BYGT2900 Bacheloroppgave bygg

Overvannshåndtering på nye campus Gløshaugen

-Simulering og dimensjonering av blågrønne tiltak med programvaren EPA SWMM

Stormwater Management at New Campus Gløshaugen

-Simulation and Design of Blue-Green Solutions Using the Modelling Software EPA SWMM

Trondheim Mai 2022

Navn studenter:

Petter Kalland

Mads Kandola Dahl

Intern veileder:

Marius Møller Rokstad

Ekstern veileder:

Rambøll Trondheim v/

Jesper Andreas Oveland Vimme

Thomas Tangstad

Prosjektnummer:

2022 -1

NTNU

Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for bygg- og miljøteknikk

Rapporten er ÅPEN

Vårt prosjekt omhandler overvannshåndtering knyttet til Campussamlingen som NTNU gjennomfører på Gløshaugen. Omfattende utbygging av området, klimaendringer og endrede holdninger til overvannshåndtering gjør prosjektet avhengig av nye og gode løsninger for overvannsystemet. Vi vil i løpet av perioden tilegne oss kunnskap om håndtering av overvann og bruke denne for å løse utfordringene overvannet bringer. For å gjøre dette vil det beregnes og simuleres ulike løsninger. Deretter vil de sammenliknes opp mot hverandre. Teorien vi har lært skal tas i bruk for å skape en god løsning for nye campus Gløshaugen.

Prosjektmål:

- Undersøke hvilke blågrønne løsninger som finnes i markedet, beskrive disse og vurdere relevansen deres i forhold til prosjektområdet.
- Beskrive bakgrunnen for bruk av blågrønne løsninger og hvorfor det er nødvendig.
- Bestemme og dimensjonere aktuelle blågrønne løsninger etter gjeldende normer og standarder.
- Simulere de ulike tiltakene og løsningene, og anslå effekten av disse. Deretter sammenlikne de ulike løsningene med hverandre.
- Gi en grov kost-nytte-analyse av tiltakene
- Reflektere rundt valg av løsninger
- Bidra til innovasjon i håndteringen av overvann.

Stikkord fra prosjektet:

Overvann, Lokal overvannsdisponering, Blågrønne løsninger, EPA SWMM, Gløshaugen

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av to studenter innenfor retningen teknisk planlegging ved NTNU Trondheim. Oppgaven representerer avslutningen på byggingeniørstudiet.

Problemstillingen er presentert av Rambøll Trondheim og er knyttet tett opp mot et pågående prosjekt de er involvert i. Vi oppfattet tidlig oppgaven som svært aktuell og med viktige utfordringer. I tillegg var prosjektområdet på vår egen campus, noe som bidro til å øke interessen ytterligere. Alt dette gjorde oppgaveforslaget til vårt førstevalg.

Overvann er en relativt ny problemstilling og et felt hvor utviklingen går fort. Vi anser kunnskapen vi har tilegnet oss som relevant og nødvendig for gode løsninger i fremtidens samfunn.

Prosessen med bacheloroppgaven har vært utfordrende, og med mye prøving og feiling. Det har tidvis vært frustrerende, men har alltid føltes lærerikt og meningsfullt. Vi er stolte over å levere oppgaven, og med det avslutte utdanningen.

Vi vil rette en stor takk til alle vi har samarbeidet med under hele prosessen. Takk til Jesper Andreas Oveland Vimme og Thomas Tangstad ved Rambøll Trondheim som har gitt oss en spennende oppgave, og hjulpet oss gjennom perioden. Takk til vår veileder Marius Møller Rokstad som alltid har stilt opp og vært tilgjengelig. Det settes pris på. En spesiell takk rettes også til Rolf Edvard Petersen. Ditt engasjement har vært smittende og bidratt sterkt til der vi er i dag.

Trondheim, 20. Mai. 2022

Mads Kandola Dahl

Petter Kalland

Sammendrag

Denne bacheloroppgaven tar for seg simulering og dimensjonering av blågrønne overvannstiltak på campus Gløshaugen i Trondheim. Her vil NTNU samle flere av sine studieretninger innen 2029 i en omfattende utbygging.

Denne utbyggingen, sammen med en økning av ekstremvær i fremtiden, gjør at dagens overvannshåndtering ikke vil være tilstrekkelig. Med det som bakgrunn tar oppgaven for seg overvannshåndtering ved hjelp av blågrønne løsninger.

Først presenteres teori rundt hvordan behovet og løsningene for håndtering av overvannet har endret seg. Dette gjøres ved å beskrive nye forutsetninger, krav, normer og metoder for behandling av overvann. Det gås videre inn på holdninger og tidligere tilnærminger til overvannsutfordringene. De nye overvannstiltakene, også kjent som blågrønne løsninger, er deretter beskrevet.

Effekten av de blågrønne tiltakene er simulert i programmet EPA SWMM ved hjelp av tre ulike modeller: Modell I, Modell II og Modell III. Modell I er uten blågrønne tiltak, mens Modell II og III har tiltak i ulik grad, der Modell II har den største mengden. Resultatene blir så sammenliknet med krav fra Trondheim Kommune. Deretter blir kostnadene og nytten anslått.

Resultatene viser at avrenningen i løpet av et år fra prosjektområde reduseres fra 117 millioner liter til 51 millioner liter i Modell II og til 63 millioner liter i Modell III. Dette er en kraftig endring. Det er også vist hvordan avrenningsintensiteten blir betydelig lavere med tiltak. Kostnadsberegningene viser at tiltakene lagt inn i modellene er kostbare, men at de også har potensiale til å erstatte tradisjonelle løsninger. Resultatene er diskutert i slutten av oppgaven.

Beregningene og resultatene i oppgaven er preget av gruppens valg. Der det ikke er funnet gode tall å bruke har gruppen etter beste evne bestemt verdier. Dette gjør at resultatene inneholder usikkerheter og må sees på som et anslag.

Abstract

This bachelor thesis addresses issues regarding stormwater management with blue-green solutions at campus Gløshaugen in Trondheim. NTNU aims to gather several of their programmes here by 2029.

Extreme weather is estimated to occur more frequently and with increased intensity in the future. Today's stormwater management won't suffice with this change in climate. This, combined with the expansion of campus, is the reasoning behind the content of the bachelor thesis.

First part of the thesis explains general theories affiliated with climate, downpour, and the causes for a change in the strategy for stormwater management. This strategy is explained by describing new demands, norms and calculation methods.

Following the theory, blue-green solutions will be described in detail, alongside the different computer programs utilized. The explanation of the program EPA SWMM exceeds the rest, as results presented in the thesis have been accumulated from this program. The possibilities for simulations are vast and limitations have therefore been established. The simulations consist mainly of the effect different blue-green solutions inflict on the surface runoff. This makes it possible to compare the results against Trondheim municipalities demands.

The effects are simulated using three models: Model I, Model II and Model III. Model I contain no blue-green solutions and is used as a base. Model II and Model III contains blue-green solutions in different amounts, where Model II has the largest amount.

Finishing of, relevant data and information from the simulations are presented. The results show a reduction from 117 million liters in Model I to 51 million liters in Model II, and a reduction down to 63 million liters in Model III. These are significant changes. The calculations of cost show the expensive price of blue-green solutions in the different models. It also highlights the possibility they have as a replacement to traditional solutions.

The calculations and results from this thesis are affected from choices made by the group. These choices contain uncertainties. This means that the results must be viewed with some tolerance for fault and considered with some uncertainties in mind.

Akronymer:

- EPA SWMM Environmental Protection Agency Storm Water Management Model
- Ha Hektar (1 ha = 10 000 m^2)
- IVF Intensitet-Varighet-Frekvens
- LOD Lokal Overvannsdisponering
- LPS Liter Per Sekund
- NTNU Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet
- VA Vann og Avløp

Terminologi:

- DWG Filformat for digitale tegninger (DWG=drawing)
- Fellessystem Avløpssystem med felles ledning for spillvann og overvann
- Impermeabel Ugjennomtrengelig
- Interpolasjon Et estimat mellom to verdier
- Klimafaktor Faktor som tar hensyn til fremtidig endring i nedbør
- Koeffisient Matematisk uttrykk for en konstant eller tall
- Kotehøyde Høyden på et punkt målt i meter over havet
- Manningstall (M) Tall som definerer overflateruhet
- Null-situasjon Situasjonen slik den er i dag
- Permeabilitet Vanngjennomtrengelighetsevnen til et materiale
- Separatsystem Avløpssystem med separate ledninger
- Vannsøyle Måleenhet for vanntrykk (10 mVs = 1bar)
- Q_Maks Maksimal vannføring (ofte i liter per sekund)

