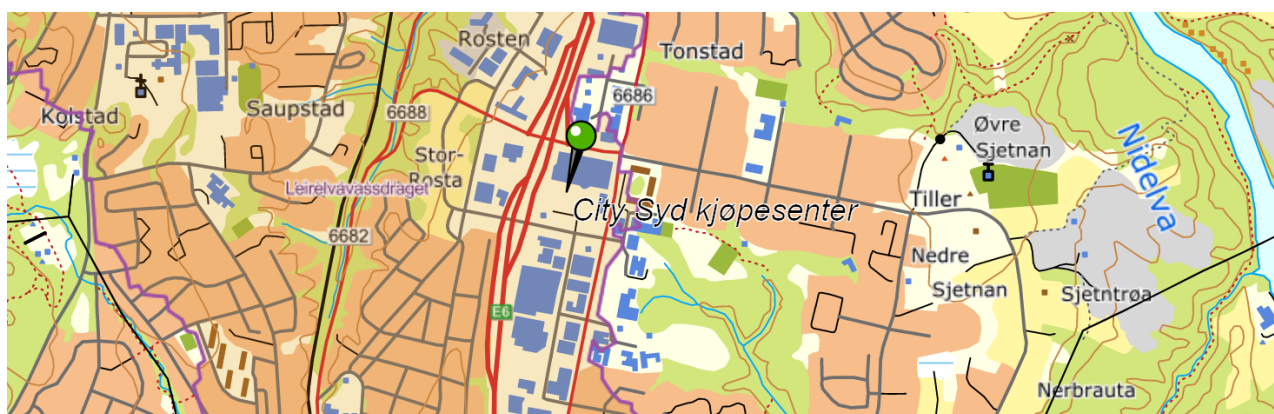
3.3 Maksimalt videreført vannmengde

I VA-normen til Trondheim kommune er det en regel om at ved nye prosjekter skal overvann fra eiendom fordrøyes før det tilknyttes kommunalt nett. Minimums krav til volum er satt som en gitt vanddybde multiplisert med redusert areal. Siden området vårt består av separatsystem, finner man nødvendig fordrøyning og videreført vannmengde i figur 24 (40).

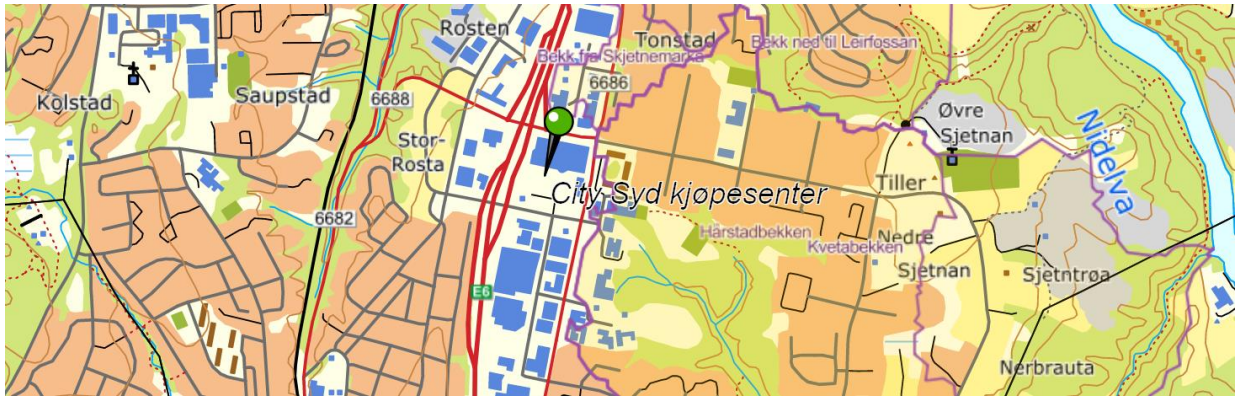


Figur 24 Separatsystem. Minimumskrav til fordrøyning og maks videreført vannmengde. (Trondheim kommune)

Ifølge aktsomhetskartet til Trondheim kommune ligger området vårt i nedbørsområdet leirelvavassdraget (Figur 25). Kommunalt ledningsnett sør for området vårt går derimot inn i et nytt nedbørsfelt som har avløp til Nidelva (Figur 26). Ifølge VA-normen har felt som har avløp til Nidelva forhøyede krav til fordrøyning. Dette medfører at delområdet 1, 2 og 3 er områder hvor det skal fordrøyes 10 mm/m². For å finne krav til fordrøyning i delområdet 4 brukes figur 24.



Figur 25 Leirelvavassdraget (Trondheim kommune)



Figur 26 Tillerbyen med utslipp i Nidelva (Trondheim kommune)

Beregninger

Siden delområde 1,2 og 3 har forhøyede krav til fordrøyning, kunne ikke vi ikke bruke diagrammet til å finne maksimalt videreført vannmengde. Etter litt undersøkelser fant vi ut at man kan finne maksimalt videreført vannmengde ved å bruke et regneark. Dette regnearket hadde ikke vi tilgang på så vi forhørte oss med Rebecca Martinsen ved Asplan Viak. Hun forklarte teorien som ligger bak disse regnearkene slik at vi kunne lage vårt eget regneark. Regnearket vi lagde bygger på følgende prinsipper:

$$\text{Volum}_{\text{inn}} - \text{Volum}_{\text{ut}} = \text{Nødvendig fordrøyningsvolum}$$

Hvor $\text{Volum}_{\text{inn}}$ er avrenningen flatene frembringer ved dimensjonerende regnvarighet. Volum_{ut} , også kaldt midlere videreført vannmengde er $(0,7 * \text{maksimalt videreført vannmengde i henhold til VA-normen}) * \text{regnvarigheten}$.

Vi beregnet nødvendig fordrøyningsvolum og satte dette på hvert tidsintervall i regnearket. Vi kunne da regne oss bakover og finne maksimalt videreført vannmengde for hvert tidsintervall. Det tidsintervallet som ga høyest verdi for maksimalt videreført vannmengde ble dimensjonerende. Rebecca Martinsen ved Asplan Viak satte også verdiene fra nedslagsfelt 1 og 2 i regnearket hun brukte. Resultatene der ble litt annerledes, men dette skyltes av at vi brukte alle desimaler i regnearket vårt.

Beregningene ga følgende:

Nedslagsfelt 1 (Se vedlegg 1)

$$\text{Areal} = 16904,43 \text{ m}^2$$

$$\text{Nødvendig fordrøyningsvolum} = 106,5 \text{ m}^3$$

$$\text{Maksimalt videreført} = 104 \text{ l/s}$$

Nedslagsfelt 2 (Se vedlegg 2)

$$\text{Areal} = 7042,71 \text{ m}^2$$

$$\text{Nødvendig fordrøyningsvolum} = 42,96 \text{ m}^3$$

$$\text{Maksimalt videreført: } 42 \text{ l/s}$$

Nedslagsfelt 3 (Se vedlegg 3)

$$\text{Areal} = 4664,4 \text{ m}^2$$

$$\text{Nødvendig fordrøyningsvolum} = 30,3186 \text{ m}^3$$

$$\text{Maks tillatt påslipp} = 30 \text{ l/s}$$

Nedslagsfelt 4

Her ble diagrammet i VA-normen til Trondheim kommune brukt (Se figur XX)

$$\text{Areal} = 6382,66 \text{ m}^2$$

$$\Phi_{\text{midlere}} = 0,62$$

$$\text{Redusert areal} = 3975,739 \text{ m}^2$$

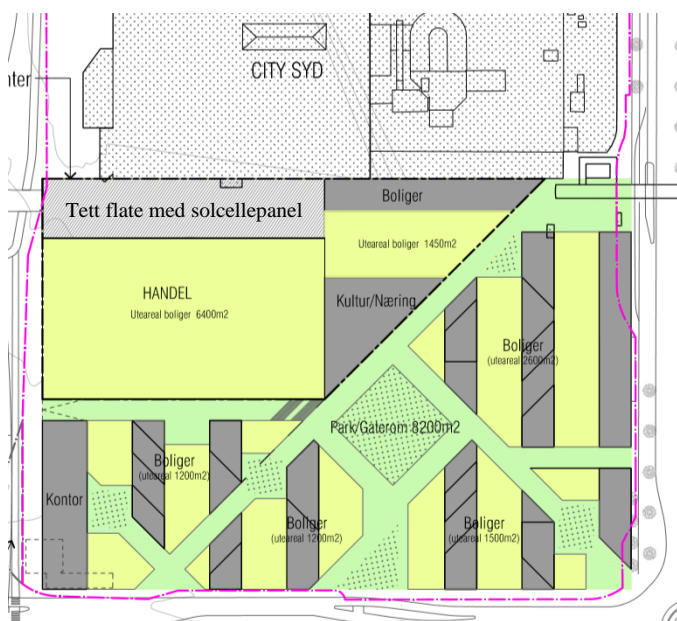
$$\text{Nødvendig fordrøyningsvolum} = 7 \text{ mm/m}^2 * 3975,739 \text{ m}^2 = 28 \text{ m}^3$$

$$\text{Maks påslipp} = 19,7 \text{ l/s}$$

3.4 Tiltak

3.4.1 Grønne tak

På takene av de nye byggene anlegges det ekstensive og intensive grønne tak



De mørkegrå flatene markerer ekstensive tak

De gule flatene markerer intensive tak

Figur 27 Situasjonsplan (Ghilardi + Hellsten arkitekter)

De ekstensive takene vill være rene sedumtak. Disse takene er ikke tilrettelagt for menneskelig opphold. Oppbygningen vill være som tabell 2 viser (16).

Sjikt	Eksempel på materialer	Eksempel på tykkelse (mm)	Flate tak	Skrå tak	Vått klima	Tørt klima
Plantedekke	Ulike sedumarter i bergknappfamilien	50 - 300	v	v	v	v
Vekstmedium	Masser fra lava, teglstein, finpukk e.l. og organisk materiale (≤ 20 %)	30	v	v	v	v
Geonett	Flere typer geonett er tilgjengelig, f.eks. stormasket nett av polypropylen			v		
Drenerende sjikt ¹⁾	Knasteplate med pålimt fiberduk Andre drenerende lag	10-15 5-40	v		v	
Vannlagrende sjikt ¹⁾	Knasteplate eller en litt tykk filt	10	v			v
Beskyttende sjikt ¹⁾	Knasteplate eller en litt tykk filt	10	(v)	(v)	(v)	(v)
Ekstra rotsperre	Rullprodukt av plast eller gummi	0,4-1,0	(v)	(v)	(v)	(v)
Takmembran	Takbelegg av asfalt, plast eller gummi	1,5-7,9	v	v	v	v
Isolasjon	Trykkfast isolasjon av mineralull eller EPS/XPS med trykkfasthet minst klasse CS(10)60	250-350	v	v	v	v
Dampsperre	PE-foli	0,2	v	v	v	v
Bærekonstruksjon	Betong, betongelementer, stålplater eller trekonstruksjoner	100-200	v	v	v	v

¹⁾ Materialsjiktene knasteplate med eller uten pålimt fiberduk og/eller tykk filt kan betjene flere av funksjonene drenering, vannlagring/fuktbevaring samt beskyttelse/rotsperre litt avhengig av utforming.
v: Sjiktet vil normalt bli benyttet.
(v) Benyttelse av sjiktet avhenger av bruksområde og utforming.

Tabell 2 Oppbygning sedumtak (SINTEF, 2012)

De intensive takene vill fremtre som takhager og kan benyttes som uteareal for beboere og mennesker som er tilknyttet området. Oppbygningen vill være som tabell 3 viser (16).

Tabell 3.4. Sjiktoppbygging til intensive grønne tak

Sjikt	Eksempel på materialer	Eksempel på tykkelse
Plantedekke	Gressplen, trær, busker, stauder og sommerblomster	-
Vekstmedium	Vekstjord iblandet lette masser	150-400 mm
Drenerende, vannlagrende og beskyttende sjikt	Knasteplate ev. i kombinasjon med fiberduk og/eller en litt tykk filt.	10-15 mm
Ekstra rotsperre	Membran av asfalt, plast eller gummi	0,4-1,0 mm
Takmembran	Takbelegg av asfalt, plast eller gummi	1,5-7,9 mm
Isolasjon	Trykkfast isolasjon av mineralull eller EPS/XPS med trykkfasthet minst klasse CS(10)80.	250-350 mm
Dampsperre	PE-folie	0,2 mm
Bærekonstruksjon	Betong eller betongelementer	250-300 mm

Tabell 3 Oppbygging intensive tak (SINTEF, 2012)

3.4.2 Regnbed

Det skal anlegges flere regnbed på området. I regnbedene er det valgt et filtermedium på 75 cm, med en filtersammensetning bestående av ca 70% sand, 25% løvkompost, 5% stegeegen toppjord. Disse verdiene er hentet fra pilot prosjektet på Risvollan i Trondheim kommune. Siden området vårt ligger i samme klimaområdet som Risvollan er det valgt å hente verdier derifra. Drenslaget består av grov pukkk og har en dybde på 40 cm. Det er ikke gjort noen evaluering av hvilke planter som bør velges, men generelt anbefales det bruk av stedeagne planter med dype røtter på grunn av kaldt klima (20).

3.4.3 Fordrøyningsdam

I parkområdet skal det anlegges en våt fordrøyningsdam. Dammen skal opprettholde et permanent vannspeil med dybde 1 meter i tørrværsperioder. Bunnplaten på dammen skal være støpt av betong slik at vannet ikke infiltrerer bort. Foran innløpet til dammen skal det plasseres en energidreper. I henhold til VA-normen til Trondheim kommune skal vannføringen ut av bassenget kontrolleres vha et virvelkammer. Effektivitetsfaktoren til virvelkammeret er satt til 0,7 (40). Det er ikke tilrettelagt for noe menneskelig opphold i dammen.

3.4.4 Innovasjon

For at fordrøyningsdammen skal fremtre som et positivt element på området er det viktig at den fremstår som ren og godt vedlikeholdt. Parkområdet, hvor dammen ligger er et utsatt område med tanke på sollys. Sollys er et positivt aspekt, men det bidrar til algevekst i dammen.

Dammen vill fort se skitten ut, noe som ødelegger det estetiske med den. Algevekst er et problem som er vanskelig å bli kvitt, men kan begrenses ved å installere en fontene.

En fontene vill bidra til å skape bevegelse i vannet, slik at det ikke står stille i lengre tørrvårsperioder. Det vill også være et positivt element i dammen rent estetisk. Ved tørrvær vill dammen ha en vanndybde på 1 meter. Fontenen må derfor ikke være avhengig av en større vanndybde. Under et intensivt regnskyll vill fordrøyningsvolumet fylles og vanndybden vill heve.