Figuroversikt

Figur 1-1 Avvik fra gjennomsnittstemperatur globalt (NOAA National Centers for Environmental information, 2022) 1
Figur 2-1 Årsnedbør 1991-2020, utklipp fra senorge.no 3
Figur 2-2 Snø på prosjektområde 8. Mars (foto: privat) 5
Figur 2-3 IVF-kurve Risvollan, Trondheim, utklipp fra klimaservicesenter.no 6
Figur 2-4 Nedbørsdiagrammer 7
Figur 2-5 Treleddsstrategien illustrert, fra norskvann 14
Figur 2-6 Oppbygning av regnbed (Paus & Braskerud, 2013) 15
Figur 2-7 Serieoppstilte regnbed (illustrasjon: Stener Sørensen AS) fra (French, et al., 2020) 16
Figur 2-8 Fordrøyningsbasseng (Stiftelsen VA/Miljø-blad, 2008) 17
Figur 2-9 Håndtegning taknedløp 18
Figur 2-10 Permeable dekker, utklipp fra EPA SWMM 19
Figur 2-11 Flom i Benedikts vei, Bærum. Foto: Bærum kommune (2020) 21
Figur 2-12 Ilabekken i Trondheim (Foto: SINTEF) fra (Rambæk, 2021) 22
Figur 2-13 Width konsept, utklipp fra EPA SWMM 25
Figur 3-1 Akkumulering av overvann, utklipp fra Flomkuben 29
Figur 3-2 Flomkart over prosjektområdet, utklipp fra Flomkuben 29
Figur 4-1 Feltinndeling basert på avrenning, Rambøll 30
Figur 4-2 Nedbørsdata 2015 [mm/t] 31
Figur 4-3 VA-norm, Trondheim kommune (2020) 32
Figur 4-4 Modell I i EPA SWMM 38
Figur 4-5 Nedslagsfelt, konstruert i QGIS 40
Figur 4-6 Hyetogram for dimensjonerende timesregn 43
Figur 4-7 NTNU Gløshaugen, utklipp fra norgeskart.no 45
Figur 4-8 Foreslått plassering av grønne tak i Modell III, konstruert i QGIS 46
Figur 6-1 Avrenningskoeffisienter beregnet av SWMM 59
Figur 6-2 Avrenning for Modell III under dimensjonerende timesregn 60
Figur 6-3 Regnbed tverrsnitt (Gülbaz, 2017) 61

Tabelloversikt

Tabell 2-1 Avrenningskoeffisienter (Trondheim Kommune, 2020) 9
Tabell 2-2 Gjentaksintervall fra VA-norm til Trondheim kommune (2020) 11
Tabell 2-3 Klimafaktorer fra VA-norm Trondheim kommune (2020) 11
Tabell 4-1 Videreførte vannmengder og minimum fordrøyningskrav, Modell I 33
Tabell 4-2 Videreførte vannmengder og minimum fordrøyningskrav, Modell II 33
Tabell 4-3 Videreførte vannmengder og minimum fordrøyningskrav, Modell III 34
Tabell 4-4 Parameterverdier for regnbed 35
Tabell 4-5 Parameterverdier intensive tak 36
Tabell 4-6 Parameterverdier ekstensive tak 36
Tabell 4-7 Parameterverdier for Permeable dekker 37
Tabell 4-8 Areal over nedslagsfelt 40
Tabell 4-9 Total mengde LOD - tiltak 44
Tabell 4-10 Q_maks for umettet og mettet tilfelle 49
Tabell 4-11 Total avrenning for umettet og mettet tilfelle 50
Tabell 4-12 Priser for kost-nytte-analyse 52
Tabell 4-13 Priser tiltak Modell I 52
Tabell 4-14 Differanse pris og avrenning, Modell I og II 52
Tabell 4-15 Differanse pris og avrenning, Modell I og III 53
Tabell 5-1 Modell I, Resultat fra EPA SWMM 54
Tabell 5-2 Modell II, Resultat fra EPA SWMM 54
Tabell 5-3 Modell III, Resultat fra EPA SWMM 54
Tabell 5-4 Modell III, Resultat fra EPA SWMM for dimensjonerende timesregn 55
Tabell 5-5 Krav Modell I 55
Tabell 5-6 Krav Modell II 55
Tabell 5-7 Krav Modell III 56
Tabell 5-8 Krav Modell III, timesregn 56
Tabell 5-9 Totalkostnad og pris per m^3 fordrøyd vann for Modell II og Modell III 57
Tabell 5-10 Regnbed som fordrøyningsvolum 57

Innholdsfortegnelse

FORORD I

SAMMENDRAG II

ABSTRACT III

FIGUROVERSIKT V

TABELLOVERSIKT VI

1. INNLEDNING 1

1.1. Bakgrunn 1

1.2. Avgrensninger 2

2. TEORI 3

2.1. Nedbør 3

2.1.1. Ulike type nedbør 4

2.1.2. Styrtregn 4

2.1.3. Langtidsregn 4

2.1.4. Snøsmelting 5

2.2. Overvann 5

2.3. Grunnlag for dimensjonering 6

2.3.1. Gjentaksintervall 6

2.3.2. IVF-kurver 6

2.3.3. Dimensjonerende regn 7

2.3.4. Nedbørsfelt 8

2.3.5. Påslippskrav 8

2.4. Regnemetoder 9

2.4.1. Den rasjonelle metode 9

2.4.2. Summasjonskurvemetoden 12

2.5. Nye holdninger til overvann 12
2.5.1. Treleddsstrategien 13

2.6. Overvannstiltak 15
2.6.1. Regnbed 15
2.6.2. Grønne tak 16
2.6.3. Fordrøyningsbasseng 17
2.6.4. Takrenne-avkobling 18
2.6.5. Permeable dekker 19
2.6.6. Infiltrasjonskum 20
2.6.7. Flomveier 20
2.6.8. Åpne vannveier 21
2.6.9. Bekkeåpning 21
2.6.10. Tradisjonelle løsninger 22

2.7. Dataprogrammer 23
2.7.1. EPA SWMM 23
2.7.2. AutoCAD 26
2.7.3. QGIS 26
2.7.4. FlomKuben 26

3. NTNU CAMPUSSAMLING 27

3.1. Overvannshåndtering på campus 27
3.1.1. Dagens situasjon 27
3.1.2. Ledningsnett 27
3.1.3. Nedslagsfelt 28
3.1.4. Flomveier 28

4. METODE 30

4.1. Datainnsamling 30
4.1.1. Kartdata 30
4.1.2. Hydrologisk data 31
4.1.3. Utregning av påslippskrav 32
4.1.4. LOD-data 34

4.2. Modellering 38
4.2.1. De ulike modellene 38

4.2.2. Bakgrunnskart ... 39
4.2.3. Nedslagsfelt ... 39
4.2.4. Nedbør ... 41
4.2.5. Ledninger og kummer ... 43
4.2.6. LOD-tiltak og design ... 44

4.3. Innovasjon ... 47
4.3.1. Konsept ... 47
4.3.2. Muligheter ... 48
4.3.3. Fordeler ... 48
4.3.4. Utfordringer ... 49
4.3.5. Potensiale ... 49

4.4. Simulering ... 50

4.5. Kost-Nytte ... 51
4.5.1. Kost-nytte for modellene ... 52
4.5.2. Kost-nytte fordrøyningsvolumer ... 53

5. RESULTATER ... 54

5.1. Resultater fra simulering ... 54

5.2. Krav og differanse ... 55

5.3. Kost-Nytte ... 57

6. DISKUSJON ... 58

6.1. Resultater historisk nedbør ... 58

6.2. Resultater timesregn ... 60

6.3. Overvannstiltak ... 61

6.4. Kost-nytte ... 63

6.5. Usikkerheter ... 64
6.5.1. Dataprogram ... 64
6.5.2. Beregninger ... 64
6.5.3. Overvannstiltak ... 65

6.5.4. Kostnader 65

7. KONKLUSJON 66

7.1. Videre arbeid 67

8. REFERANSER 68

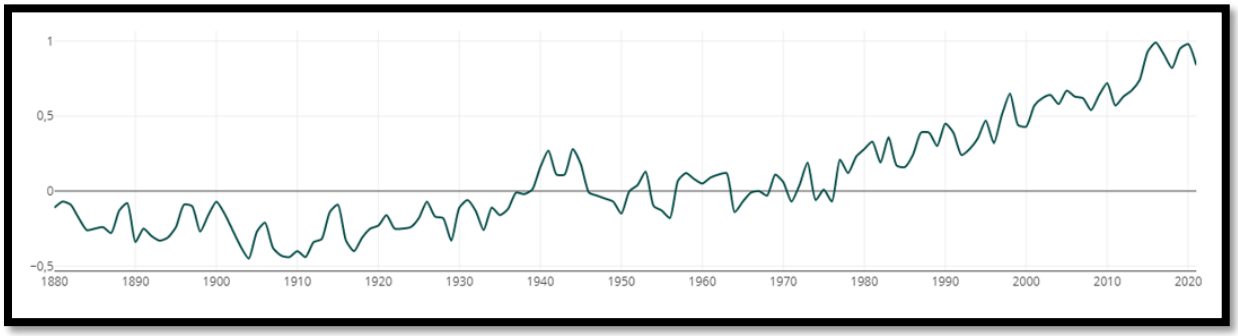
9. VEDLEGGSOVERSIKT 74

1. Innledning

1.1. Bakgrunn

En betydelig økning i klimagassutslipp de siste tiårene har ført til klimaendringer. For å bremse denne utviklingen ble Parisavtalen inngått med et mål om å begrense temperaturstigningen til 1,5 grad. Uansett resultat vil endringer i dagens klima oppstå (FN-Sambandet, 2021).

FN publiserte sin nyeste klimarapport i august 2021. Rapporten forteller at global oppvarming har passert 1,1 grad og stiger raskere enn noen gang tidligere. Dette fører blant annet til at ekstremvær blir hyppigere og mer alvorlig. Ekstremregn og flom er en del av dette (Miljødirektoratet, 2021).