På grunn av at det periodevis vill være forskjellig vannhøyde er det valgt å sette inn en flytefontene. Fontenen som er valgt kaldes pondjet eco flytende fontene. Dette er en energieffektiv fontene som krever en minimums vanndybde på 1 meter i klart vann. Fontenehøyden kan komme opptil tre meter i høyde og i diameter, noe som passer fordrøyningsdammen. På grunn av flytefunksjonen vill installasjon og vedlikehold være enkelt
(41)



Figur 28 Pondjet eco flytende fontene (Niigata)

3.4.5 Vurderinger rundt avrenningskoeffisient

Under litteraturstudieperioden oppdaget vi at det finnes mange kilder som bruker ulike avrenningskoeffisienter. Grunnlaget for disse verdiene var lite beskrevet. I avrenningsberegninger er avrenningskoeffisient en viktig faktor som ofte må estimeres. Fellesnevneren til de ulike kildene er at avrenningsfaktoren øker med nedbørintensiteten. I nyere beregninger, med klimafaktor er nedbørintensiteten større. Avrenningskoeffisient burde derfor ikke tolkes som konstante tall. Hvordan dette burde påvirke anbefalte avrenningskoeffisienter har vi ikke satt oss inn i, men det kan bli med til ettertanke.

I VA-normen til Trondheim kommune er anbefalte avrenningskoeffisienter for ulike flater nevnt (tabell 1). Denne er benyttet for å finne avrenningskoeffisient til gateplanet inne på området. Her har vi gjort en antagelse og satt avrenningskoeffisienten på 0,8 (Bykjerne). Det er ikke oppgitt noe anbefalt avrenningskoeffisient for grønne tak i VA-normen.

Grønne tak kan holde igjen mellom 50 % til 80 % av nedbøren gjennom et år ifølge Noreng et. al (16). Det er et stort gap mellom de to verdiene, og grønne taks oppbygning, vanninnhold og nedbørintensiteten påvirker hvilken retning man skal forholde seg til. Vi tok et valg på å sette avrenningskoeffisienten på 0,6 til sedumtakene. De intensive takene er tykkere vekstmediet og vi tenkte at dette naturligvis ville føre til en større fordrøyningseffekt. Det ble da valgt en avrenningskoeffisient på 0,5 for de intensive takene.

3.4.6 Dimensjonering

For å kunne kjøre simuleringer med Mike Urban trengte vi størrelser på de valgte tiltakene våre. Det ble derfor utført en enkel dimensjonering av tiltakene for et 20 års regn med klimafaktor. Kim Haukeland Paus ved Asplan Viak sin fremgangsmåte ble benyttet. Det var usikkerhet knyttet til hvordan vi skulle forholde oss til de grønne takene. De grønne takene vil ha en god evne til å håndtere regnintensiteter knyttet til trinn 1 i treleddstrategien. Ved større nedbørshendelser, slik som 20 års regnet vil evnen begrenses. Kim Haukeland Paus har gjort en estimering på at et grønt ekstensivt tak vill fange opp 8 mm nedbør uavhengig av regnvarigheten (21). I Noreng et. al sin rapport er det skrevet om at den totale avrenningen fra et grønt tak på SINTEFs feltstasjon på Voll i Trondheim hadde lik avrenning som fra et ordinært tak på grunn av at taket hadde nådd sitt metningspunkt (16).

I dimensjoneringene som ble gjort er det derfor tatt utgangspunkt i at de grønne takene håndterer trinn 1 i treleddstrategien. Alle regnbed utenom regnbed i delområdet 1 ble dimensjonert for trinn 2 i treleddstrategien.

Delområdet 1

I delområdet 1 vill nedbør fra de grønne takene føres til fordrøyningsdam via rør. Fra fordrøyningsdammen vill vannet gå via virvelkammer og ut til kommunalt ledningsnett i Anne Kathrine Parows veg. Avrenning på gateplan vill havne i regnbed som er plassert sør for delområdet.

Enkel beregning:

Steg 1 Beregner avrenningen til regnbedet

Antar hele gateplanet går til avrenning i regnbed. $\Phi = 0,8$

Steg 2 Bestemmer nødvendig størrelse på regnbedet

Regnbedet dimensjoneres for 5 års nedbør i delfelt 1. Regnbed, sammen med grønne tak og fordrøyningsdam skal kunne håndtere 20 års regn med klimafaktor 1,4

Tr (min)	I ₅ (mm)	V _{inn} (m ³)	A _{rb} (m ²)
1	1,5	4,13	20,5
2	2,6	7,15	35
3	3,4	9,35	46
5	4,7	12,9	62
10	6,6	18,5	85
15	7,9	21,7	96
20	8,6	23,66	101
30	9,8	26,96	107
45	11,2	30,8	111
60	12,3	33,8	112
90	14,1	38,79	109
120	16,1	44,3	109
180	19,3	53,1	105
360	27,8	76,5	94
720	38,6	106,2	74,6
1440	51,2	140,8	53,2

$$A_{regnbet} = \frac{\varphi * A_{felt} * I}{h_{maks} + k_h * t_r}$$

$$h_{maks} = 20 \text{ cm}$$

$$k_h = 0,1 \text{ m/t} = 0,0017 \text{ m/min}$$

Det største overflatearealet blir dimensjonerende: $A_{rb} = 112 \text{ m}^2$

Steg 3 Bestemmer kapasiteten til regnbedet

Regnbedet vil ha kapasitet til å håndtere deler av nedbørsmengdene knyttet til trinn 2 i treleddstrategien. Antar 30% porevolum i filtermediet (n). Dybde filtermedium 0,75 m (d)

$$V_{rb,maks} = (h_{maks} + n * d) * A_{rb} = (0,20 + 0,30 * 0,75) * 112 \text{ m}^2 = 47,6 \text{ m}^3$$

Steg 4 Bestemmer størrelse dam

Ifølge tidligere beregninger er nødvendig fordrøyningsvolum $\approx 110 \text{ m}^3$

$$110 \text{ m}^3 - 48 \text{ m}^3 = 62 \text{ m}^3 \text{ som må fordrøyes i dam.}$$

Dette løses ved å legge en sirkulær dam med radius 6,3 meter og høyde 0,5 meter på fordrøyningsvolumet.

$$\text{Tørrværsvolum} = \pi * 6,3^2 * 1 = 124,7 \text{ m}^3$$

$$\text{Fordrøyningsvolum} = \pi * 6,3^2 * 0,5 = 62 \text{ m}^3$$

Delområdet 2

I delområdet 2 vill nedbør fra grønne tak føres til regnbed via rør.

Nødvendig fordrøyningsvolum $\approx 45 \text{ m}^3$

Løser dette ved å anlegge to regnbed med overflate areal 53 m^2

$$(0,20 + 0,30 * 0,75) * A_{rb} = 45 \text{ m}^3$$

$$A_{rb} = 106 \text{ m}^2$$

Delområdet 3

I delområdet 3 vill nedbør fra grønne tak føres til regnbed via rør.

Nødvendig fordrøyningsvolum $\approx 35 \text{ m}^3$

Løser dette ved å anlegge et regnbed med overflateareal på 83 m^2 .

$$(0,20 + 0,30 * 0,75) * A_{rb} = 35 \text{ m}^3$$

$$A_{rb} = 83 \text{ m}^2$$

Delområdet 4

I delområdet 4 vill nedbør fra grønne tak føres til regnbed via rør.

Nødvendig fordrøyningsvolum $\approx 28 \text{ m}^3$

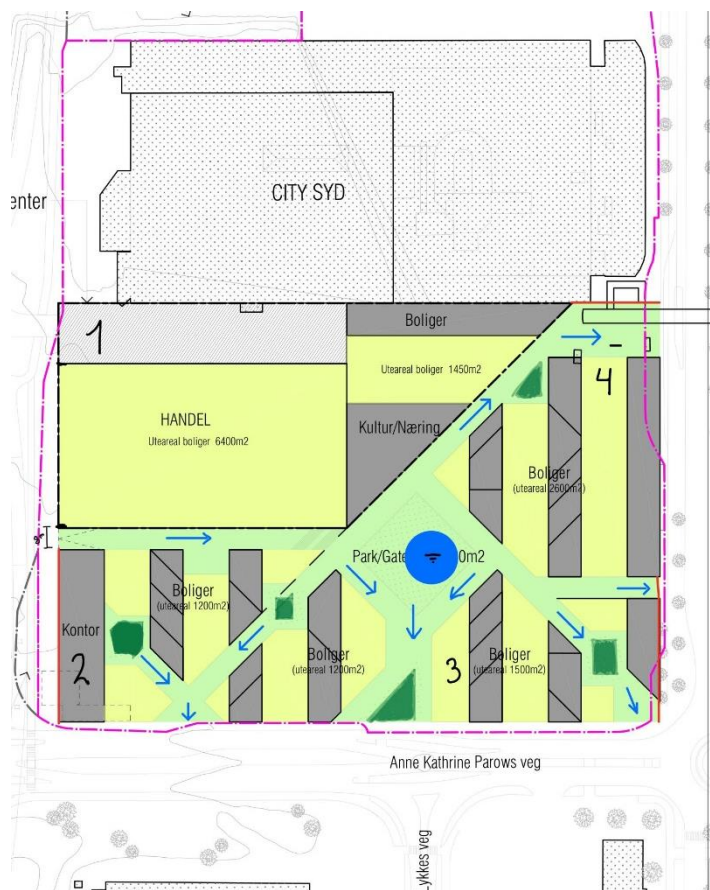
Løser dette ved å anlegge et regnbed med overflateareal på 71 m^2 .

$$(0,20 + 0,30 * 0,75) * A_{rb} = 28 \text{ m}^3$$

$$A_{rb} = 71 \text{ m}^2$$

3.4.7 Trinn 3 i treleddstrategien

Ved nedbørshendelser som er så store at tiltakene ikke fungerer vil overvannet ledes trygt frem til flomvei som vist i figur 29. Gatedekket må da ha fall ifra bygg.

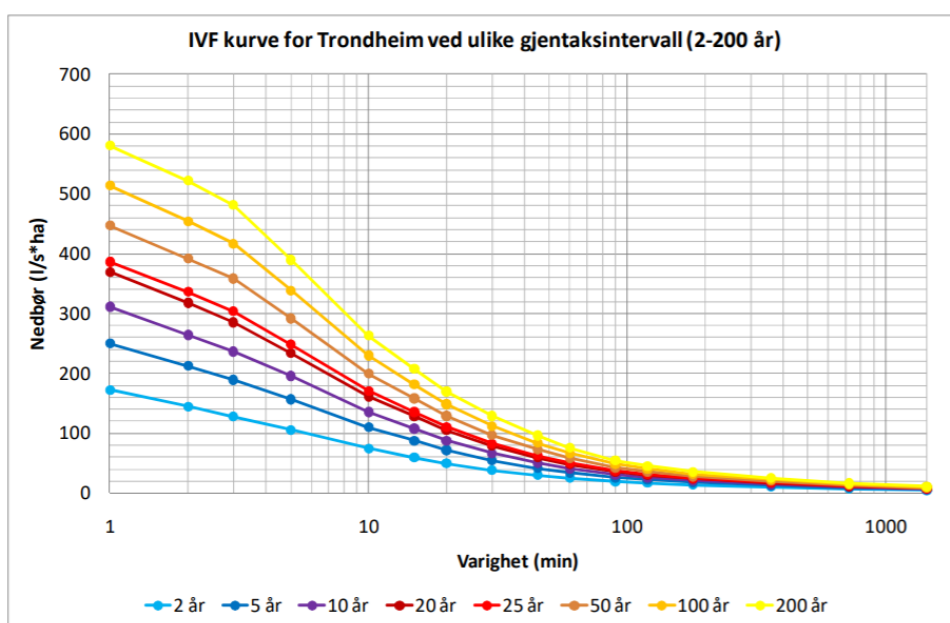


Figur 29 Drensplan ved flom

3.5 Modelloppsett for simuleringer

3.5.1 Hyetogram

I 2019 utarbeidet Meteorologisk institutt på vegne av Trondheim kommune oppdaterte IVF kurver som skal benyttes ved dimensjonering. Trondheim kommune har 7 ulike målestasjoner for korttidsnedbør, hvor den nyeste målestasjonen på Klæbu ble etablert i 2019. Den oppdaterte IVF-kurven er basert på et gjennomsnitt av stasjonene (og periodene): Voll (2002-2018); Risvollan (1987-2018); Lade (2004-2018); Ranheim (2004-2018); Saupstad (2004-2018) og Sverresborg (2004-2018) (40). IVF-kurven med tabeller ble hentet fra VA-normen til Trondheim kommune. Prinsippene til Hallvard Ødegaard et. al (2014) ble benyttet ved omdanning til symmetrisk hyetogram (42).