Figur 1-1 Avvik fra gjennomsnittstemperatur globalt (NOAA National Centers for Environmental information, 2022)

Norge vil også kjenne klimaendringene, spesielt i et lengre perspektiv. Frem mot 2100 forventes det blant annet 18 % økning i årsnedbør, hyppigere og kraftigere styrtregnepisoder og mer intense regnflommer. Overvanns- og flomproblematikk knyttet til disse endringene blir en stor utfordring fremover (Hanssen-Bauer, et al., 2015).

I tillegg til endringene i klimaet er økt urbanisering en utfordring. Med ny bebyggelse blir vegetasjon, trær og andre overflater som kan holde på vannet byttet ut med tettere flater som tak og asfalt. Konsekvensene er økt mengde overvann som kan føre til overbelastning på ledningssystemene, oversvømmelser og flom (Ødegaard, et al., 2014, s. 344-345).

For å løse utfordringene er det nødvendig med en fremtidsrettet og bærekraftig overvannshåndtering. Nedbøren som kommer skal ledes vekk på en god, sikker og kostnadseffektiv måte (Ødegaard, et al., 2014, s. 344-345). Dette kan gjøres med flere ulike tiltak, som det skal sees nærmere på i denne oppgaven.

1.2. Avgrensninger

For å holde oppgavens omfang på ønsket nivå har det blitt gjort noen avgrensninger. Dette var nødvendig for å nå målene som ble satt. Avgrensningene er i hovedsak nevnt der det er aktuelt. De viktigste er nevnt under:

Grunnet størrelsen på campussamlingsprosjektet er det valgt kun å fokusere på et delområde på campus, slik at oppgaven blir mer håndterbar. De andre delområdene er ikke nevnt videre.

Listen med blågrønne tiltak som kan bidra til håndtering av overvannet er lang. Tiltakene som finnes er beskrevet i teoridelen. I våre modeller er det valgt å fokusere på tre stykker: regnbed, grønne tak og permeable dekker. Valget er diskutert i kapittel 4.

Ledningene i modellene er forenklet og delvis antatt. Rambøll stilte til disposisjon et kart over ledningsnettet i Trondheim. Kartet ble brukt veiledende. Fallet på ledningene ble satt til minimumsverdien på 10 promille etter Trondheim kommune sin VA-norm (Trondheim kommune, 2022).

EPA SWMM inneholder store mengder variabler og komponenter som må gis en verdi. Enkelte steder har det vist seg vanskelig å finne gode verdier, og vi har måttet gjøre egne vurderinger på varierende grunnlag. Der dette er tilfelle er det kommentert.

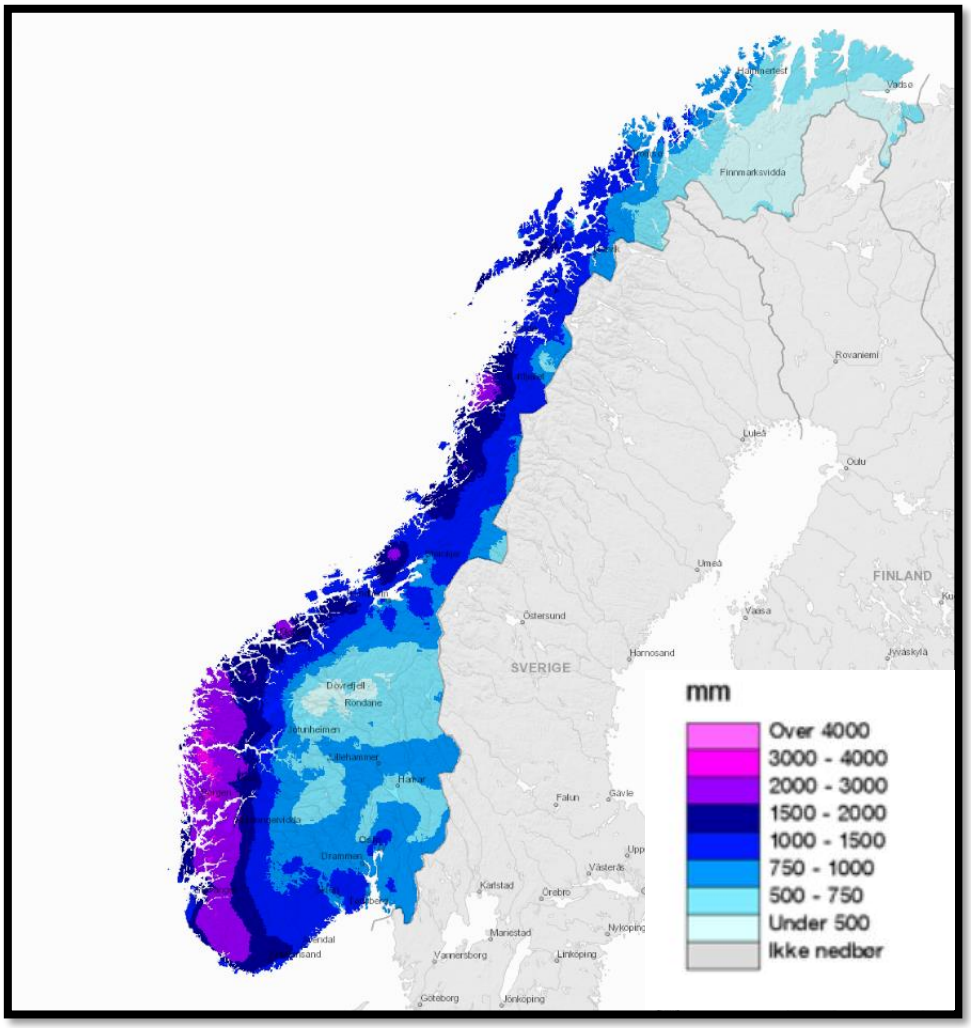
2. Teori

I dette kapittelet forklares relevant teori som direkte eller indirekte brukes i oppgaven.

2.1. Nedbør

Nedbør er vann i flytende eller fast form som faller til jordoverflaten. I Norge varierer årsnedbøren mellom 200-4000mm i for ulike områder, men 1400mm regnes som et snitt per år. Nedbøren måles ved hjelp av målere som samler opp regn og snø der mengden angis i millimeter.

Dette er tykkelsen på vannlaget fra nedbør og smeltet snø som ville dekket en horisontal flate. Nedbørmålere tar ikke hensyn til fordampning eller avrenning (Dannevig & Holm, 2021). Figur 2-1 viser nedbørsmengdene for de ulike delene av landet.



Figur 2-1 Årsnedbør 1991-2020, utklipp fra senorge.no

2.1.1. Ulike type nedbør

Nedbør i form av regn kan deles inn i 3 hovedtyper: frontnedbør, orografisk nedbør og bygenedbør.

Frontnedbør vil oppstå når en kald front og varm front møtes slik at den varme luften presses opp. Luften avkjøles og kan føre til regn eller annen nedbør. Slike regn dekker normalt store områder og varer ofte over lengre tid (Sivle, 2020).

Orografisk nedbør oppstår når fuktig luft blir ledet oppover av terrenget. Der vil den avkjøles på samme måte som frontnedbør og ofte avgi regn. Bergen er et eksempel på en by hvor orografisk nedbør ofte oppstår (Meterologisk Institutt, 2022).

Bygenedbør er kortvarige og lokale fenomen. Det oppstår når luften nær bakken blir oppvarmet, gjerne av solstråling, og stiger raskt oppover. På grunn av oppvarmingen som kreves er bygenedbør normalt et sommerfenomen i Norge. Spesielt kraftige byger kan føre til det som kalles styrtregn. Det er gjerne slike hendelser som gir lokale oversvømmelser (Dannevig, et al., 2020).

2.1.2. Styrtregn

Styrtregn er en betegnelse på plutselig og intens nedbør. Under styrtregn faller det minimum 10-20mm nedbør på 1 time. Nedbør med så kraftige regnintensiteter vil kunne føre til problemer tilknyttet overvann, spesielt i tett bebygde områder (Skaaraas, et al., 2015). Styrtregn er en form for ekstra kraftig bygenedbør og oppstår derfor stort sett på sommeren (Seter, 2021). Slike regn er normalt de kraftigste regnskyllene som vil oppstå i løpet av et år og blir derfor ofte dimensjonerende for vann- og avløpssystemer.

2.1.3. Langtidsregn

Det går et skille mellom langtidsregn og korttidsregnet. Langtidsregnet er ofte frontnedbør eller orografisk nedbør. Det har lavere intensitet og er generelt ikke så problematisk da vannet gjerne rekker å infiltrere ned i grunnen før oppstuving av store vannmengder på overflaten oppstår. Det kan likevel oppstå problemer med regn i lengre perioder. Grunnen som infiltrerer vannet kan bli mettet med vann og miste infiltrasjonsevnen. Når jorden er mettet vil nedbøren renne av som overvann.

2.1.4. Snøsmelting

Over store deler av landet vil nedbøren falle som snø deler av året. Når snøen smelter kan overvann oppstå. Avrenningsintensiteten er beskjeden i forhold til regnet, men kombinasjonen smeltevann og nedbør kan føre til flom i avløpssystemene (Bøyum, et al., 1997). Slike flommer opptrer gjerne i løpet av høsten eller tidlig på sommeren. De kan potensielt skape store skader på bebyggelse og infrastruktur (Varsom, u.d.). Figur 2-2 viser en haug med snø på prosjektområdet 8. Mars. Når denne smelter vil den bli til overvann for feltet.