Figur 30 IVF kurve for Trondheim (Trondheim kommune)

Ved konstruksjon av hyetogrammet ble det valgt varighet på 60 minutter og beregningssteg på 5 minutter. Verdier for 40 og 50 minutter ble beregnet ved interpolering. IVF-kurven er lineær om y-aksen, men logaritmisk om x-aksen. Det ble da foretatt en semi-logaritmisk interpolering. Det ble lagt til en klimafaktor på 1,4. Denne ble hentet fra VA-normen til Trondheim kommune, se tabell 4

Varighet	Returperiode < 50 år	Returperiode \geq 50 år
\leq 1 time	1.4	1.5
2-3 timer	1.4	1.4
4-6 timer	1.3	1.4
7-24 timer	1.3	1.3

Tabell 4 Klimafaktor (Trondheim kommune)

Fremgangsmåte

Beregninger verdier for 40 minutter og 50 minutter.

$$\text{Formel: } F(x) = (F_1 - F_0) \left[\frac{\log(x/x_0)}{\log(x_1/x_0)} \right] + F_0 \text{ (XX)}$$

$$F(40) = (59 - 79) \left[\frac{\log(40/30)}{\log(45/30)} \right] + 79 = 64,8 \frac{l}{s*ha}$$

	Varighet (min)															
	1	2	3	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440
2 år	172	144	128	106	75	59	49	38	30	25	20	17	14	10	7	5
5 år	250	213	189	157	110	87	72	54	41	34	26	22	18	13	9	6
10 år	311	264	236	196	136	108	88	66	50	41	31	26	21	15	10	7
20 år	369	318	285	234	162	128	105	79	59	48	36	30	24	17	12	8
25 år	386	336	304	248	171	135	110	83	62	50	37	31	25	18	12	8
50 år	447	392	358	292	199	158	129	97	73	58	43	36	28	20	13	9
100 år	514	454	417	338	230	181	148	112	84	66	48	40	31	23	15	10
200 år	581	522	481	389	263	207	170	129	96	76	55	45	35	25	17	11

Tabell 5 Nedbørintensitet ($l/s*ha$) for ulike varigheter (Trondheim kommune)

20 års returperiode, regnvarighet på 10 minutter gir intensitet på $162 \frac{l}{s*ha}$

20 års returperiode, regnvarighet på 20 minutter gir intensitet på $105 \frac{l}{s*ha}$

20 års returperiode, regnvarighet på 30 minutter gir intensitet på $79 \frac{l}{s*ha}$

20 års returperiode, regnvarighet på 40 minutter gir intensitet på $64,8 \frac{l}{s*ha}$

20 års returperiode, regnvarighet på 50 minutter gir intensitet på $54,97 \frac{l}{s*ha}$

20 års returperiode, regnvarighet på 60 minutter gir intensitet på $48 \frac{l}{s*ha}$

Følgende formler benyttes:

$$I_{10} = \frac{V_{10}}{\Delta t} = \frac{162 \cdot 10}{10} = 162 \frac{l}{s \cdot ha}$$

$$I_{20} - I_{10} = \frac{V_{20} - V_{10}}{\Delta t} = \frac{105 \cdot 20 - 162 \cdot 10}{10} = 48 \frac{l}{s \cdot ha}$$

$$I_{30} - I_{20} = \frac{V_{30} - V_{20}}{\Delta t} = \frac{79 \cdot 30 - 105 \cdot 20}{10} = 27 \frac{l}{s \cdot ha}$$

$$I_{40} - I_{30} = \frac{V_{40} - V_{30}}{\Delta t} = \frac{64,8 \cdot 40 - 79 \cdot 30}{10} = 22,2 \frac{l}{s \cdot ha}$$

$$I_{50} - I_{40} = \frac{V_{50} - V_{40}}{\Delta t} = \frac{54,97 \cdot 50 - 64,8 \cdot 40}{10} = 15,65 \frac{l}{s \cdot ha}$$

$$I_{60} - I_{50} = \frac{V_{60} - V_{50}}{\Delta t} = \frac{48 \cdot 60 - 54,97 \cdot 50}{10} = 13,15 \frac{l}{s \cdot ha}$$

Man får da et symmetrisk hyetogram som har total regnvarighet på 60 minutter, med beregningssteg på 5 minutt. Hyetogrammet er symmetrisk om sin midtakse. Verdier som blir med inn i Mike Urban er vist i tabell 6.

Minutter etter regnstart	Intensitet $\frac{l}{s \cdot ha}$ * Klimafaktor K_f (1,4)
5	18,41
10	21,91
15	31,08
20	37,8
25	67,2
30	226,8
35	226,8
40	67,2
45	37,8
50	31,08
55	21,91
60	18,41

Tabell 6 Verdier hyetogram 20 års regn

30 års returperiode

I IVF-kurven til Trondheim kommune er ikke gjentaksintervallet 30 år oppgitt. Interpolering mellom verdier for 25 og 50 års gjentaksintervall ble derfor utført.

Eksempel: Varighet (min) = 10.

$$25 \text{ års intervall} \rightarrow 171 \frac{l}{s*ha}$$

$$50 \text{ års intervall} \rightarrow 199 \frac{l}{s*ha}$$

Utfører interpolering:

$$F(30) = (199-171) \left[\frac{\log^{30}/25}{\log^{50}/25} \right] + 171 = 178 \frac{l}{s*ha}$$

Interpolerer slik mellom 25 og 50 års intervall for resterende varigheter.

$$30 \text{ års returperiode, regnvarighet på 10 minutter gir intensitet på } 178 \frac{l}{s*ha}$$

$$30 \text{ års returperiode, regnvarighet på 20 minutter gir intensitet på } 115 \frac{l}{s*ha}$$

$$30 \text{ års returperiode, regnvarighet på 30 minutter gir intensitet på } 86,7 \frac{l}{s*ha}$$

$$30 \text{ års returperiode, regnvarighet på 40 minutter gir intensitet på } 71,2 \frac{l}{s*ha}$$

$$30 \text{ års returperiode, regnvarighet på 50 minutter gir intensitet på } 60,2 \frac{l}{s*ha}$$

$$30 \text{ års returperiode, regnvarighet på 60 minutter gir intensitet på } 52,1 \frac{l}{s*ha}$$

$$I_{10} = \frac{V_{10}}{\Delta t} = \frac{178*10}{10} = 178 \frac{l}{s*ha}$$

$$I_{20} - I_{10} = \frac{V_{20}-V_{10}}{\Delta t} = \frac{115*20-178*10}{10} = 52 \frac{l}{s*ha}$$

$$I_{30} - I_{20} = \frac{V_{30}-V_{20}}{\Delta t} = \frac{86,7*30-115*20}{10} = 30,1 \frac{l}{s*ha}$$

$$I_{40} - I_{30} = \frac{V_{40}-V_{30}}{\Delta t} = \frac{71,2*40-86,7*30}{10} = 24,7 \frac{l}{s*ha}$$

$$I_{50} - I_{40} = \frac{V_{50}-V_{40}}{\Delta t} = \frac{60,2*50-71,2*40}{10} = 16,2 \frac{l}{s*ha}$$

$$I_{60} - I_{50} = \frac{V_{60}-V_{50}}{\Delta t} = \frac{52,1*60-60,2*50}{10} = 11,6 \frac{l}{s*ha}$$

Minutter etter regnstart	Intensitet $\frac{l}{s*ha}$ * Klimafaktor K_f (1,4)
5	16,24
10	22,68
15	34,58
20	42,14
25	72,8
30	249,2
35	249,2
40	72,8
45	42,14
50	34,58
55	22,68
60	16,24

Tabell 7 Verdier hyetogram 30 års regn

3.5.2 MIKE URBAN

Eksisterende situasjon

For å utføre valgt oppgave ble det tatt i bruk «MIKE URBAN MOUSE» for å lage en modell over området, for så å analysere og simulere dagens og framtidens situasjon tilnærmet likt virkeligheten. Det første som ble gjort var å få inn dagens situasjon og simulere den. Områdets ledningsnett fikk vi utdelt av Asplan Viak i en SOSI-fil, samt eldre ledningskart over området på pdf. For å få SOSI-filene inn i MIKE URBAN måtte disse filene konverteres til Shape-filer. Shape er et av ArcGIS' egendefinerte formater, i motsetning til SOSI som er det offisielle norske standardformatet for utveksling av digitale kartdata. For å konvertere SOSI til Shape ble det brukt SOSI-Shape som er ett program utviklet til å konvertere de ulike formatene til hverandre. Når en konverterer som i vårt tilfelle fra SOSI til Shape blir filen undersøkt av programmet for å finne ut hva det inneholder, med litt bakgrunnskunnskap kan en skille ut navnene som kommer fram for å vite hvilke elementer man vil ha med videre. Når filene er konvertert til Shape måtte de åpnes i ArcCatalog for å bestemme riktig koordinatsystem. Her blir det presentert en rekke predefinerte koordinatsystem, hvorav «NGO 1948 Oslo Norway Zone 3» var det som ble valgt i vår situasjon som tilsvarer sonen til Trondheim/Stjørdal.

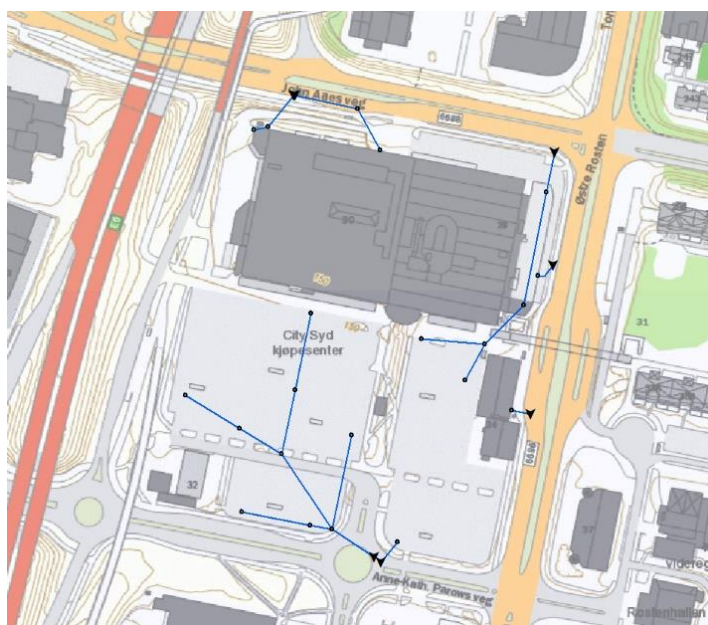
Nå når filen er i rett format og riktig koordinatsystem for oppgaven vår kunne den bli åpnet i Arcmap, her vises ledningsnettets med riktige størrelser og koordinater. Når filen først ble satt inn var alle ledninger og noder samme farge og fasong, dette ble endret på for å representere hva som faktisk befant seg der. Etter dette var gjort ble resultatet før og etter som vist under.



Figur 31 Ledningskart MIKE

Ved hjelp av verktøy inne i ArcMap kunne opplysninger om hver linje og node hentes. Høyder, diameter, lengde etc ble ført opp i ett Excel-ark for å interpolere manglende høyder og for å kontroll sjekke at de samsvarte med MIKE Urban når filen ble importert dit. Deretter ble lagene, som ønsket kopiert og lagret hver for seg Da ble det sånn at det enkelt kunne hentes ut igjen, uten alt som ikke var relevant for oppgaven.

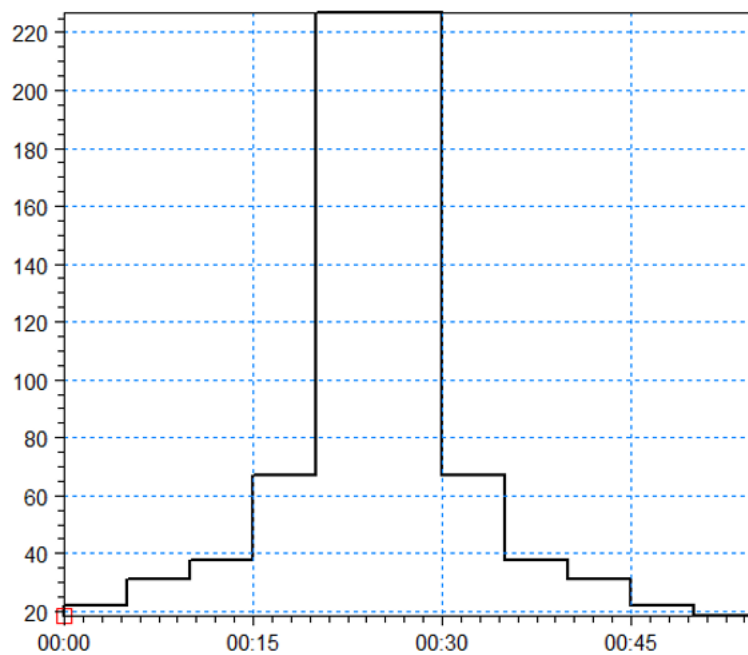
Når alle lagene som var ønsket for oppgaven var lagret for seg selv, kunne de bli importert til MIKE Urban hvor simuleringene skulle gjøres. Som vist på figur 31 var området på SOSI-filen en god del større enn nødvendig, hvorav alt av noder og ledninger utenfor prosjektområdet ble slettet samt vann og spillvanns ledninger/kummer innenfor området siden de var irrelevant. Det ble også lastet ned og importert inn bakgrunns kart som ble hentet fra GisLink.no. Kartet kunne her lastes ned med rett koordinatsystem og fil-format og bli importert rett inn i MIKE Urban uten problemer. Videre var det manglende ledninger og kummer i SOSI-filen. disse ble hentet ut fra eldre ledningskart på pdf og ført inn manuelt i MIKE Urban. Da koordinatene ikke var oppgitt ble disse regnet ut for hånd. Resultatet ble som vist under på figur 31



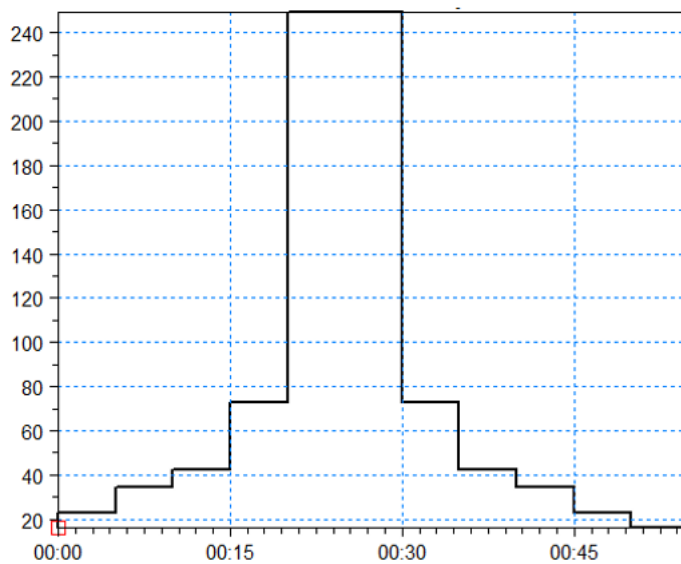
Figur 32 Ledningsnett eksisterende situasjon

Høyder «kum» (sluk) på tak ble satt med 10% over neste kum da det manglet informasjon om hvordan disse var plassert. Det ble satt falske kummer ved brekk i rør hvor ledningsdiameteren var forskjellig. Påkobling til kommunalt nettverk ble satt som utløp da disse er utenfor vårt planområde. Ledning nord for City Syd er kommunal og ble beholdt, dette grunnet taknedløpet var direkte koblet til den fordi MIKE Urban vil ikke koble ett felt rett til utløp.

For å simulere regnet ble det utarbeidet et symmetrisk hyetogram, utregningen for dette er vist i 3.5.1.

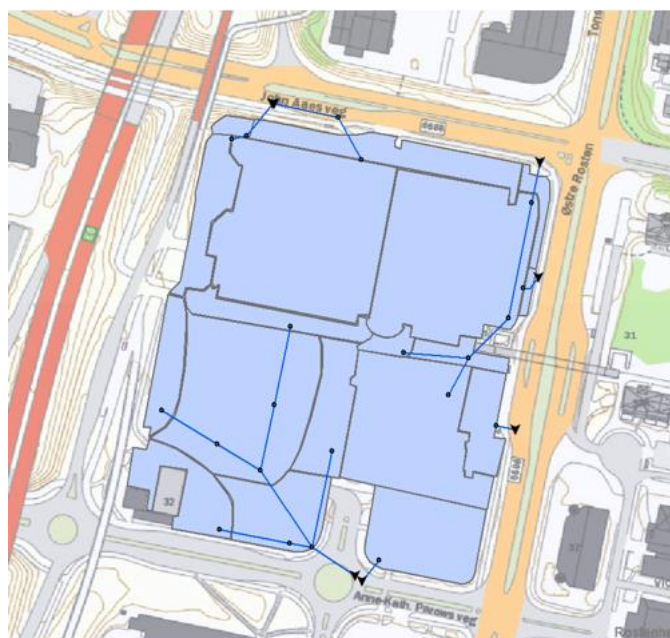


Figur 33 Regnhyetogram 20 års regn med klimafaktor



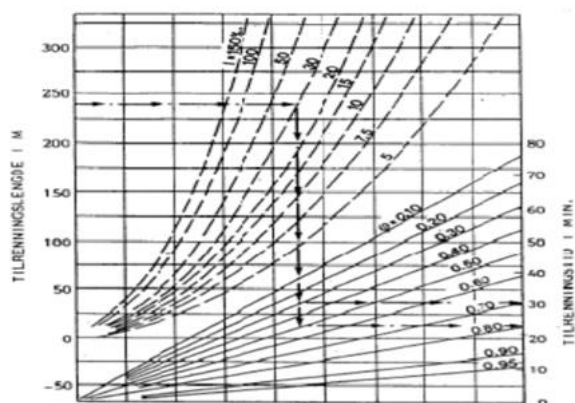
Figur 34 Regnhyetogram 30 års regn med klimafaktor

Deretter ble det inndelt i delfelt for regn, og deretter koblet rett felt til rett kum. Det ble totalt en inndeling i 18 delfelt som var tilnærmet lik virkeligheten, dette ble gjort på grunnlag av fallretning i terreng samt kum plasseringer og sluker på tegninger. Størrelsene på sonene ble beregnet automatisk ved hjelp av MIKE Urban da filen var i rett målestokk og det var tegnet over ett bakgrunns kart som representerer virkeligheten.



Figur 35 Inndeling delfelt

Tilrenningstid (t_s) ble funnet ved å bruke den lengste avstanden vannet renner til kum, gjennomsnittlig fall i ‰, samt gjennomsnittlig avrenningskoeffisient. Disse ble brukt i nomogrammet i VA-normen til Trondheim kommune (40)



Figur 36 Nomogram (Trondheim kommune)

Tid i ledning (t_l) ble regnet ut med en antatt fart på 2 m/s i ledninger.

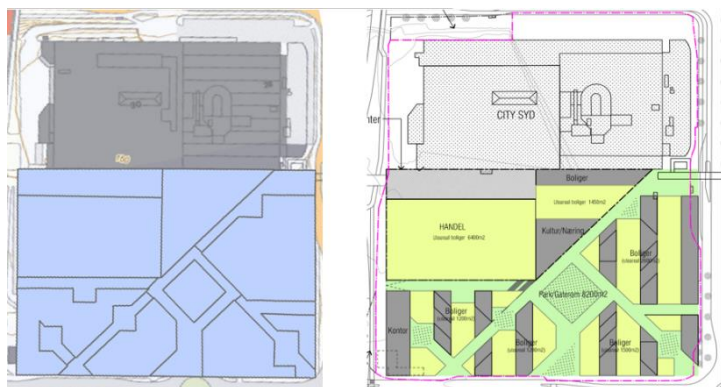
Delfelt	φ	l [m]	tl [s]	ts [min]	tk [s]
Delfelt 1	0.9	22.30	10.15	3	190.15
Delfelt 2	0.9	126.50	21.14	7	441.14
Delfelt 3	0.9	39.70	12.24	3	192.24
Delfelt 4	0.9	93.60	4.05	5	304.05
Delfelt 5	0.9	114.70	14.32	7	434.32
Delfelt 6	0.9	109.30	4.17	6	364.17
Delfelt 7	0.9	33.40	37.70	3	217.70
Delfelt 8	0.9	62.60	46.50	4	286.50
Delfelt 9	0.9	28.00	22.95	3	202.95
Delfelt 10	0.9	38.30	16.05	3	196.05
Delfelt 11	0.9	1278.00	36.57	7	456.57
Delfelt 12	0.9	106.80	29.40	6	389.40
Delfelt 13	0.9	78.60	31.09	4	271.09
Delfelt 14	0.9	81.40	18.70	5	318.70
Delfelt 15	0.9	36.40	6.78	3	186.78
Delfelt 16	0.9	60.00	29.12	4	269.12
Delfelt 17	0.9	78.30	25.49	4	265.49
Delfelt 18	0.9	76.80	15.56	4	255.56

Tabell 8 Konsentrasjonstid delfelt, eksisterende situasjon

Avrenningskoeffisienten ble satt til 0.9 da det meste av området består av tette flater. Reduksjonsfaktoren som angir prosentvis hvor mye av de tette flatene som er knyttet til ledningsnettets ble også satt til 0.9. Initial loss ble satt til 0.0006 som er standard ifølge DHI.

Fremtidig situasjon

For å simulere framtidig situasjon ble det brukt en tegning over framtidig situasjon i målestokk til å beregne områdenes størrelser og oppdeling. Det ble gjort som i eksisterende situasjon for oppdeling av delfelt, bare her med større usikkerhet da det ikke var mulig å sette tegningen inn som bakgrunns kart. Det endte med totalt 15 delfelt når oppdelingen var gjort (figur 37).



Figur 37 Fremtidig situasjon MIKE

Som figur 37 viser er mange av takene slått sammen i ett delfelt. Dette er grunnet usikkerhet ved flere oppdelinger uten nøyaktige mål. Avrenningsfaktoren feltene som er slått sammen ble beregnet ved en φ_{midlere} .

Videre skulle regnbed simuleres, det er totalt 5 regnbed prosjektert inn. Størrelsene på regnbedene ble hhv.

- Regnbed 1 = 71m²
- Regnbed 2 = 53 m²
- Regnbed 3 = 53 m²
- Regnbed 4 = 112 m²
- Regnbed 5 = 83m²

Som vist på figur 11 markert med grønn farge er disse regnbedene er spredt rundt i gangveiene.



Figur 38 Regnbed MIKE

Det er også planlagt en fordrøyningsdam i midten av park/gaterom markert med blå farge. Denne fordrøyningsdammen ble satt inn i MIKE som en kum med sirkulær radius på 6.3m. Høyden ble satt inn som 1.5 med permanent vannstand på 1 meter og utløp koblet til toppen.

Å legge inn regnbed var det store utfordringer, regnbedene måtte legges inn som en sirkulær kum. der diameter og overløpshøyde i forhold til bunn kum samsvarer med regnbedets overflatemagasineringsvolum. Høyden på regnbedet ble satt til 1.35m som besto av oppstuvning, filterdybde, og dremsmasser. Videre måtte infiltrasjonen simuleres, da det ikke var noen enkel måte å gjøre dette på med MIKE ble det gjort ved hjelp av ett utløp. Her ble det satt en ledning mellom kum og utløp, denne reguleres med en funksjon i programvaren. Reguleringen innebærer at ledningen, uansett trykkehøyde kum, leverer en konstant vannføring tilsvarende regnbedets infiltrasjon under mettede forhold. Dette vannet ledes ut i en permeabel del av nedbørsfeltet hvor det infiltreres «ut av modellen». Tilført vannmengde som overskrider infiltrasjonen vil stige høyere enn overløpsterskelen og ledes ut på ledningsnettet.

For å regne ut konstant vannføring tilsvarende regnbedets infiltrasjon ble det brukt en formel som vist under.

$$Q = A_{inf} \times Kh \times \frac{h_{maks} + \frac{D}{2}}{D}$$

- Q = Vannføring [m^3/s]
- A_{inf} = Areal av infiltrasjonsoverflate [m^2]
- Kh = Filtermassens mettede konduktivitet [m/s]
- H_{maks} = Den maksimale vannstanden på infiltrasjonsoverflaten [m]
- D = Avstanden fra infiltrasjonsflaten til grunnvannsspeilet [m]

Vannføringen ble Q [m^3/s]:

$$\text{Regnbed 1} = 1.33 \times 10^{-3}$$

$$\text{Regnbed 2} = 9.92 \times 10^{-4}$$

$$\text{Regnbed 3} = 9.92 \times 10^{-4}$$

$$\text{Regnbed 4} = 2.10 \times 10^{-3}$$

$$\text{Regnbed 5} = 1.55 \times 10^{-3}$$

Når resten av kummene ble satt inn ble enkelte av høyder topplokk hentet fra hoydedata.no hvor det ga mening med dagens høyder sammenlignet med framtidig situasjon. Resten av kummene ble satt med ett fall på 10‰, regnet ut fra kjente høyder og ledningslengde. Høydene på kummer for tak ble også antatt til 10‰ da det ellers ikke eksisterer andre høyder å forholde oss til. Ledningslengdene ble automatisk beregnet av MIKE og brukte derfor disse videre i beregninger.

Når ledninger og kummer er bestemt kan konsentrasjonstiden for delfeltene regnes ut. Dette gjøres på samme måte som eksisterende situasjon.

Delfelt	φ	l [m]	tl [s]	ts [min]	tk [s]	tk [min]
Delfelt 1	0.9	53	26.5	4	356	5.93
Delfelt 2	0.5	59	29.5	10	716	11.93
Delfelt 3	0.55	62	31	10	674.5	11.24
Delfelt 4	0.55	47	23.5	9	587	9.78
Delfelt 5	0.55	65	32.5	10	644.5	10.74
Delfelt 6	0.55	40	20	9	589.5	9.83
Delfelt 7	0.55	45	22.5	9	597	9.95
Delfelt 8	0.55	29	14.5	7	469	7.82
Delfelt 9	0.5	21	10.5	6	403.5	6.73
Delfelt 10	0.8	92	46	9	629.5	10.49
Delfelt 11	0.77	47	23.5	6	383.5	6.39
Delfelt 12	0.74	24	12	4	252	4.20
Delfelt 13	0.77	59	29.5	5	329.5	5.49
Delfelt 14	0.77	66	33	4	273	4.55
Delfelt 15	0.77	69	34.5	7	454.5	7.58

Tabell 9 Konsentrasjonstid fremtidig

Ledninger kan nå også bli utregnet, det gjøres med den rasjonelle formelen sammen med en klimafaktor. Først må vannføringen Q bli utregnet.

$$Q = \varphi \times A \times I \times Kf$$

- Q = Vannføringen [l/s]
- φ = Avrenningskoeffisient
- I = Nedbørsintensitet [l/s \times ha]
- Kf = Klimafaktor

Nedbørsintensitetet I ble hentet ut fra IVF-Kurve for Trondheim det konsentrasjonstiden til hvert delfelt ble brukt, IVF-kurven ble satt til 60min og 30år.

Ledning	φ	A [ha]	[l/s*ha]		Kf	‰	Q [l/s]	D [mm]	Dstand	Di
			I 20år	I 30år						
Link 1	0.9	0.224	230	240	1.4	10	67.74	232	315	276
Link 2	0.5	0.6643	175	185	1.4	10	86.03	254	315	276
Link 3	0.55	0.3464	180	190	1.4	10	50.68	207	250	218
Link 4	0.55	0.5053	192	202	1.4	10	78.59	245	315	276
Link 5	0.55	0.3567	180	190	1.4	10	52.19	210	250	218
Link 6	0.55	0.2328	192	202	1.4	10	36.21	183	250	218
Link 7	0.55	0.2546	190	200	1.4	10	39.21	188	250	218
Link 8	0.55	0.0718	200	210	1.4	10	11.61	119	200	174
Link 9	0.5	0.1135	220	230	1.4	35	18.27	110	200	174
Link 10	0.8	0.1011	180	190	1.4	5	21.51	381	500	434
Link 11	0.77	0.1352	220	230	1.4	25	33.52	235	315	276
Link 12	0.74	0.043	255	265	1.4	43	11.81	171	200	174
Link 13	0.77	0.0894	230	240	1.4	26	23.13	184	250	218
Link 14	0.77	0.2229	255	265	1.4	70	63.68	157	200	174
Link 15	0.77	0.14	200	210	1.4	10	31.69	251	315	276
Link 9-14						35	244.23	295	400	348
Link 12/13-U						10	123.33	292	400	348
Link 14-U						10	307.91	413	500	434

Tabell 10 Rørdimensjoner

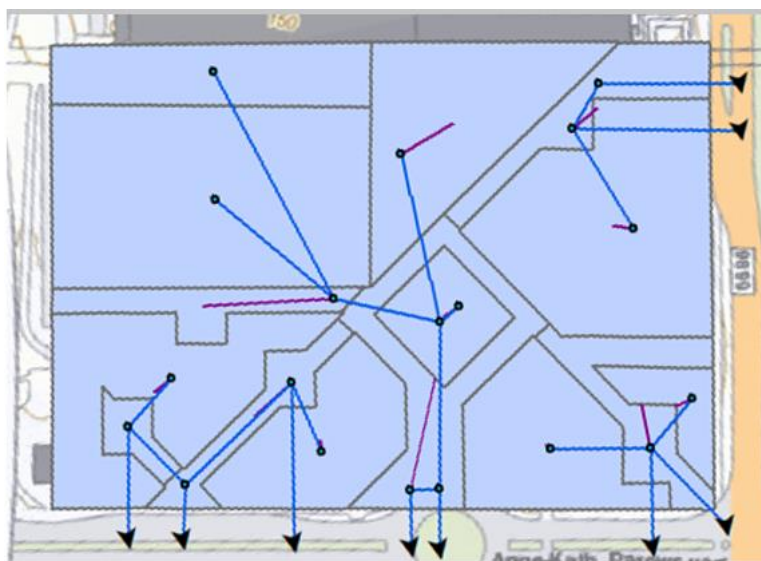
For å regne ut dimensjonen på rørene ble det brukt Colebrook-white formelen ved hjelp av en app fra Pipelife, her taster du inn ruhet μ [mm], fall [‰] og vannhastigheten Q [l/s]

Det ble valgt plastrør av PVC, minstedimensjonen i Trondheim kommune er satt til DN200 (Va-norm.no). Ruhet ble valgt til 0.01 som er vanlig for nye PVC-rør.