Figur 2-2 Snø på prosjektområde 8. Mars (foto: privat)

2.2. Overvann

Overvann defineres som alt vann fra nedbør eller snø som renner på overflaten (Miljødirektoratet, 2021). Dersom nedbøren ikke infiltrerer ned i grunnen eller fordamper vil det renne på overflaten. Infiltrasjon er evnen jorda har til å ta til å ta til seg vann. Ved nedbør der regnintensiteten er høyere enn infiltrasjonskapasiteten til grunnen, klarer ikke vannet å infiltrere og vil isteden renne av som overvann (nve, 2021).

2.3. Grunnlag for dimensjonering

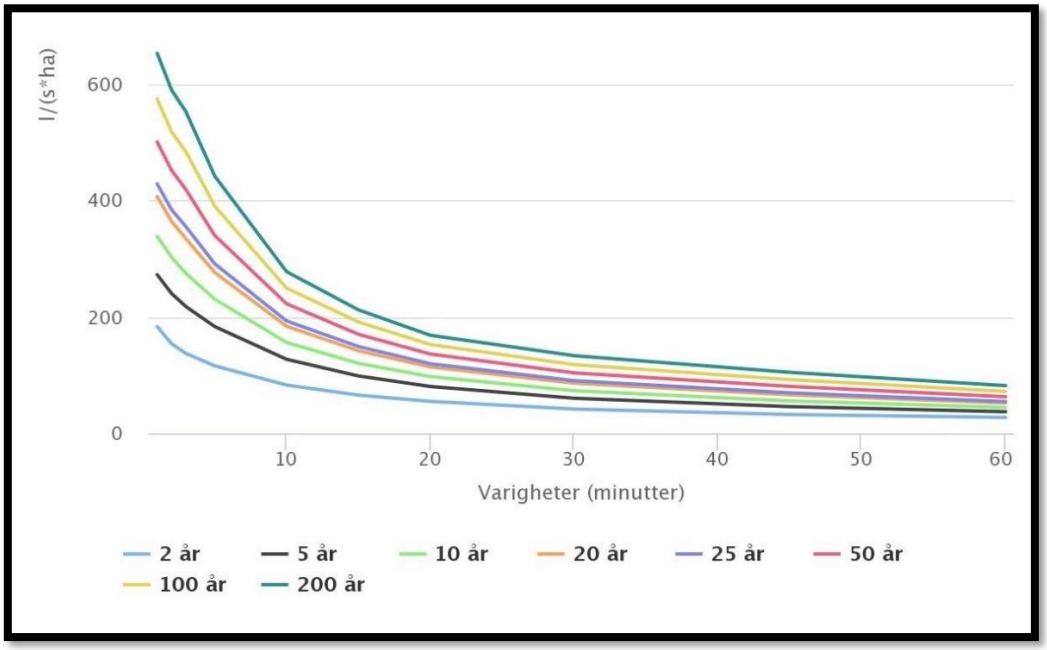
2.3.1. Gjentaksintervall

Gjentaksintervall, også kalt returperiode, er et mål på hvor ofte en bestemt vannføring overskrides. Det betyr at en flom med 100 års gjentaksintervall skal opptre i snitt hvert 100. år så lenge tidsserien man ser på er lang nok. I praksis betyr dette at det er 1% sjanse for at en 100-års flom eller et 100-års regn vil inntreffe. Selv om sannsynligheten er lav er det ikke umulig at to slik hendelser oppstår i løpet av ett år. Gjentaksintervall vil endre seg med endret datagrunnlag (varsom.no, u.d.). Datagrunnlaget kan påvirkes av for eksempel klimaendringer.

2.3.2. IVF-kurver

IVF står for Intensitet, Varighet og Frekvens. IVF-kurver forteller hvilke regnintensiteter som forventes ved ulike varigheter og gjentaksintervall. Regnintensiteten som hentes ut fra IVF-kurvene brukes til å dimensjonere overvannssystemer (Benestad, 2021). Varigheten spenner fra minutter til dager og gjentaksintervallet er normalt mellom 1 og 100 år.

IVF-kurvene er tilknyttet værstasjoner. Antall målinger og nøyaktighet kan variere. Eksempel på IVF-kurve fra Norsk Klimaservicesenter er vist i figur 2-3. Ved å velge gjentaksintervall (år) og varighet (minutter) kan intensiteten leses av langs vertikal akse med benevning l/s*ha. Multipliseres denne med arealet på feltet finnes intensiteten i liter per sekund.



Figur 2-3 IVF-kurve Risvollan, Trondheim, utklipp fra klimaservicesenter.no

2.3.3. Dimensjonerende regn

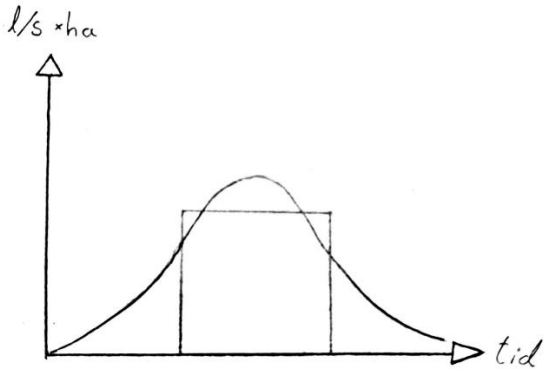
For å kunne gjøre overvannsberegninger er man avhengig av statistikk over nedbøren. Det må velges gjentaksintervall og IVF-kurve fra målestasjon nær der det prosjekteres (Dyrrdal, 2021). Når nedbørsstatistikken skal brukes som bakgrunn for beregninger gjøres den om til en modell. Alle modeller er tilnærminger og lages på ulike måter. Under presenteres to ulike regnmodeller.

Kasseregn

Kasseregn er vanlig å bruke for overvannsberegninger. Det konstrueres ved hjelp av IVF-kurvene. På IVF-kurvene velges ønsket varighet på regnet. Varigheten multipliseres deretter med tilhørende intensitet [l/s*ha]. Dette gir lengden og bredden på en firkant som utgjør kasseregnet.
Forenklingen i denne typen modell er at den gir samme intensitet på regnet over hele varigheten. I virkeligheten vil intensiteten på regnet variere mye selv med bare minutters mellomrom (Lindholm & Aune, 1978). Kasseregn fungerer best på små områder der variasjonene i intensitet er mindre.

Regnhyetogram

Et alternativ til det tradisjonelle kasseregnet er et regnhyetogram. Denne modellen tar hensyn til variasjonene i regnets intensitet innenfor det samme tidsrommet, noe som stemmer bedre med virkeligheten. Et regnskyll har sjelden samme intensitet hele sin varighet. Det gjør regnhyetogrammet mer realistisk enn kasseregnet (Bøyum, et al., 1997).
Regnhyetogram kan i likhet med kasseregnet konstrueres ut fra IVF-kurvene. For å gjøre dette antas det symmetri for nedbørintensiteten. Med den korteste varigheten i midten kan man jobbe seg utover og gradvis finne lavere verdier. Regnhyetogrammet fungerer på felt i alle størrelser og kan bli brukt til å dimensjonere alle ledninger i et ledningsnett. Dette skyldes at ledningene med lang konsentrasjonstid blir dimensjonert av hele regnet, mens ledningene med kortere konsentrasjonstid blir dimensjonert av korttidsregn med høyeste regnintensitet (Lindholm & Aune, 1978).
Figur 2-4 illustrerer ulikhetene mellom kasseregn og regnhyetogram. Kasseregnet er firkanten, mens kurven viser hvordan et regnhyetogram ville vært bygget opp. Et slikt hyetogram er vist i figur 4-6.



Figur 2-4 Nedbørsdiagrammer

2.3.4. Nedbørsfelt

Et nedbørsfelt er et område hvor alt regnet som faller renner til samme resipient. Dette kan være vassdrag, innsjøer eller fjorder (Heggstad & Rosvold, 2019). Nedbørfeltenes areal kan variere sterkt i både størrelse og nedbørsmengde. I overvannsberegninger brukes ofte nedbørsfelt i mindre skala. Beregningene blir normalt gjort på felt med en viss størrelse som deretter inndeles i mindre delfelt. Siden alt vannet som faller på de ulike delene av feltet til slutt renner i forskjellige kummer og ledninger er ikke resipienten lenger avgjørende.

2.3.5. Påslippskrav

Trondheim Kommune har i sin VA-norm gitt krav til maks videreført vannmengde og minimumskrav til fordrøyning. Fordrøyd vann er et volum, og videreført vannmengde er vannføringen som strømmer inn til avløpsnettet. Dette blir gjort for å unngå kapasitetsproblemer på avløpsnettet som følge av fortetting og klimaendringer. Alle større utbyggingsprosjekter i kommunen må følge kravene (Trondheim Kommune, 2020).

Kravene blir bestemt ut fra diagrammer i normen. Diagrammene er avhengig av et redusert areal, som er totalt areal på feltet multiplisert med avrenningskoeffisienten. Med det reduserte arealet kan diagrammet brukes til å finne kravene for prosjektområdet.

For hvert område leser man av to verdier. En for maksimal videreført vannmengde og en for minimum fordrøyningsvolum. I kapittel 4.1.3 blir kravene for oppgavens områder regnet ut og nærmere beskrevet.