Dstand ble valgt ut fra Pipelife sine kataloger, dimensjoner for PVC over DN200 er:

- Dy = 200mm
- Dy = 250mm
- Dy = 315mm
- Dy = 400
- Dy = 500

Når alle ledninger samt kummer var plassert samt resten av informasjonen som trengs for simulering var satt inn, kunne simuleringen av den nye situasjonen begynne. Under på figur 39 kan plasseringene til ledninger, kummer og utløp vises.

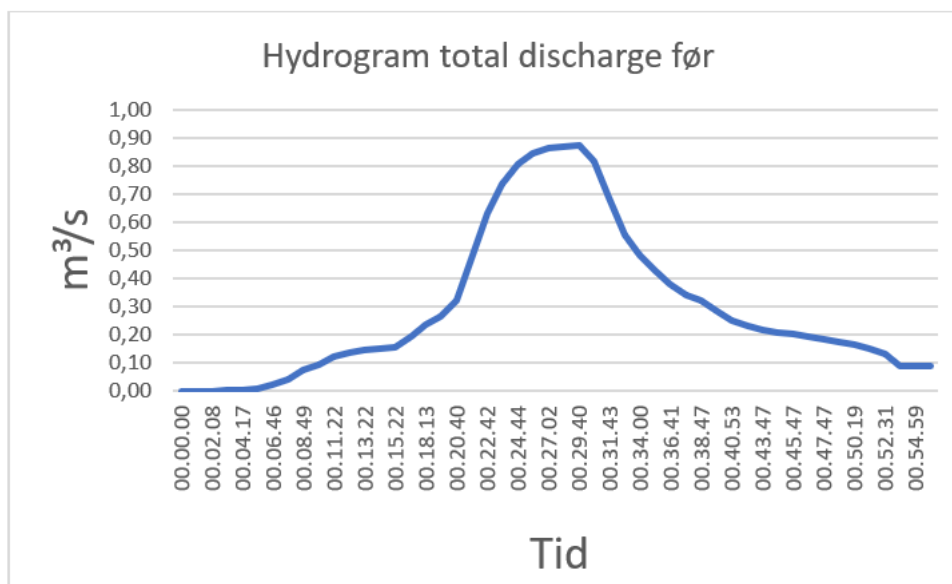


Figur 39 Caseområdet MIKE

3.6 Resultater

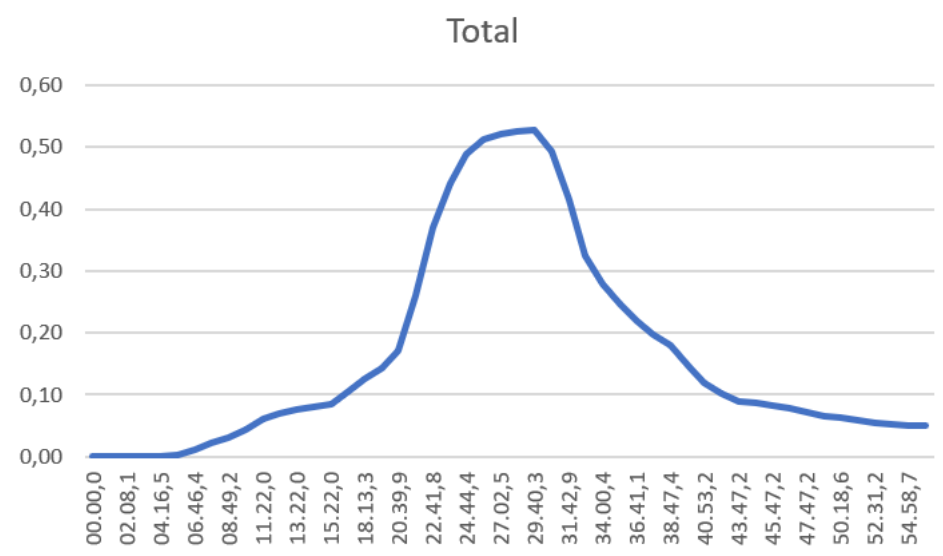
3.6.1 Dagens situasjon

Med simuleringene kunne vi hente ut «discharge» for hvert utløp i kubikkmeter pr. sekund [m^3/s], disse verdiene ble satt inn i Excel og summert for å lage ett hydrogram for hele området for dagens situasjon. Resultatet for hydrogram eksisterende situasjon ble som vist under på figur 40. All inndata for diagrammet er vist på vedlegg 4.



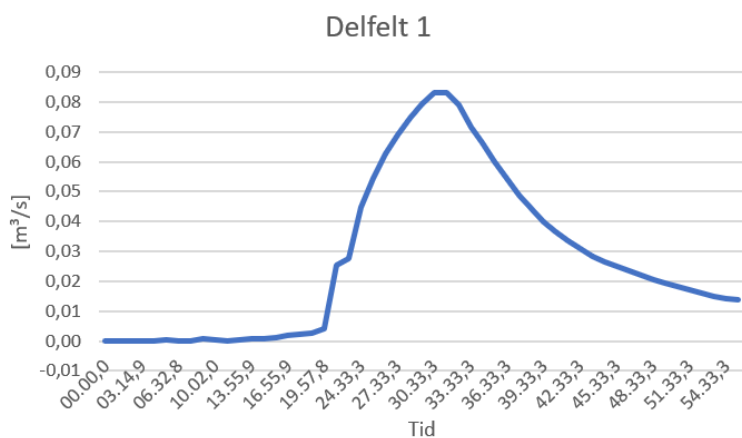
Figur 40 Hydrogram fra hele tomten, dagens situasjon

For å sammenligne dette med framtidig situasjon ble vannføringen fra parkeringsplassen kunn brukt, dette da takene på city syd blir uendret. Det nye hydrogrammet med kun parkeringsplassen sør for city syd blir da seende slik ut:

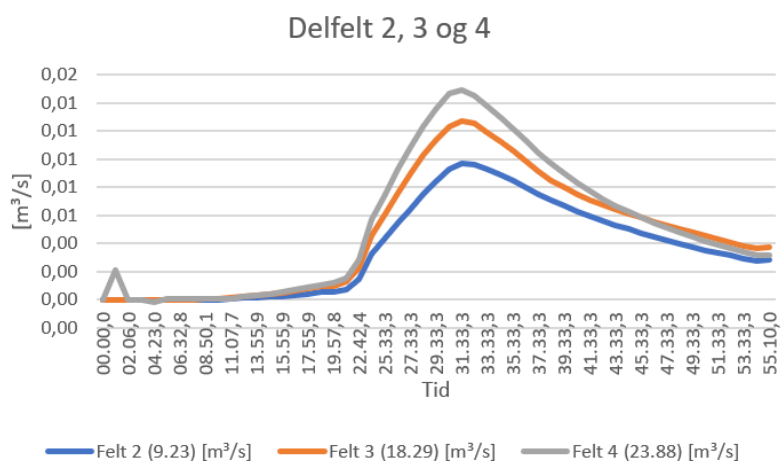


Figur 41 Hydrogram fra parkeringsareal, dagens situasjon

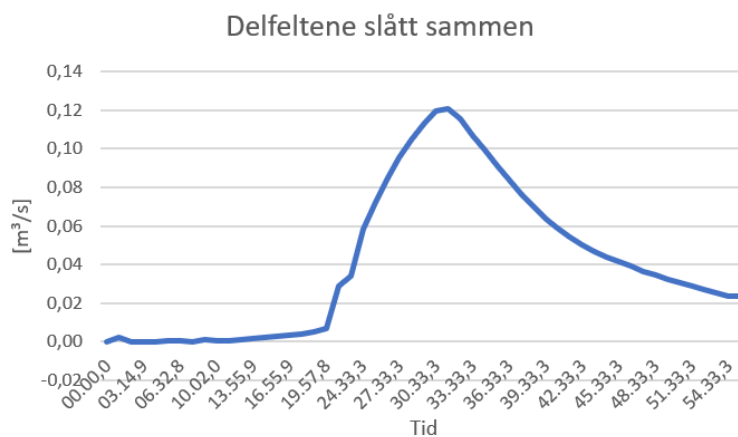
3.6.2 Fremtidig situasjon



Figur 42 Hydrogram fra delfelt 1, fremtidig situasjon

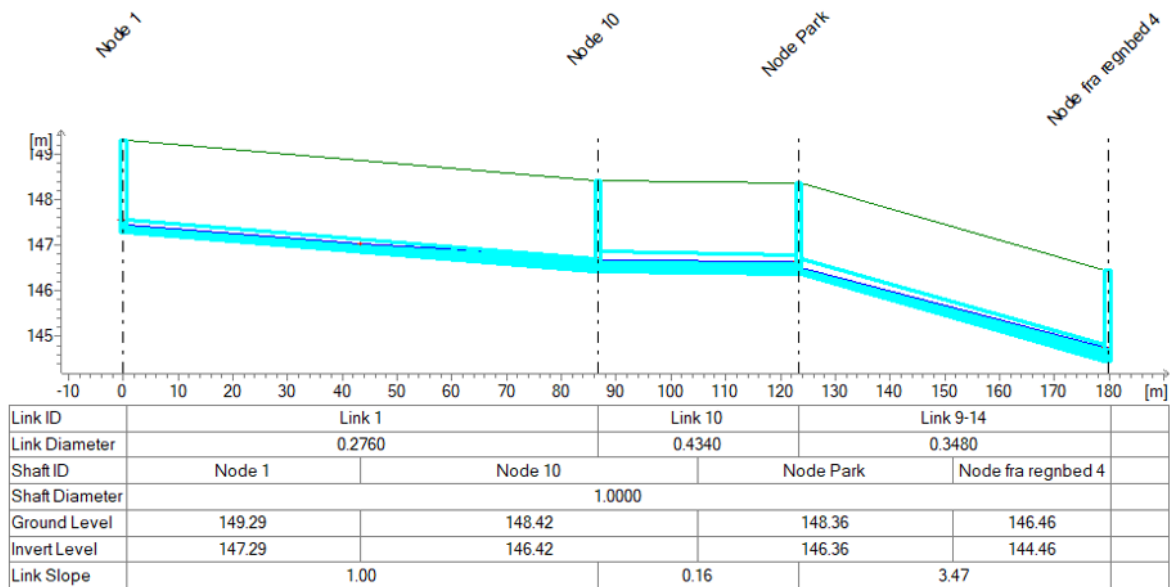


Figur 43 Hydrogram fra delfelt 2,3 og 4, fremtidig situasjon



Figur 44 Hydrogram fra parkeringsplass, fremtidig situasjon

Etter å ha sjekket lengdeprofil for alle kummer og ledninger hadde de fleste god nok kapasitet for 30års regnet. Den eneste strekningen som bemerket seg, var fra «Node 1» – «Node fra regnbed 4» ved høyeste nedbørintensitet. Denne strekningen er hovedåra til hoveddelfelt 1, hvor det største arealet går inn. Node 1 er flatt tak, mens node 10 er hvor påkobling fra det største taket hvor det er park renner inn. På figur 45 under vises lengdeprofil for denne strekningen ved minutt 33 hvor vannstanden lå høyest.



01/05/2020 00:31:33

Figur 45 Oppstuvning i kummer

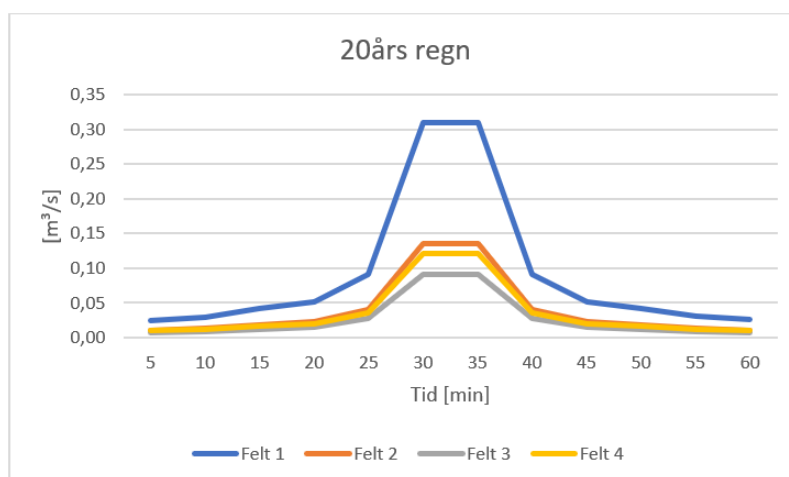
3.6.3 Sammenligning

Eksisterende excel ark med konsentrasjonstider ble brukt for å finne maksimal vannføring med den rasjonelle metoden slik at vi kunne sammenligne resultatene fra MIKE med den.

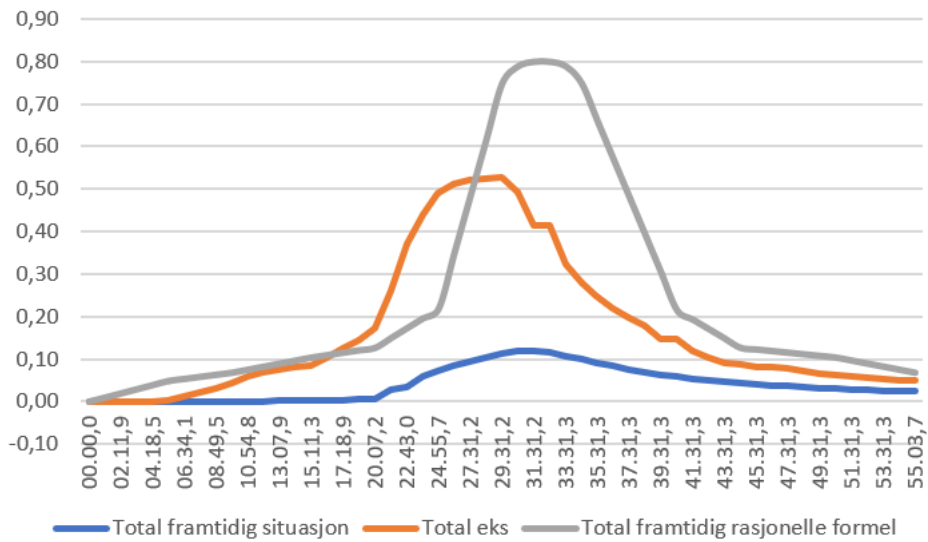
Beregning av 20års regn med den rasjonelle formelen.

20 år	Varighet (min)											
Ledning	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Link 1	3.71	4.42	6.27	7.62	13.55	45.72	45.72	13.55	7.62	6.27	6.18	5.20
Link 2	8.56	10.19	14.45	17.58	31.25	105.46	105.46	31.25	17.58	14.45	10.19	8.56
Link 3	4.91	5.84	8.29	10.08	17.92	60.49	60.49	17.92	10.08	8.29	5.84	4.91
Link 4	7.16	8.52	12.09	14.71	26.15	88.24	88.24	26.15	14.71	12.09	8.52	7.16
Link 5	5.06	6.02	8.54	10.38	18.46	62.29	62.29	18.46	10.38	8.54	6.02	5.06
Link 6	3.30	3.93	5.57	6.78	12.05	40.66	40.66	12.05	6.78	5.57	3.93	3.30
Link 7	3.61	4.30	6.09	7.41	13.17	44.46	44.46	13.17	7.41	6.09	4.30	3.61
Link 8	1.02	1.21	1.72	2.09	3.72	12.54	12.54	3.72	2.09	1.72	1.21	1.02
Link 9	1.46	1.74	2.47	3.00	5.34	18.02	18.02	5.34	3.00	2.47	1.74	1.46
Link 10	2.08	2.48	3.52	4.28	7.61	25.68	25.68	7.61	4.28	3.52	2.48	2.08
Link 11	2.68	3.19	4.53	5.51	9.79	33.06	33.06	9.79	5.51	4.53	3.19	2.68
Link 12	0.82	0.98	1.38	1.68	2.99	10.10	10.10	2.99	1.68	1.38	0.98	0.82
Link 13	1.77	2.11	3.00	3.64	6.48	21.86	21.86	6.48	3.64	3.00	2.11	1.77
Link 14	4.42	5.26	7.47	9.08	16.15	54.50	54.50	16.15	9.08	7.47	5.26	4.42
Link 15	2.78	3.31	4.69	5.70	10.14	34.23	34.23	10.14	5.70	4.69	3.31	2.78
Felt 1	0.03	0.03	0.04	0.05	0.09	0.31	0.31	0.09	0.05	0.04	0.03	0.03
Felt 2	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.13	0.13	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
Felt 3	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.09	0.09	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
Felt 4	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.12	0.12	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01

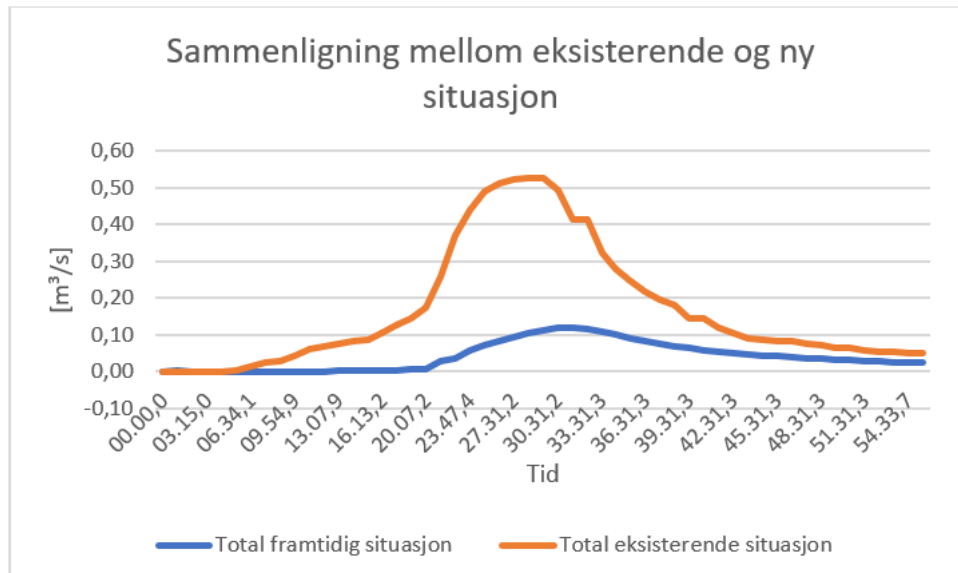
Tabell 11 Rasjonelle metoden, 20 års regn



Figur 46 Hyetogram rasjonelle metode, 20 års regn



Figur 47 Hydrogram av MIKE og rasjonelle



Figur 48 Sammenligning mellom eksisterende og ny situasjon med MIKE

3.7 Konklusjon og diskusjon

For å imøtekomme fremtidens klimaendringer er det viktig at overvannshåndtering blir tatt med i tidlig planfase ved utbygging av nye byområder. Blå-grønne overvannstiltak i urbane miljøer kan bidra til å skape et bærekraftig samfunn, med mennesket og naturen i fokus. Om man skal se på overvannet som en ressurs krever det en sterk samhandling mellom overvannshåndtering og landskapsplanlegging.

De presenterte overvannstiltakene er valgt for at vannet skal kunne oppleves som et positivt bidrag i bymiljøet. Samtidig viste simuleringene fra Mike Urban at tiltakene ga en betydelig reduksjon av vann som ble sluppet inn på det kommunale nettet. Hydrogrammene viste en reduksjon på rundt 400 l/s. Det er derimot stor usikkerhet knyttet til simuleringene, siden Mike Urban har lite funksjoner for LOD-tiltak. Tiltakene har blitt løst etter beste evne i Mike Urban. Regnbedene har blitt simulert med en konstant avrenning ut av området for å simulere infiltrasjon.

Byggingen av modellen i Mike Urban har vært en utfordrende prosess. Lite forkunnskaper om området, eksisterende ledningsnett og modellering av LOD-tiltak var bare noen av utfordringene som oppsto. Det hjalp heller ikke mye med situasjonen som oppsto under bachelorperioden, med den globale pandemien som gjorde at vi ikke fikk tilgang på skolens datasaler når vi trengte.

Med tanke på usikkerhetene med modellen vår i Mike Urban valgte vi derfor å sammenligne den med den rasjonelle formel. Denne utregningen ga svært høy avrenning, men her er ikke fordrøyningsvolumet til dammen tatt med. Dammen er prosjektert med et stort fordrøyningsvolum som vill gi et stort utslag på utregningene. Som nevnt i teoridelen så er det også visse unøyaktigheter med den rasjonelle metode. Ulike delfelt sin påvirkning på avrenningen betrakter vi som svært viktig i denne oppgaven, og derfor er ikke den rasjonelle formelen den beste løsningen. Konsentrasjonstiden er nokk også en faktor som ble vurdert feil under den beregning med den rasjonelle formel. Vi brukte data fra oppdeling av delfelt for å finne konsentrasjonstid. På grunn av mangel på tid ble det ikke utforsket noe mye mer hva som var feilen.

Avrenningen fra eksisterende situasjon viser stor vannføring. Vi er derfor fornøyde med resultatene vi fikk ifra Mike Urban når vi så at tiltakenes effekt. Om vi hadde hatt tid ville det vært svært relevant og interessant å kjøre en simulering med et regnskyll på over 60 minutter. Regnbedene er prosjektert med filterdybde på 75 cm, og den hydrauliske konduktiviteten er satt

til 0,1 m/t. Det ville derfor vært relevant for oss å få ut resultater fra når vannet har nådd drens laget.

4. Referanseliste

- (1) NOU 2015:16. Klima i Norge 2100. Norsk klimaservicesenter: Oslo;2015. NCCS report no 2/2015. Tilgjengelig fra <https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-publikasjoner/attachment/6616?ts=14ff3d4eeb8>
- (2) Skaaraas, Hansen, Riise, Stenersen, Refling, Johansen et al. Overvann i byer og tettsteder. Oslo: Klima- og miljødepartementet; 2. desember 2015. Tilgjengelig fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/e6db8ef3623e4b41bcb81fb23393092b/no/pdfs/nou201520150016000dddpdfs.pdf>
- (3) Paus. Forslag til dimensjonerende verdier for trinn 1 i Norsk Vann sin tre-trinns strategi for håndtering av overvann. Vannforeningen;2018. Utgave 1. [Tilgjengelig fra https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2018/07/Paus.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2018/07/Paus.pdf)
- (4) Aasand, Ødegaard. Flom i byer, klimaendringer og overvannstiltak. I: Ødegaard, red. Vann og avløpsteknikk. 2 utgave. Hamar: Norsk vann; 2014. side 369.
- (5) Plan og bygningsloven § 3-1, oppgaver og hensyn i planlegging etter loven. Lovdata: Justisdepartementet og Det juridiske fakultet i Oslo; 1981.
- (6) Groven. Handtering av overvatn i norske kommunar: Ei undersøkning om innføring av lokal overvasshandtering. Researcher Vestlandsforskning, PhD scholar at NTNU, the Department of Geography: Western Norway Research Institute, POB 163, NO-9851 Sogndal. Tilgjengelig fra <http://www.kartogplan.no/Artikler/KP1-2015/Handtering%20av%20overvatn.pdf>
- (7) Asplan Viak. Nye prinsipper for overvannshåndtering. 07. Mars 2016. Tilgjengelig fra <https://www.asplanviak.no/aktuelt/2016/03/07/overvann-som-ressurs/>
- (8) Aasand, Ødegaard. Strategier for overvannshåndtering. I: Ødegaard, red. Vann og avløpsteknikk. 2 utgave. Hamar: Norsk vann; 2014. side 346.
- (9) Norem, Flesjø, Sellevold, Lund, Viréhn. Dimensjoneringsgrunnlag. I: Norem, red. Lærebok drenering og håndtering av overvann. Vegdirektoratet Vegavdelingen Drift, vedlikehold og vegteknologi; februar 2018. side 37. Tilgjengelig fra <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/publikasjoner/Statens+vegvesens+rapporter/attachment/2162096>

- (10) Norsk klimaservicesenter. Hva er dimensjonerende nedbør? Klimaservicesenter sine nettsider. Tilgjengelig fra https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/dimensjoner_ende-nedbor/hva-er-dimensjonerende-nedbor&org.apache.catalina.filters.CSRF_NONCE=95C9C3716239221E508183AE470A0192
- (11) Aasand, Ødegaard. Strategier for håndtering av overvann. I: Ødegaard, red. Vann og avløpsteknikk. 2 utgave. Hamar: Norsk vann; 2014. side 351.
- (12) Bøyum, Eidsmo, Lindholm, Noreide, Semb, Skretteberg et al. Anvendt urbanhydrologi. Oslo: NVE;04.03.1997. Rapport nr. 10. Tilgjengelig fra publikasjoner.nve.no/publikasjon/1997/publikasjon1997_10.pdf
- (13) Aasand, Ødegaard. Strategier for håndtering av overvann. I: Ødegaard, red. Vann og avløpsteknikk. 2 utgave. Hamar: Norsk vann; 2014. side 348.
- (14) Aasand, Ødegaard. Forurensninger i overvann og tiltak mot forurensninger. I: Ødegaard, red. Vann og avløpsteknikk. 2 utgave. Hamar: Norsk vann; 2014. side 366.
- (15) Espelien og Wifstad. Industrianalyse grønne tak. MENON; November 2016. MENON-publikasjon nr 60. Tilgjengelig fra <https://www.menon.no/wp-content/uploads/2016-60-Industrianalyse-gr%C3%B8nne-tak-og-fasader.pdf>
- (16) Noreng, Kvalvik, Busklein, Ødegaard, Clewing, French. Grønne tak. SINTEF Byggforsk; 2012. Prosjektrapport nr 104. Tilgjengelig fra [file:///C:/Users/Einar/Downloads/V_INFO_PUB_SINTEF-Bok_pdf_SB%20prapp%20104%20\(10\).pdf](file:///C:/Users/Einar/Downloads/V_INFO_PUB_SINTEF-Bok_pdf_SB%20prapp%20104%20(10).pdf)
- (17) Aasand, Ødegaard. Tiltak for håndtering av overvann. I: Ødegaard, red. Vann og avløpsteknikk. 2 utgave. Hamar: Norsk vann; 2014. side 358-365.
- (18) Åstebøl, Robba, Stenvik, Kristoffersen, Olsen. Veileder for lokal overvannshåndtering. COWI; September 2013. Tilgjengelig fra https://www.vannportalen.no/globalassets/nasjonalt/dokumenter/publikasjoner/arkiv/2013/cowi_veileder_overvann_overvannshandtering_2013.pdf

- (19) Aasand, Ødegaard. Forurensninger i overvann og tiltak mot forurensninger. I: Ødegaard, red. Vann og avløpsteknikk. 2 utgave. Hamar: Norsk vann; 2014. side 367.
- (20) Dalen. Hydrologisk dimensjonering av regnbed i kaldt klima. NTNU; 2012
- (21) Paus. Tolkning av tre-trinnstrategien for håndtering av overvann og eksempler på dimensjonering. Asplan Viak; 2019. Tilgjengelig fra https://www.lier.kommune.no/globalassets/11.-kunngjoringer-og-horinger/dokumenter/andre-planer/overvann-lier/temaplan_vedlegg-2.pdf
- (22) Braskerud, Paus og Ekle. Anlegning av regnbed. Norges vass og energidirektorat; 2013. Rapport nr 3-2013. Tilgjengelig fra http://publikasjoner.nve.no/rapport/2013/rapport2013_03.pdf
- (23) Hunt, Lord. Bioretention Performance, Design, Construction, and Maintenance. NC Cooperative Extension Service; 2006. Tilgjengelig fra <https://content.ces.ncsu.edu/bioretention-performance-design-construction-and-maintenance>
- (24) Davis, Hunt, Traver, Clar. Bioretention technology: Overview of current practice and future needs. Journal of Environmental Engineering, 135(3), 109-117.
- (25) Ericson, Gulliver, Kang, Weiss, Wilson. Maintenance for Stormwater Treatment Practices. Journal of Contemporary Water Research & Education; 2010: 146(1), 75-82.
- (26) Paus, Braskerud. Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold. Vannforeningen; 2013. Tilgjengelig fra https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2013_872571.pdf
- (27) Aasand, Ødegaard. Tiltak for håndtering av overvann. I: Ødegaard, red. Vann og avløpsteknikk. 2 utgave. Hamar: Norsk vann; 2014. side 360.
- (28) Endresen, Gullbrekken, Røed, Åstebøl, Vik, Østengen. Åpne overvannsløsninger, erfaringer og anbefalinger. Statsbygg; 2004. Tilgjengelig fra [file:///C:/Users/Einar/Downloads/file53701_rapport_overflatevann%20\(10\).pdf](file:///C:/Users/Einar/Downloads/file53701_rapport_overflatevann%20(10).pdf)
- (29) Konferanse Drammen. Drenering; 5. April 2013. Tilgjengelig fra https://viken.nlr.no/media/ring/1212/Lars-Arne%20H%C3%B8getveit/GR-Aapne_grofter_dimensjonering_Torgeir_Tajet_5._april_2013.pdf