2.4. Regnemetoder

2.4.1. Den rasjonelle metode

All informasjon om den rasjonelle metode er hentet fra boken: «Vann- og avløpsteknikk» (Ødegaard, et al., 2014, s. 346-351).

For å regne avrenningen fra mindre urbane felt (<20-50ha) er den rasjonelle metode godt egnet. Metoden fungerer som en overslagsberegning for kortere perioder over mindre felt der avrenningen er direkte knyttet til nedbøren som faller. Et eksempel er de kraftige regnskyllene som bygenedbør gir. Regnemetoden er manuell og beskrives av følgende formel:

$$\boldsymbol{Q_{OV} = \varphi * A * I * K_f \; [l/s]}$$

Hvor:

$\boldsymbol{Q_{OV}}$: Overvannsmengde [l/s]

$\boldsymbol{\varphi}$: Avrenningskoeffisient (benevningsløs)

$\boldsymbol{A}$: Areal på nedbørsfeltet [ha]

$\boldsymbol{I}$: Nedbørintensiteten [l/ (s * ha)]

$\boldsymbol{K_f}$: Klimafaktor (benevningsløs)

Avrenningskoeffisient (ϕ)

Avrenningskoeffisienten er et forholdstall mellom regnet som faller på bakken på et felt og mengden vann som renner av feltet. Koeffisienten har en verdi mellom 0 – 1 hvor 1 betyr at alt vannet som faller på flaten vil renne videre. Denne koeffisienten varier sterkt mellom eksempelvis tak og grønne områder. Tette flater som tak og asfalt har en høy verdi siden så godt som all nedbøren renner av, mens grøntområder har en lav verdi siden store deler av vannet infiltrerer ned i grunnen. Valget av avrenningskoeffisient er delvis skjønnsbasert. Avrenningskoeffisientene for Trondheim kan finnes i følgende tabell fra kommunens VA-Norm.

Tabell 2-1 Avrenningskoeffisienter (Trondheim Kommune, 2020)

Type areal	Avrenningskoeffisient Φ
Tette flater (tak, asfalterte plasser/veger og lignende.)	0,85- 0,95
Bykjerne	0,70 – 0,90
Rekkehus-/leilighetsområder	0,60 – 0,80
Eneboligområder	0,50 – 0,70
Grusveier/-plasser	0,60 – 0,80
Industriområder	0,50 – 0,90
Plen, park, eng, skog, dyrket mark	0,30 – 0,50

Areal (A)

Arealet på nedbørsfeltet måles i hektar [ha]. Den rasjonelle metode er best egnet til bruk over mindre areal siden formelen tar utgangspunkt i kasseregn.

Nedbørintensitet (I)

Nedbørintensiteten leses av IVF-kurven. For å finne rett verdi trengs IVF-kurven for riktig lokasjon, ønsket gjentaksintervall og konsentrasjonstiden til feltet.

Konsentrasjonstiden er den lengste tiden vannet bruker fra ytterste punk på feltet til punktet man ønsker å beregne for. Konsentrasjonstid beregnes med følgende formel:

$$\boldsymbol{T_k = T_t + T_s\ [min]}$$

Hvor:

$\boldsymbol{T_k}$ er konsentrasjonstid

$\boldsymbol{T_t}$ er tiden vannet bruker på overflaten på å nå nærmeste sluk

$\boldsymbol{T_s}$ er tiden vannet bruker i ledning.

Strømningstiden på overflaten er knyttet til avstanden vannet renner, regnintensiteten, terrengets utforming og overflaten vannet renner over. I urbaniserte områder er denne tiden ofte antatt et sted mellom 3 og 7 minutter.

Tiden vannet brukes i ledningen finnes ved å anta en hastighet på vannet i. Denne settes ofte lik 1.5-2 m/s. Deretter finnes tiden ved å ta lengden på ledningen dividert på farten.

Videre velges ett gjentaksintervall for regnskyllhyppigheten til området. Høyere gjentaksintervall gir høyere regnintensitet. Verdien bestemmes ut ifra hva slags område det dimensjoneres for. Grunnen til dette er at forskjellige områder påvirkes ulikt ved en eventuell flom. Eksempelvis vil skadeomfanget ved en oversvømmelse i et byområde generelt være høyere enn skadeomfanget ved flom i ubebygde områder.

Tabell 2-2 er hentet fra VA-normen til Trondheim Kommune. Venstresiden viser minimumsverdier for gjentaksintervall for de ulike områdetypene.

Tabell 2-2 Gjentaksintervall fra VA-norm til Trondheim kommune (2020)

Dimensjonerende regnskyllhyppighet (gjentaksintervall[1])	Områdetype	Dimensjonerende oversvømmelseshyppighet (gjentaksintervall[2])
2 år	Ubebygd område	10 år
10 år 20 år	Boligområde Åpent Lukket	20 år 30 år
20 år 30 år	By/sentrumsområde Åpent Lukket	30 år 50 år

Klimafaktor (K_f)

Med nevnte klima– og miljøutfordringer er det blitt vanlig å sette krav til å dimensjonere for mer nedbør enn i dag. Klimafaktoren tar høyde for dette. Faktoren varierer for landets kommuner. Trondheims klimafaktor er en funksjon av varighet på nedbøren og gjentaksintervallet. Verdiene kommunen opererer med er i intervallet 1.3-1.5. Det betyr at det dimensjoneres for 30 til 50 prosents økning i overvannsmengdene fra dagens nivåer. Faktorene for Trondheim er vist i tabell 2-3.

Tabell 2-3 Klimafaktorer fra VA-norm Trondheim kommune (2020)

Varighet	Returperiode < 50 år	Returperiode ≥ 50 år
≤ 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

2.4.2. Summasjonskurvemetoden

Boken «Vann- og avløpsteknikk» er brukt for informasjon om summasjonskurvemetoden (Ødegaard, et al., 2014, s. 351-352).

Summasjonskurvemetoden fungerer ved at hele feltet det skal dimensjoneres for blir delt opp i mindre delfelt. I motsetning til den rasjonelle metode tas det hensyn til når de ulike feltene bidrar til avrenningen. For å gjøre dette måles tilrenningstiden på overflaten fra enden av feltet til et gitt punkt innad på feltet. Dette gjøres for hvert delfelt. Deretter måles strømningstiden til vannet i ledningene på hvert delfelt til det treffer et felles utløp.

For å bruke metoden må arealet (A) og avrenningskoeffisienten (ϕ) bestemmes for hvert felt. Disse multiplisert sammen gir det reduserte arealet (A_{Red}). Med det reduserte arealet kan IVF-kurvene brukes til å finne en tilrenning fra hvert av feltene for ulike tidspunkt.

Ved å holde orden på når de ulike delene bidrar til den totale avrenningen kan det konstrueres en kurve som er en sum av alle delbidragene. Dette er summasjonskurven.

Dette er en manuell metode, men brukes også som grunnlag i enkelte dataprogrammer for overvannsberegninger. Metoden skiller seg fra hvordan EPA SWMM fungerer, som er nærmere beskrevet i 2.7.1.

2.5. Nye holdninger til overvann

Bykommuner i Norge har helt fra det moderne avløpsnettet ble utbygd midt på 1800-tallet hatt ansvaret for avledning av overvann. Overvannet ble sammen med annet avløpsvann ofte ledet ut i vassdrag. Dette førte til at flere vassdrag måtte legges i rør eller lukkes av helsemessige årsaker (Skaaraas, et al., 2015).

Å føre overvannet bort i ledninger ble i over 100 år sett på som en tilstrekkelig løsning for å hindre skader fra overvannet. I 1978 skjedde det en endring. Klima- og forurensningsdirektoratet ga ut nye retningslinjer for håndtering av overvann der det ble bestemt at vannet burde følge naturlige avrenningsveier istedenfor ledninger (Departementenes sikkerhet- og serviceorganisasjon Informasjonsforvaltning, 2015).

I en undersøkelse gjort blant kommunene i 2015 kommer det frem at svært mange av kommunene anser seg som sårbare for overvannsproblemer. Blant kommunene med over 15 000 innbyggere anser opp mot 60 % seg som sårbare eller svært sårbare (Groven, 2015).

Fra 2008 til 2014 arbeidet de 13 største kommunene sammen med staten om et prosjekt kalt «Fremtidens byer». Der ble det blant annet utbedret et planverk for å håndtere vannet i byen. Det skal skje gjennom bedre arealbruk, gjenåpning av bekker og vannveier, bevaring av vegetasjon og flere grønne lunger (Groven, 2015).

Oslo Kommune er Norges største kommune og ligger langt fremme i sitt arbeid for klimatilpasning. De har utarbeidet en overvannsstrategi fra 2013-2030 (Oslo Kommune, u.d.). Her er målene for overvannshåndteringen som følger:

- Møter klimautfordringene og minimerer skader og ulemper på mennesker, bygninger, eiendom og infrastruktur.
- Ivaretar miljøet og sikrer god økologisk og kjemisk tilstand i vannforekomstene.
- Bruker overvann som ressurs i bylandskapet.

Punktene illustrerer hvordan holdningene har endret seg sammenliknet med tidligere. Spesielt siste punkt viser tydelig hvordan man nå ser potensial i overvannet og ønsker å bruke det positivt. Målene blir også konkretisert lenger ned i rapporten. Der nevnes blant annet: identifisering av flomveier, fordrøyningsområder, begrensning av forurensing og at det skal legges til rette for andre overvannstiltak enn de tradisjonelle løsningene.