- (30) Inger Anita Merkesdal. Virvelkammer. Skjeveland.no: Skjæveland. Tilgjengelig fra <https://www.skjeveland.no/leggeanvisning/leggeanvisning/virvelkammer>.
- (31) DHI. Integrated Urban water modelling. Mikepoweredbydhi:DHI;2017. Tilgjengelig fra <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban>
- (32) DHI. MIKE URBAN Model Manager. Mikepoweredbydhi:DHI;2017. Tilgjengelig fra <https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Cities/ModelManager.pdf>
- (33) DHI. Collection system. Modelling of storm water drainage networks and sewer collection systems. Mikepoweredbydhi:DHI;2017. Tilgjengelig fra <https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Cities/CollectionSystem.pdf>
- (34) Sara. Analyse av avløpsnett i Charlottenlund og Ranheim, Trondheim kommune. UMB; 2012
- (35) Lefstad, Røsand. Trondheim syd, utbygging av city syd, geoteknisk rapport. Rambøll Norge AS; 2020. Notat nr G-not-001-1350039613
- (36) Flom. NVE flomsonekart: NVE; 2015. Tilgjengelig fra <https://www.nve.no/flaum-og-skred/kartlegging/flaum/#>
- (37) Aktsomhetskart flomfare. Trondheim kommune. Tilgjengelig fra <https://kart5.nois.no/trondheim/Content/Main.aspx?layout=trondheim&time=637261088832973761&vwr=asv>
- (38) Trondheim kommune. Hovedplan avløp og vannmiljø 2013-2024. Publiseringsdato 22.03.2013. Tilgjengelig fra <https://www.trondheim.kommune.no/globalassets/10-bilder-og-filer/10-byutvikling/kommunalteknikk/hovedplaner/hovedplan-avlop-og-vannmiljo-2013-24.pdf>
- (39) Kommunedelplan for Tiller 2014-2016. Vedtatte bestemmelser. Trondheim kommune. Tilgjengelig fra https://www.trondheim.kommune.no/globalassets/10-bilder-og-filer/10-byutvikling/byplankontoret/1c_vedtatt-plan/2020/kommunedelplan-for-tiller-r20110003/bestemmelser-tiller-kommunedelplan-2014-2026.pdf
- (40) Beregning av overvannsmengde Dimensjonering av ledning og fordrøyningsvolum. Trondheim kommune. 2020. Tilgjengelig fra https://www.va-norm.no/wp-content/uploads/2020/02/Vedlegg-5-Beregning-av-overvannsmengde.pdf?fbclid=IwAR2SD6Xx6mZsaEyqqRzRv-vh77miEmaiGgpH_baf0YYfw63VFWv4_vFSTU

(41) Niigata. Pondjet eco flytende fontene. Hentet fra niigata nettside. Tilgjengelig fra <https://www.niigata.no/products/pondjet-eco-flytende-fontene>

(42) Aasand, Ødegaard. Den rasjonelle metoden – bruk av den rasjonelle formel. I: Ødegaard, red. Vann og avløpsteknikk. 2 utgave. Hamar: Norsk vann; 2014. side 349.

(43) Norsk vann. Bortledning og rensing av forurenset overvann. Høringsutkast;V240 Vannhåndtering. Side 34. Tilgjengelig fra https://www.norskvann.no/files/docs/19-59695-2_V240_Kap_10_Bortledning_og_rensing_av_forurenset_overvann_9324655_1_0.pdf?fbclid=IwAR0Ugsq-DLA5zW56t0u0kI3O1zUFyz7myByBKOtZuI2zKNaUvYtxE2tdRmw

Vedlegg 1

DELOMRÅDE 1

	Areal i m2	Koeffisient	Redusert areal i m2	ha
Areal	16904,43	0,63	10649,7909	1,06497909
m/klimafaktor 1,4			14909,70726	1,490970726
Nødvendig fordrøyningsvolum	106,497909	m3		
Returperiode	20	år		
Klimafaktor	1,4			

Varighet	Intensitet	Qinn	Regnvolum	Qut	Utløpsvolum	Nødvendig fordrøyning
min	l/s*ha	l/s	m3	l/s	m3	m3
1	369	550,1681979	33,01009187		negativt	106,497909
2	318	474,1286909	56,8954429		negativt	106,497909
3	285	424,9266569	76,48679824		negativt	106,497909
5	234	348,8871499	104,666145		negativt	106,497909
10	162	241,5372576	144,9223546	91,4867752	38,42444557	106,497909
15	128	190,8442529	171,7598276	103,590347	65,26191864	106,497909
20	105	156,5519262	187,8623115	96,8623839	81,36440248	106,497909
30	79	117,7866874	212,0160372	83,7445462	105,5181282	106,497909
45	59	87,96727283	237,5116367	69,3194326	131,0137277	106,497909
60	48	71,56659485	257,6397415	59,9769176	151,1418325	106,497909
90	36	53,67494614	289,8447091	48,5044445	183,3468001	106,497909
120	30	44,72912178	322,0496768	42,7682079	215,5517678	106,497909
180	24	35,78329742	386,4596122	37,0319713	279,9617032	106,497909
360	17	25,34650234	547,4844506	29,1657766	440,9865416	106,497909
720	12	17,89164871	772,9192244	22,0377419	666,4213154	106,497909
1440	8	11,92776581	1030,558966	15,2787873	924,0610568	106,497909

Maksimalt videreført	104 l/s
----------------------	---------

Vedlegg 2

DELOMRÅDE 2

	Areal i m ²	Koeffisient	Redusert areal i m ²	ha
Areal	7042,71	0,61	4296,0531	0,42960531
m/klimafaktor 1,4			6014,47434	0,601447434
Nødvendig fordrøyningsvolum	42,960531	m ³		
Returperiode	20	år		
Klimafaktor	1,4			

Varighet	Intensitet	Qinn	Regnvolum	Qut	Utløpsvolum	Nødvendig fordrøyning
min	l/s*ha	l/s	m ³	l/s	m ³	m ³
1	369	221,9341031	13,31604619		negativt	42,960531
2	318	191,260284	22,95123408		negativt	42,960531
3	285	171,4125187	30,85425336		negativt	42,960531
5	234	140,7386996	42,22160987		negativt	42,960531
10	162	97,43448431	58,46069058	36,9051419	15,50015958	42,960531
15	128	76,98527155	69,2867444	41,7876403	26,3262134	42,960531
20	105	63,15198057	75,78237668	39,0736258	32,82184568	42,960531
30	79	47,51434729	85,52582511	33,7819795	42,56529411	42,960531
45	59	35,48539861	95,81057624	27,9629869	52,85004524	42,960531
60	48	28,86947683	103,9301166	24,19428	60,9695856	42,960531
90	36	21,65210762	116,9213812	19,5663625	73,96085017	42,960531
120	30	18,04342302	129,9126457	17,2524037	86,95211474	42,960531
180	24	14,43473842	155,8951749	14,938445	112,9346439	42,960531
360	17	10,22460638	220,8514978	11,7652756	177,8909668	42,960531
720	12	7,217369208	311,7903498	8,88987496	268,8298188	42,960531
1440	8	4,811579472	415,7204664	6,16335872	372,7599354	42,960531

Maksimalt videreført	42 l/s
----------------------	--------

Vedlegg 3

DELOMRÅDE 3

	Areal i m2	Koeffisient	Redusert areal i m2	ha
Areal	4664,4	0,65	3031,86	0,303186
m/klimafaktor 1,4			4244,604	0,4244604
Nødvendig fordrøyningsvolum	30,3186	m3		
Returperiode	20	år		
Klimafaktor	1,4			

Varighet	Intensitet	Qinn	Regnvolum	Qut	Utløpsvolum	Nødvendig fordrøyning
min	l/s*ha	l/s	m3	l/s	m3	m3
1	369	156,6258876	9,397553256		negativt	30,3186
2	318	134,9784072	16,19740886		negativt	30,3186
3	285	120,971214	21,77481852		negativt	30,3186
5	234	99,3237336	29,79712008		negativt	30,3186
10	162	68,7625848	41,25755088	26,0451211	10,93895088	30,3186
15	128	54,3309312	48,89783808	29,4908541	18,57923808	30,3186
20	105	44,568342	53,4820104	27,5754886	23,1634104	30,3186
30	79	33,5323716	60,35826888	23,841007	30,03966888	30,3186
45	59	25,0431636	67,61654172	19,7343607	37,29794172	30,3186
60	48	20,3740992	73,34675712	17,0746655	43,02815712	30,3186
90	36	15,2805744	82,51510176	13,8085983	52,19650176	30,3186
120	30	12,733812	91,6834464	12,1755648	61,3648464	30,3186
180	24	10,1870496	110,0201357	10,5425312	79,70153568	30,3186
360	17	7,2158268	155,8618589	8,30312559	125,5432589	30,3186
720	12	5,0935248	220,0402714	6,27386479	189,7216714	30,3186
1440	8	3,3956832	293,3870285	4,3496764	263,0684285	30,3186

Maksimalt videreført	30 l/s
----------------------	--------

Vedlegg 4

Time	Utløp 1 (16.33) [m ³ /s]	Utløp 2 (8.32) [m ³ /s]	Utløp 3 (6.78) [m ³ /s]	Utløp 5 (12.25) [m ³ /s]	Total
00:00.0	8.46E-06	2.73E-06	2.22E-06	7.96E-06	2.14E-05
01:00.0	1.03E-05	1.54E-06	1.17E-06	4.48E-06	1.75E-05
02:08.1	-7.04E-06	1.54E-06	1.11E-06	4.50E-06	1.11E-07
03:08.3	0.000410727	1.54E-06	1.05E-06	4.41E-06	4.18E-04
04:16.5	0.000326206	1.76E-05	7.57E-06	8.17E-06	3.59E-04
05:30.7	0.000354228	0.001321027	0.000691384	0.000106328	2.47E-03
06:46.4	0.004207381	0.004980489	0.002512646	0.000638751	1.23E-02
07:46.2	0.009968058	0.007143	0.003354857	0.002535385	2.30E-02
08:49.2	0.012606981	0.008422589	0.003717232	0.005282774	3.00E-02
09:56.6	0.021577247	0.008855403	0.003731154	0.009592328	4.38E-02
11:22.0	0.03140812	0.009526313	0.004072792	0.015075401	6.01E-02
12:22.0	0.036971524	0.010130437	0.004332121	0.017951145	6.94E-02
13:22.0	0.041144933	0.010546876	0.004494127	0.020099411	7.63E-02
14:22.0	0.044226454	0.010792971	0.004533266	0.02175543	8.13E-02
15:22.0	0.046492233	0.010850902	0.004538745	0.022966141	8.48E-02
16:51.6	0.055892734	0.014713257	0.006517385	0.026781175	1.04E-01
18:13.3	0.067630499	0.018042938	0.007910477	0.03180166	1.25E-01
19:39.9	0.07903142	0.019193089	0.008066664	0.037537086	1.44E-01
20:39.9	0.090781718	0.026684393	0.01228249	0.042454097	1.72E-01
21:41.8	0.135836921	0.043931452	0.020928311	0.058604065	2.59E-01
22:41.8	0.205893755	0.056043104	0.025670566	0.082533081	3.70E-01
23:41.8	0.248185764	0.06261814	0.027198662	0.103120156	4.41E-01
24:44.4	0.287576883	0.065073292	0.027233045	0.110235501	4.90E-01
25:56.7	0.307158853	0.065156146	0.027234087	0.112480279	5.12E-01
27:02.5	0.315990266	0.06517677	0.027234187	0.113453654	5.22E-01
28:12.7	0.319487822	0.065182167	0.027234209	0.114013592	5.26E-01
29:40.3	0.321019759	0.065189502	0.027234214	0.114560019	5.28E-01
30:42.8	0.301249106	0.05662633	0.022164155	0.112445489	4.92E-01
31:42.9	0.25361428	0.040319834	0.014288903	0.106391445	4.15E-01
32:54.7	0.188539056	0.027087895	0.009249364	0.099509146	3.24E-01
34:00.4	0.153937721	0.02130141	0.008125867	0.096271487	2.80E-01
35:26.0	0.126031449	0.018929774	0.00776566	0.094192756	2.47E-01
36:41.1	0.105436852	0.015453316	0.006033567	0.091936451	2.19E-01
37:47.4	0.089169958	0.012586023	0.004857133	0.08962476	1.96E-01
38:47.4	0.07741374	0.011293279	0.004553198	0.086922537	1.80E-01
39:53.4	0.068480693	0.010877731	0.004539639	0.062701229	1.47E-01
40:53.2	0.06258063	0.010468734	0.00431491	0.041187124	1.19E-01
41:58.9	0.057331686	0.009795029	0.003991776	0.031906028	1.03E-01

43:47.2	0.051387872	0.009126978	0.003749894	0.025849296	9.01E-02
44:47.2	0.049358092	0.008967409	0.003734726	0.024250174	8.63E-02
45:47.2	0.047417056	0.008695316	0.003595147	0.02297223	8.27E-02
46:47.2	0.044822386	0.007824558	0.003146393	0.021595306	7.74E-02
47:47.2	0.042098248	0.007054907	0.002820684	0.020186551	7.22E-02
49:16.7	0.038625709	0.006468614	0.002658187	0.018341376	6.61E-02
50:18.6	0.036776881	0.006304567	0.002614782	0.01732608	6.30E-02
51:30.2	0.034658486	0.005894579	0.002411227	0.016171791	5.91E-02
52:31.2	0.032775788	0.005553542	0.002270194	0.015020691	5.56E-02
53:31.1	0.031040187	0.005381076	0.00221598	0.013621876	5.23E-02
54:58.7	0.029135873	0.005297336	0.002210945	0.012830726	4.95E-02
55:08.7	0.029216272	0.005296055	0.00221086	0.012841693	4.96E-02