2.5.1. Treleddsstrategien

Tiltak i moderne overvannshåndtering deles ofte i tre deler. Denne måten å jobbe på kalles for treleddsstrategien. Målet med strategien er at overvannssystemet skal klare å håndtere både normal og ekstrem nedbør på en god måte. Strategien gir også fleksibilitet da enkeltdeler kan endres i takt med nye utfordringer uten at hele systemet må fornyes (Skaaraas, et al., 2015).

De tre stegene i treleddsstrategien er beskrevet under. Informasjonen er hentet fra Miljødirektoratet (2021) og (Lindholm, 2018).

1. Forsinket avrenning gjennom infiltrasjon

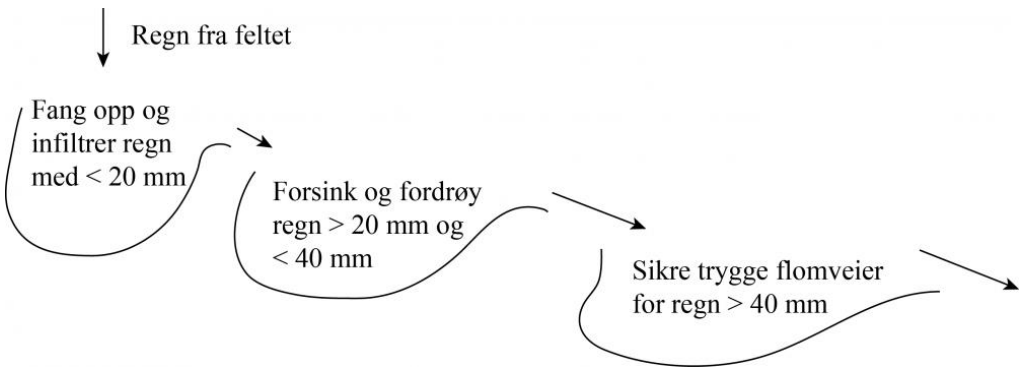
Første steg gjelder for de minste nedbørsmengdene. Da skal overvannet håndteres lokalt og infiltreres ned i bakken. Dette kan f.eks. gjøres med permeable dekker eller økte grøntarealer. Et vanlig måltall er at all nedbør under 20mm skal infiltreres.

2. Forsink avrenning gjennom fordrøyning

Ved høyere regnintensiteter vil normalt ikke infiltrasjonen i steg 1 kunne ta unna alt vannet. Da vil overskuddsvannet føres videre til tiltak som forsinker og fordrøyer vannet. Dette kan eksempelvis være et åpent vannspeil som fylles opp ved kraftigere regnvær. Normen er at trinn 2 slår inn når nedbøren er over 20mm.

3. Trygg avledning til resipient

Ved enda større nedbørsmengder vil det ikke være mulig å holde igjen alt vannet. Da skal trinn 3 sørge for at vannet føres ned planlagte flomveier til områder som kan oversvømmes. Et eksempel er å bruke veigrøfter for å føre vannet til en parkeringsplass som kan holde på større mengder vann, uten store skader. Slike flomveier dimensjoneres ofte for regn over 40mm. Godt planlagte flomveier er viktig for å unngå skader ved ekstreme nedbørshendelser.



Figur 2-5 Treleddsstrategien illustrert, fra norskvann

En utfordring med denne strategien er at de ulike leddene kun bestemmes av regnmengdene. Det betyr at det ikke blir tatt hensyn til intensitet og varighet på nedbøren. COWI anbefaler å unngå begrensninger for hvert ledd avhengig av regnmengder og heller tilpasse kapasiteten i hver del etter lokale forhold (Magnussen, et al., 2015).

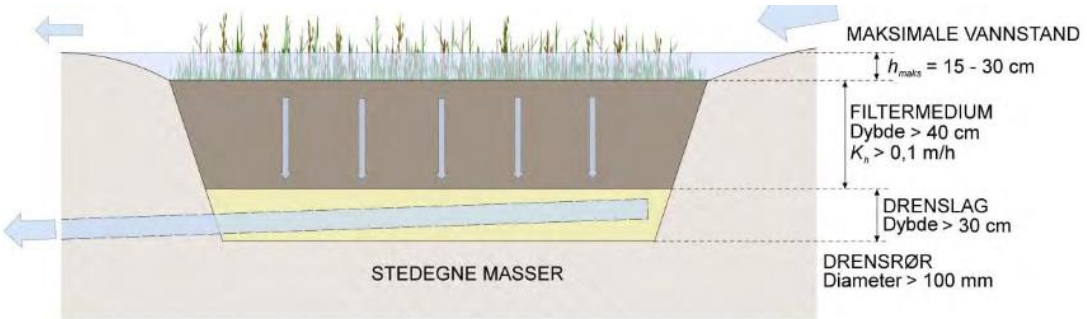
2.6. Overvannstiltak

2.6.1. Regnbed

Regnbed er et LOD-tiltak som fordrøyer og infiltrerer overvann. Bedet er en beplantet forsenkning i terrenget hvor vannet holdes igjen på overflaten før det trekker nedover. Vannet som fanges opp av regnbedet vil infiltrere ned i bakken eller gå i ledning tilknyttet bedet (Paus & Braskerud, 2013).

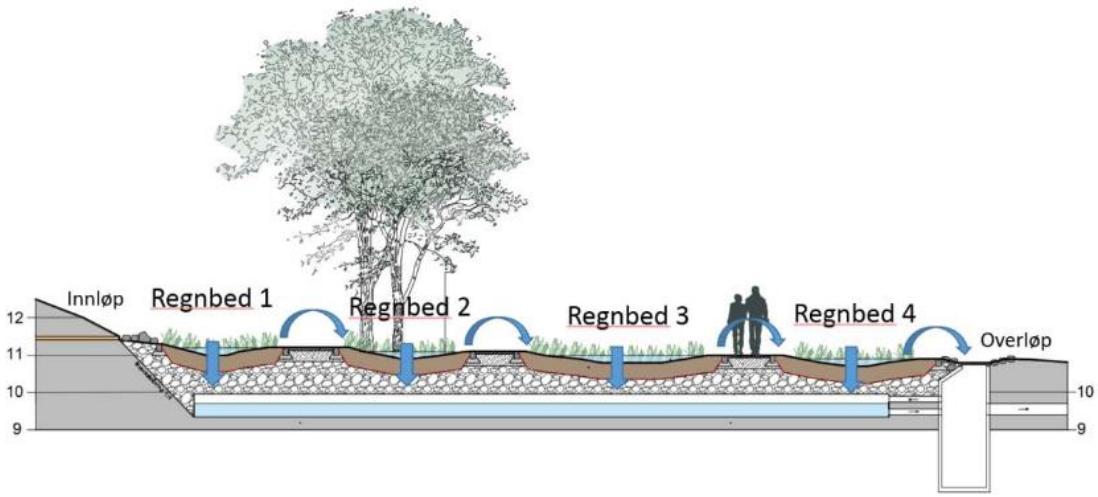
Utformingen av regnbed vil variere noe, men grunnprinsippene er de samme. Topplaget til bedet vil være en form for vegetasjon med mulighet til mindre vannspeil. Under topplaget vil det være et filtermedium med god infiltrasjonskapasitet, for eksempel sandrik jord. Dersom de stedlige massene har god nok kapasitet kan disse brukes, hvis ikke må det tilføres utenfra. I bunnen kan det legges et drenslag med tilhørende ledning dersom grunnen ikke har ønsket infiltrasjonskapasitet (NGU, 2021). Det vil i tillegg være hensiktsmessig å kartlegge vannveier slik at man på forhånd kan bestemme hvor vannet bedet skal ta opp kommer fra.

Figur 2-6 viser en standard oppbygning av et regnbed med forslag til tykkelser på de ulike lagene (Paus & Braskerud, 2013).



Figur 2-6 Oppbygning av regnbed (Paus & Braskerud, 2013)

Plasseringen av bedet bør gjøres i nærheten av tette overflater. Disse områdene vil tilføre bedet sitt overvann. Helningen på bedene bør holdes under 5% for å unngå erosjon fra vannet (NGU, 2021). Hvis etableringsområdet tillater det, vil det være hensiktsmessig å konstruere serieoppstilte bed med sluk til ledningsnett i enden. Dette gjør at vannet som ikke infiltreres i det første bedet vil renne til bed nummer to og eventuelt videre. Ledningsnettet vil da få mindre vann fra overflatene. Figur 2-7 er fra en fagrapport om overvann og viser prinsippet bak serieoppstilte regnbed (French, et al., 2020). Her renner vannet fra venstre til høyre og er innom opptil fire bed før det går i ledning.



Figur 2-7 Serieoppstilte regnbed (illustrasjon: Stener Sørensen AS) fra (French, et al., 2020)

2.6.2. Grønne tak

Grønne tak på bygg fungerer ved at vegetasjonen på takene infiltrerer mindre mengder vann og forsinker avrenningen ved mer intense nedbørshendelser. All informasjon er hentet fra en rapport om grønne tak av Braskerud (2016) og takringen.no (Takringen, u.d.).

Takene deles naturlig opp i 3 kategorier: ekstensive, intensive og semi-intensive.

Ekstensive tak er grønne tak med fortrinnsvis sedumarter eller andre selvforsørgende planter. Taket har lav vekt og tåler mye vær. Den hardføre beplantningen som vokser fører også til mindre vedlikeholdsbehov. Disse egenskapene gjør denne typen tak ofte aktuell på bygg som ikke er dimensjonert for grønne løsninger på takene.

Intensive tak har mer variasjon enn ekstensive. Beplantningen kan variere og tykkelsen på vekstmediet er større. Slike tak forsinker og fordrøyer overvannet mer enn ekstensive tak. Ulemper er høy vekt og større krav til vedlikehold. Intensive tak gir ofte god visuell effekt og gir mulighet for utendørs oppholdsareal.

Semi-intensive tak er en hybridløsning mellom de overnevnte. Tykkelsen på taket ligger i området 10-20 cm.

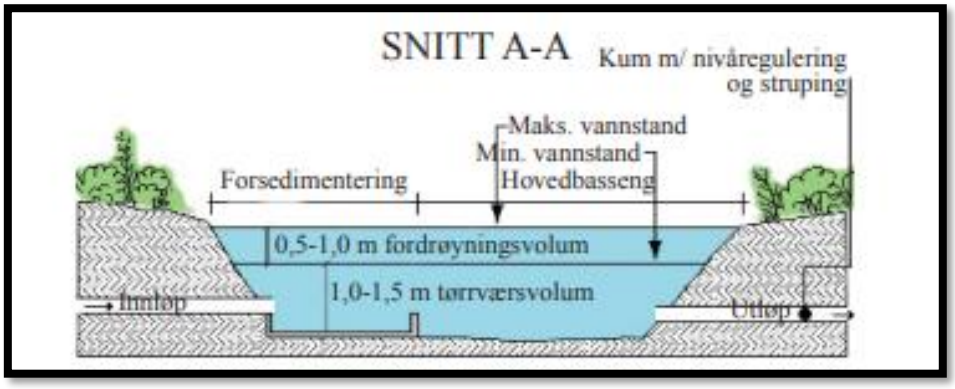
Grønne tak er bygd opp med et vekstlag på toppen. Under vekstlaget ligger vekstmediet. Vekstmediets tykkelse dimensjoneres etter taklast og bærekonstruksjon. Deretter legges det ett drenerende sjikt som hindrer potensielle fuktskader og fører vannet til takrennene. Vekten på takene i mettet tilstand varierer fra 40-130 kg/m^2 for ekstensive tak og 240-900kg/m^2 for intensive tak.

2.6.3. Fordrøyningsbasseng

Fordrøyningsbasseng er et tiltak som brukes for å forsinke avrenning til nedenforliggende områder og ledninger. Bassenget vil fange opp vannet som renner naturlig mot det, lagre det og sende dimensjonert mengde videre. Slike bassenger kan også kombineres med infiltrasjon i bakken. Dette vil i mange tilfeller gi den beste løsningen da infiltrasjon reduserer tilførselen av vann på ledningsnettet (NGU, 2021).

Størrelse og utforming på bassenget vil variere. Alt fra mindre fordypninger til hele områder man lar oversvømme. Bassengene kan også deles opp i tørre og våte fordrøyningsvolum. Våte fordrøyningsvolum har permanente vannspeil, mens tørre volum kun blir våte ved nedbørshendelser (Stiftelsen VA/Miljø-blad, 2008).

Dammer med permanente vannspeil fungerer ved at de tar imot vann som renner til det og slipper ut samme mengde vann fra forrige gang det regnet. Vannet renses under oppholdstiden. Figur 2-8 er hentet fra va-blad.no og viser mulig oppbygning av slike dammer (Stiftelsen VA/Miljø-blad, 2008). Her er innløpet vist som et rør i bakken. Dette kan kombineres med tilrenning fra overflaten.



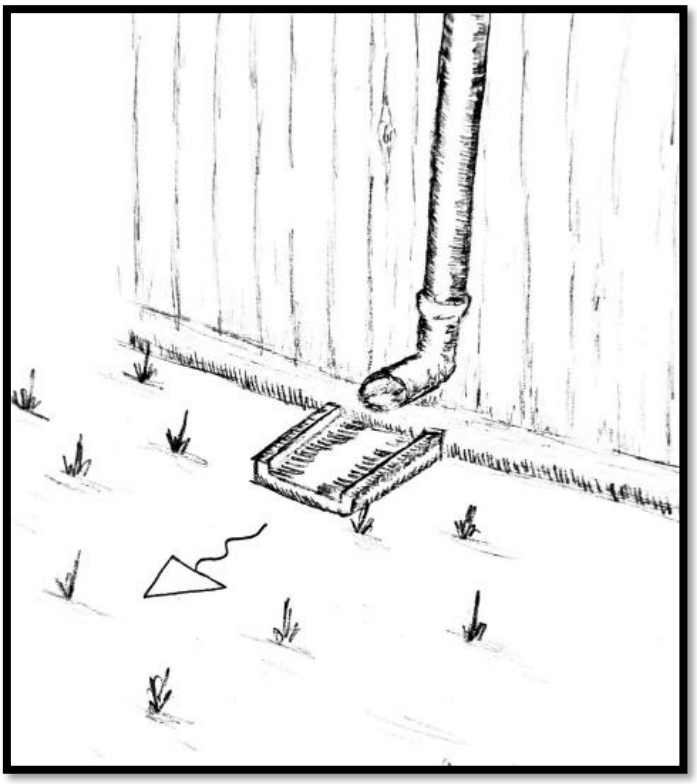
Figur 2-8 Fordrøyningsbasseng (Stiftelsen VA/Miljø-blad, 2008)

Rensingen gjennom oppholdstid er en av de store fordelene med våte fordrøyningsvolumer. Dette kan skje ved sedimentering, opptak gjennom planter, eller at partiklene kleber seg til overflatene. Utformingen av bassenget vil være med å bestemme rensegraden. I Oslo er det gjennomført forsøk som har vist gode renseresultater, også sammenliknet med internasjonale tall. Denne rensingen fungerte også om vinteren (Stiftelsen VA/Miljø-blad, 2008).

2.6.4. Takrenne-avkobling

Takrenner er i dag ofte direkte koblet til avløpsnettet. Med takrenne-avkobling bryter man denne koblingen og lar vannet fra takrennene renne på grunnen. Når vannet ikke lenger blir direkte påført ledningsnettet har det muligheten til å infiltrere ned i grunnen så lenge massene har tilstrekkelig infiltrasjonskapasitet. Blir ikke vannet infiltrert kan det ledes til et sluk lenger unna og dermed øke tiden på overflaten og forsinke avrenningen. Å koble fra takrennene blir regnet som et av de enkleste og rimeligste tiltakene for å minske skadelig avrenning fra tak (Braskerud & Skallebakke, 2013).

Figur 2-9 viser et eksempel på hvordan en plate kan legges ved utløpet for å lede vannet vekk og hindre erosjon på bakken.



Figur 2-9 Håndtegning taknedløp

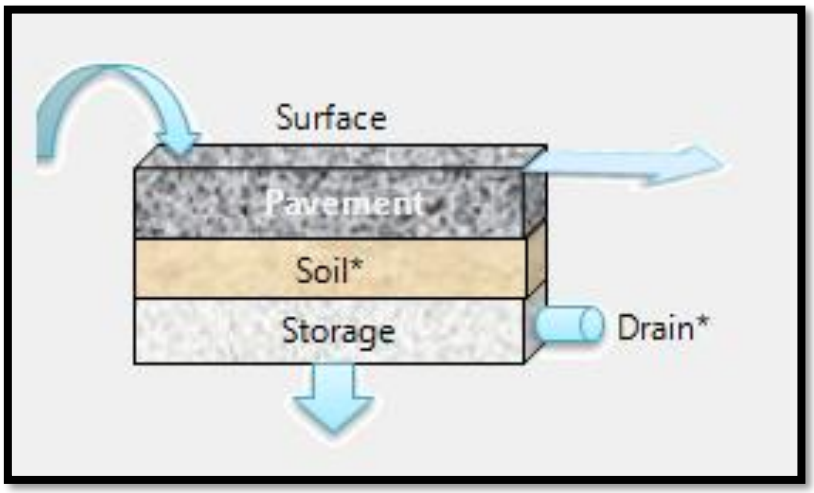
2.6.5. Permeable dekker

Permeable dekker er en løsning der målet er å infiltrere vannet som faller på dekket istedenfor å sende det videre. Dette går direkte inn på første steg av treleddsstrategien. Permeable dekker kan utformes på ulike måter, men en vanlig løsning er en form for heller. Hellene kan legges i ulike former og mønstre.

Konseptet fungerer ved at dekket utformes slik at vannet kan trenge gjennom fugene eller hulrommene. Etter gjennomtrenging blir vannet tatt opp av massene på undersiden før det sendes videre ved hjelp av infiltrasjon eller planlagt drensvei (Asak Miljøstein, u.d.).

Permeable dekker har blitt brukt med stort hell i utlandet i en årrekke. I Norge er det lagt ut prøveområder for å vise effekten under norske forhold og de foreløpige resultatene er positive. I dag kan infiltrasjonskapasiteten for permeable dekker settes til 1000 l/s*ha. Dette er en høy verdi. Verdien avhenger av massene som brukes i oppbygningen (Asak Miljøstein, u.d.).

Figur 2-11 er en illustrasjon fra EPA SWMM som illustrerer oppbygningen. Her vises selve dekket øverst med et permeabelt lag under og muligheten for et drenert fordrøyningsvolum nederst.