Vedlegg 5

Time	Felt 2 (9.23) [m³/s]	Felt 1 (10.04) [m³/s]	Felt 3 (18.29) [m³/s]	Felt 4 (23.88) [m³/s]	Total
00:00.0	5.57E-06	1.02E-05	3.06E-06	3.05E-06	2.18E-05
01:00.0	3.94E-06	1.50E-05	2.04E-06	0.002074036	2.10E-03
02:06.0	3.94E-06	0.000105254	2.04E-06	5.14E-06	1.16E-04
03:14.9	3.94E-06	6.29E-05	2.04E-06	4.64E-06	7.35E-05
04:23.0	3.94E-06	0.000137236	2.08E-06	-0.000159264	-1.60E-05
05:30.9	3.96E-06	0.000231469	2.69E-06	7.29E-05	3.11E-04
06:32.8	4.34E-06	0.00012567	5.95E-06	5.44E-05	1.90E-04
07:42.6	5.47E-06	-0.000115357	1.34E-05	5.23E-05	-4.42E-05
08:50.1	6.93E-06	0.000916953	3.04E-05	5.15E-05	1.01E-03
10:02.0	1.34E-05	0.000208443	5.87E-05	6.27E-05	3.43E-04
11:07.7	3.36E-05	0.000186656	0.000106343	9.78E-05	4.24E-04
12:55.9	0.000112249	0.000412733	0.000232523	0.000223479	9.81E-04
13:55.9	0.00014782	0.000616562	0.000320101	0.000319572	1.40E-03
14:55.9	0.000187941	0.000901332	0.000406358	0.000424487	1.92E-03
15:55.9	0.000244718	0.001296512	0.000496819	0.000539084	2.58E-03
16:55.9	0.000321017	0.001724496	0.00061626	0.000686484	3.35E-03
17:55.9	0.00042235	0.002096258	0.000770522	0.000867501	4.16E-03
18:55.9	0.000540215	0.002661586	0.000945508	0.001079291	5.23E-03
19:57.8	0.000559334	0.004230829	0.000960176	0.001172396	6.92E-03
21:09.9	0.000737799	0.025450793	0.001253485	0.001528024	2.90E-02
22:42.4	0.001469643	0.027544522	0.002259656	0.002866647	3.41E-02
24:33.3	0.003241785	0.04473232	0.004587246	0.005724025	5.83E-02
25:33.3	0.004411663	0.054442034	0.00607029	0.007508951	7.24E-02
26:33.3	0.005462679	0.062553163	0.007541079	0.009259324	8.48E-02
27:33.3	0.006450052	0.068842411	0.008950321	0.010862013	9.51E-02
28:33.3	0.007449769	0.074649708	0.010238445	0.012287541	1.05E-01
29:33.3	0.008385459	0.079276565	0.011354775	0.013550767	1.13E-01
30:33.3	0.009268508	0.083320621	0.012316091	0.014630763	1.20E-01
31:33.3	0.009661969	0.083154452	0.012725665	0.01490348	1.20E-01
32:33.3	0.009623942	0.078919322	0.012516224	0.01453999	1.16E-01
33:33.3	0.009282964	0.071785524	0.011919685	0.013746894	1.07E-01
34:33.3	0.008887515	0.066507253	0.011222197	0.012966405	9.96E-02
35:33.3	0.008430826	0.060010095	0.010564893	0.012142501	9.11E-02
36:33.3	0.0079685	0.054517907	0.00987483	0.011288983	8.37E-02
37:33.3	0.007496513	0.048903786	0.009152184	0.010447686	7.60E-02
38:33.3	0.007051666	0.044354107	0.008488593	0.009670411	6.96E-02
39:33.3	0.006633391	0.039984722	0.007954786	0.008951655	6.35E-02
40:33.3	0.006270343	0.036620026	0.007513869	0.008304262	5.87E-02
41:33.3	0.005941007	0.03339487	0.007117234	0.007703127	5.42E-02

42:33.3	0.005609124	0.030920706	0.00674455	0.007166103	5.04E-02
43:33.3	0.005296502	0.02849294	0.006402751	0.006676398	4.69E-02
44:33.3	0.005006711	0.026666632	0.006101153	0.006243412	4.40E-02
45:33.3	0.00473345	0.024839112	0.005829676	0.005848526	4.13E-02
46:33.3	0.004470022	0.023423958	0.005558595	0.00547159	3.89E-02
47:33.3	0.004213323	0.02188784	0.005284128	0.005113719	3.65E-02
48:33.3	0.00396907	0.020655293	0.005012851	0.004777025	3.44E-02
49:33.3	0.003737828	0.019309632	0.004759022	0.004465782	3.23E-02
50:33.3	0.003521453	0.018245174	0.004522639	0.004178118	3.05E-02
51:33.3	0.003317481	0.017073172	0.004291529	0.003902602	2.86E-02
52:33.3	0.003124014	0.016125761	0.00406369	0.003647406	2.70E-02
53:33.3	0.002939265	0.015086406	0.003844917	0.003405554	2.53E-02
54:33.3	0.00278582	0.014251498	0.003643561	0.003185499	2.39E-02
55:10.0	0.002847941	0.013972659	0.003729281	0.003127502	2.37E-02

Vedlegg 6

Time	Utløp 1	Utløp 2	Utløp 3	Utløp 4	Utløp 5	Utløp 6	Utløp 7	Total [m³/s]
00:00.0	8.46E-06	2.73E-06	2.22E-06	8.93E-06	7.96E-06	1.77E-05	7.60E-06	5.56E-05
01:00.0	1.03E-05	1.54E-06	1.17E-06	3.24E-04	4.48E-06	1.30E-05	9.71E-05	4.52E-04
02:08.1	-7.04E-06	1.54E-06	1.11E-06	-1.76E-05	4.50E-06	1.30E-05	-5.79E-05	-6.24E-05
03:08.3	0.000410727	1.54E-06	1.05E-06	2.30E-03	4.41E-06	1.30E-05	1.44E-03	4.17E-03
04:16.5	0.000326206	1.76E-05	7.57E-06	1.45E-03	8.17E-06	1.30E-05	7.19E-04	2.54E-03
05:30.7	0.000354228	0.001321027	0.000691384	0.00313512	0.000106328	1.30E-05	6.14E-04	6.24E-03
06:46.4	0.004207381	0.004980489	0.002512646	0.010081469	0.000638751	1.30E-05	2.37E-03	2.48E-02
07:46.2	0.009968058	0.007143	0.003354857	0.015039138	0.002535385	1.30E-05	3.66E-03	4.17E-02
08:49.2	0.012606981	0.008422589	0.003717232	0.018095894	0.005282774	0.020712823	0.004726356	7.36E-02
09:56.6	0.021577247	0.008855403	0.003731154	0.021352509	0.009592328	0.025648203	0.005271581	9.60E-02
11:22.0	0.03140812	0.009526313	0.004072792	0.023889207	0.015075401	0.030705273	0.005702807	1.20E-01
12:22.0	0.036971524	0.010130437	0.004332121	0.025220035	0.017951145	0.033755474	0.006043307	1.34E-01
13:22.0	0.041144933	0.010546876	0.004494127	0.026296231	0.020099411	0.036116591	0.006292634	1.45E-01
14:22.0	0.044226454	0.010792971	0.004533266	0.026991526	0.02175543	0.037555417	0.006459322	1.52E-01
15:22.0	0.046492233	0.010850902	0.004538745	0.027515763	0.022966141	0.03845463	0.006558345	1.57E-01
16:51.6	0.055892734	0.014713257	0.006517385	0.034973572	0.026781175	0.045861594	0.008546235	1.93E-01
18:13.3	0.067630499	0.018042938	0.007910477	0.042942246	0.03180166	0.055566916	0.010460187	2.34E-01
18:13.3	0.07903142	0.019193089	0.008066664	0.046699755	0.037537086	0.061943644	0.011385716	2.64E-01
19:39.9	0.090781718	0.026684393	0.01228249	0.062442309	0.042454097	0.071124823	0.015122106	3.21E-01
20:39.9	0.135836921	0.043931452	0.020928311	0.095228938	0.058604065	0.09002493	0.024296016	4.69E-01
21:41.8	0.205893755	0.056043104	0.025670566	0.123706186	0.082533081	0.105379196	0.031761947	6.31E-01
22:41.8	0.248185764	0.06261814	0.027198662	0.142600599	0.103120156	0.115948399	0.036093647	7.36E-01
23:41.8	0.287576883	0.065073292	0.027233045	0.155767064	0.110235501	0.123586622	0.038651908	8.08E-01
24:44.4	0.307158853	0.065156146	0.027234087	0.165447081	0.112480279	0.130190887	0.039549016	8.47E-01
25:56.7	0.315990266	0.06517677	0.027234187	0.167209496	0.113453654	0.134224672	0.039592475	8.63E-01
27:02.5	0.319487822	0.065182167	0.027234209	0.167226311	0.114013592	0.136154885	0.039595285	8.69E-01
27:02.5	0.321019759	0.065189502	0.027234214	0.167226342	0.114560019	0.13804198	0.039595337	8.73E-01
28:12.7	0.301249106	0.05662633	0.022164155	0.15179185	0.112445489	0.135876404	0.035311892	8.15E-01
28:12.7	0.25361428	0.040319834	0.014288903	0.120834903	0.106391445	0.129191185	0.026686789	6.91E-01
29:40.3	0.188539056	0.027087895	0.009249364	0.089579654	0.099509146	0.12123457	0.018751219	5.54E-01
30:42.8	0.153937721	0.02130141	0.008125867	0.072525485	0.096271487	0.116287603	0.01494207	4.83E-01
31:42.9	0.126031449	0.018929774	0.00776566	0.056643862	0.094192756	0.111441217	0.012171602	4.27E-01
32:54.7	0.105436852	0.015453316	0.006033567	0.042947843	0.091936451	0.106433175	0.009904218	3.78E-01
33:54.7	0.089169958	0.012586023	0.004857133	0.035684346	0.08962476	0.10315273	0.008162288	3.43E-01
34:00.4	0.07741374	0.011293279	0.004553198	0.032186762	0.086922537	0.101571014	0.007269756	3.21E-01
35:26.0	0.068480693	0.010877731	0.004539639	0.029620015	0.062701229	0.100244184	0.006760995	2.83E-01
36:41.1	0.06258063	0.010468734	0.00431491	0.027574721	0.041187124	0.09902174	0.006430401	2.52E-01
37:47.4	0.057331686	0.009795029	0.003991776	0.025845412	0.031906028	0.09761392	0.006056254	2.33E-01
38:47.4	0.051387872	0.009126978	0.003749894	0.024162272	0.025849296	0.095545266	0.00564555	2.15E-01
39:53.4	0.049358092	0.008967409	0.003734726	0.023564987	0.024250174	0.094395109	0.00551826	2.10E-01
40:53.2	0.047417056	0.008695316	0.003595147	0.022702168	0.02297223	0.093064047	0.005329163	2.04E-01
41:58.9	0.044822386	0.007824558	0.003146393	0.020895651	0.021595306	0.091314941	0.004875938	1.94E-01
43:47.2	0.042098248	0.007054907	0.002820684	0.019119708	0.020186551	0.089268322	0.004441673	1.85E-01
44:47.2	0.038625709	0.006468614	0.002658187	0.017477785	0.018341376	0.085572403	0.004060263	1.73E-01
45:47.2	0.036776881	0.006304567	0.002614782	0.016602641	0.01732608	0.082058817	0.003890692	1.66E-01

	0.034658486	0.005894579	0.002411227	0.015404757	0.016171791	0.075196267	0.003646877	1.53E-01
	0.032775788	0.005553542	0.002270194	0.014639541	0.015020691	0.058629762	0.003441548	1.32E-01
	0.031040187	0.005381076	0.00221598	0.014191856	0.013621876	0.021447901	0.00332346	9.12E-02
	0.029135873	0.005297336	0.002210945	0.013810365	0.012830726	0.020534599	0.003241279	8.71E-02
	0.029216272	0.005296055	0.00221086	0.013744865	0.012841693	0.020518655	0.003239226	8.71E-02

Fremtidsrettet overvannshåndtering ved utbygging av ny bypark

Dagens standard for overvannshåndtering holder ikke mål for fremtidens klimaendringer, og det må derfor vurderes fremtidsrettet overvannshåndtering. Håndtering av overvann ved dagens situasjon skjer i stor del av rør i bakken, hvor det er ett mål om i fremtiden å få fjernet mest mulig rør og disponere mye av vannet lokalt.

Ved planlegging av ny bypark i Trondheim syd settes det nye krav til overvann, det skal slippes mindre vann på kommunalt nettverk, og mye må håndteres lokalt. Dette kan gjøres effektivt med LOD-tiltak (lokal overvannsdisponering) som grønne tak, regnbed, permeable flater osv. I vår oppgave skulle vi se på effekten av disse løsningene sammenlignet med dagens situasjon innenfor ett gitt område.

I bacheloroppgaven ble det brukt simuleringsprogrammet MIKE Urban for å simulere dagens situasjon, samt fremtidens situasjon med valgte LOD-tiltak. Det ble deretter utarbeidet hydrogrammer for hvert av tilfellene. I tillegg til å bruke simuleringsprogrammet MIKE Urban ble området også beregnet ved hjelp av den rasjonelle formelen. Deretter ble disse sammenlignet med hverandre for å se hvor mye reduksjon det ble i påslipp til kommunalt nettverk. I vår oppgave ble det lagt inn LOD-tiltak som:

- Grønne tak
- Regnbed
- Fordrøyningsdam

Gruppen fant fort ut at MIKE Urban ikke var egnet til en slik oppgave, da programmet har få funksjoner for LOD-tiltak. Her ble det f.eks. satt eget utløp til regnbed med en konstant avrenning for å simulere fordrøyning.



Fremtidens bypark, Trondheim syd.

Det som var mest overraskende under simuleringene er at det ble en svært lav avrenning videre til kommunalt nettverk, mens fra den rasjonelle formelen ble den over vår forventning. Store deler av fremtidens område består av grønne tak, regnbed samt en fordrøyningsdam, som senker avrenningen over tid betydelig. Mye av grunnen til at avrenningen ble så lav er at regnvarigheten som ble simulert gikk over 1 time, hvor det meste ikke har hatt tid til å havne i ledningene enda pga. LOD-tiltakene.

De lave kurvene fra simuleringene i MIKE kan også skyldes feil, da det ble gjort noen antakelser, og kreative løsninger måtte til for å simulere noen av tiltakene. I den rasjonelle formelen ble den svært høy da noen av LOD-tiltakene som fordrøyningsdam ikke ble med, hvor den utgjør en stor forskjell i hydrogrammet.

Det konkluderes derfor med at LOD-tiltak vil gjøre en stor og betydelig forskjell for området vårt, med våre tiltak ble det en reduksjon på ca. $0.4\text{m}^3/\text{s}$. Tiltakene har også en positiv virkning for både estetikk og miljø, i tillegg til å disponere store deler av overvannet lokalt.

Prosjektering og simulering av blågrønne overvannsløsninger, Trondheim syd

Design and simulation of blue-green stormwater management, Trondheim south

Prosjektnr 2020-21 Fredrik R. Helgesen, Einar Sæteren
Intern veileder: Rolf E. Petersen Ekstern kontakt: Asplan Viak

Oppgaven: Blågrønne overvannsløsninger, Trondheim syd

Analyse: Dagens løsninger holder ikke til framtidens klimaendringer

Konklusjon: LOD-tiltak utgjør en svært stor reduksjon, samt en positiv virkning for både estetikk og miljø.