Figur 2-10 Permeable dekker, utklipp fra EPA SWMM

2.6.6. Infiltrasjonskum

Infiltrasjonskummer er kummer som infiltrerer overflatevannet. I motsetning til standard-kummer er de tilrettelagt for at vannet som kommer inn i kummen kan infiltrere ned i grunnen istedenfor å gå direkte på avløpsnettet. Infiltrasjonskummer bidrar i tillegg med volumet sitt som fordrøyningskapasitet (Storm Aqua, u.d.).

Løsningen med infiltrasjonskummer har den fordelen at selve infiltrasjonen finner sted under bakken. Dette gjør løsningen arealeffektiv og aktuell der det er lite plass tilgjengelig. Legges kummen i frostfri dybde vil også effekten være god i vinterhalvåret da det fortsatt vil kunne infiltrere ned i bakken (Aas, 2017).

2.6.7. Flomveier

Når nedbørsmengden i et område blir svært stor er man over på tredje trinn i treleddsstrategien. Da er det nødvendig med planlagte flomveier som fører vannet til resipient med minst mulige negative konsekvenser.

Flomveier kan være bekkedrag, veier, eller andre åpne områder. Hva som vil være den beste veien for vannet å renne vil variere fra felt til felt, men det er fordelaktig at dette blir vurdert tidlig i planprosessen. Dette vil normalt gi de beste løsningene.

Ved ytterligere urbanisering i eksisterende felt kan flomveiene potensielt endre seg. Dette kan forårsake store skader. Når vannet ikke har noen sted å gå kan det oppstå oversvømmelse av veier, vannskader i kjellere til hus og erodering av grunnen (Skrede, 2020).

Dersom det ikke er planlagt flomveier for kraftige nedbør vil vannet lage sin egen vei. Dette kan føre til uheldig situasjoner. Figur 2-11 viser en slik situasjon i Bærum.

Figur 2-11 Flom i Benedikts vei, Bærum. Foto: Bærum kommune (2020)

2.6.8. Åpne vannveier

Åpne vannveier innebærer grøfter, renner og overvannskanaler, og er ofte et godt alternativ til et lukket system. Slike løsninger kan utformes med permeable materialer for økt lokal infiltrasjon. Grøftene eller rennene kan også utformes slik at en bestemt vannmengde blir stående. Dette gjør at mer vann infiltreres og fordamper. Et aktuelt tiltak kan være å strupe eller tette et sluk og la vannet renne åpent videre til neste sluk. Dette øker tilrenningstiden, noe som er et mål i seg selv (Ødegaard, et al., 2014, s. 359-360).

Vannveier i dagen kan i tillegg bidra positivt til området som helhet. Overvannshåndteringen blir synlig for befolkningen og kan skape et bedre utemiljø. Riktig utforming kan også bidra estetisk. Samtidig kan det oppstå utfordringer for områder med slike løsninger. Det kan innebære forsøpling, vedlikeholdsbehov og redusert fremkommelighet (Ødegaard, et al., 2014, s. 360-361).

2.6.9. Bekkeåpning

Lukking av bekker har tidligere vært normen i Norge. Vannet ble lagt i rør og ført ut av syne. En reversering av denne prosessen vil i mange tilfeller bidra til en bedre løsning for vannmengdene. Dagens norm er åpning av lukkede vannføringer.

De små bekkene som i dag ligger i rør tilhører normalt små nedbørsfelt. Det kan innebære høye flomtopper under lokale styrtregn da små felt med kortere tilrenningstid og mindre kapasitet er mer utsatt enn store felt. En åpen løsning vil gi høyere kapasitet og fungere som en flomdemper for området. For å maksimere denne effekten kan bekken tilpasses slik at terskler og fordypninger øker den fordrøyende effekten (Hauge, et al., 2006).

Bekkeåpninger bidrar også positivt for området som helhet. Det får vannet frem i dagen og er til glede for mennesker.

Figur 2-12 Ilabekken i Trondheim (Foto: SINTEF) fra (Rambæk, 2021)

2.6.10. Tradisjonelle løsninger

Dersom ledningssystemene ikke har kapasitet til å lede vekk overvannet kombineres det ofte med nedgravde fordrøyningsvolum. Etter samtaler med Rambøll ble det klart at de tradisjonelle fordrøyningsløsningene som er mest aktuelle i dag innebærer plastkassetter eller rørmagasiner.

Plastkassetter er fleksible enheter som kan settes sammen til ønsket volum. Volumet fordrøyer vannet og sender ønsket mengde videre på nettet. Ved installasjon blir ønsket volum gravd opp og kassettene satt sammen. Løsningen er fleksibel i form av at den fungerer for alle grunnforhold, krever ikke overflateareal og tåler mye last (Wavin, 2020). Et eksempel på et slikt anlegg er under den nye arenaen til Vålerenga. Størrelsen på dette fordrøyningsanlegget er på 1033 m^3 (Wavin, u.d.)

Rørmagasiner er større nedgravde rørvolum hovedsakelig av betong. Rørene vil ta imot mengden med overvann som renner inn og sende dimensjonert mengde videre. Fordrøyningsanlegg under bakken kan utformes på flere måter og med ulik kapasitet. Dette gir en robust løsning med forutsigbar kapasitet (Basal, u.d.).

2.7. Dataprogrammer

Det har blitt tatt i bruk flere typer programvare i prosjektet. De er brukt i ulik grad og har forskjellige bruksområder. Programmene er brukt til simulering, visualisering, oppmåling og konstruksjon av tegninger.

2.7.1. EPA SWMM

EPA SWMM har en håndbok som beskriver hvordan programmet fungerer, samt nødvendig parametere for å foreta simuleringer. Forklaringer er hentet fra håndboken (Rossman & Simon, 2022).

Storm Water Management Model (SWMM) er et dataverktøy utviklet av Environmental Protection Agency (EPA) i USA. Programmet brukes til å foreta hydrologiske og hydrauliske simuleringer av overflateavrenning, strømning i rør, rensegrad og mer.

I korte trekk fungerer programmet ved at man legger inn klimatologiske og hydrologiske verdier som knyttes til konstruerte nedbørsfelt. Programmet beregner deretter overflateavrenning og strømning i modellen. De viktigste komponentene er nærmere beskrevet nedenfor.

Subcatchments

Delområdene som representerer nedbørsfeltene kalles i EPA SWMM for *subcatchments*. Områdene tegnes opp i programmet og gis flere parametere. De mest sentrale er: %Imperv, width og slope.

%Imperv angir feltets prosentandel med impermeable flater. Denne prosentverdien legges inn i hvert felt og må justeres dersom det plasseres LOD-tiltak til fordel for ugjennomtrengelige flater. Et eksempel er omgjøring av vanlig takkonstruksjon til grønne tak. Endringen i prosentverdi for ugjennomtrengelige flater regnes ut slik:

$$\varphi = \frac{(1 - \text{Øk}) * \text{Ø}}{100 - \text{Øk} * \text{Ø}}$$

Hvor:

φ = Nedbørfeltets nye ugjennomtrengelighet i prosent

Øk = Andel impermeable flater som konverteres til permeable flater

Ø = Opprinnelig andel impermeable flater i prosent

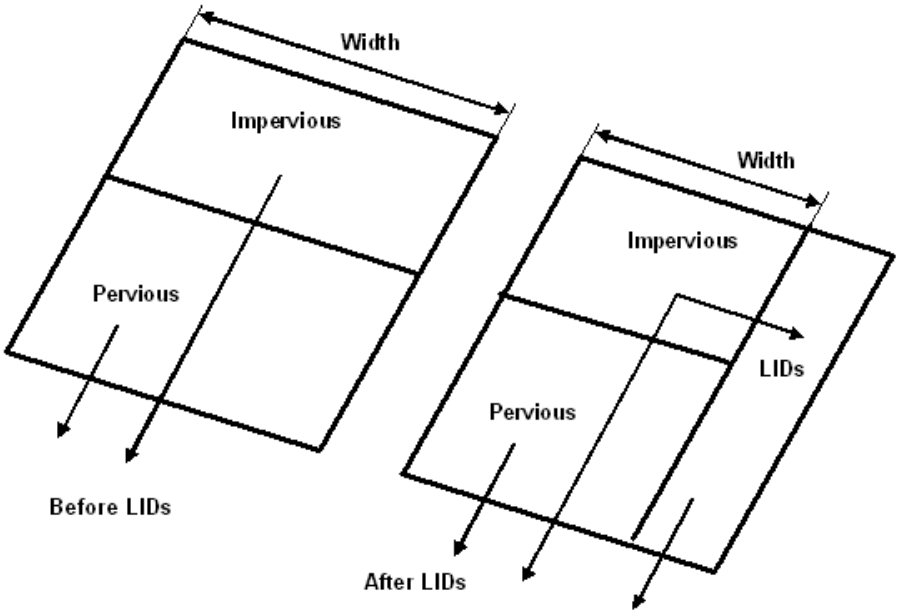
Parameteren *width* i EPA SWMM, eller bredde, er en hydraulisk verdi som finnes ved å ta arealet til delfeltet delt på den hydrauliske lengden. Det gir følgende likning:

$$Width = \frac{areal\ delfelt}{hydraulisk\ lengde}$$

Den hydrauliske lengden finnes ved å anslå hvor langt vannet må renne på overflaten før det treffer ett sluk.

Ved plassering av LOD-tiltak krever EPA SWMM at parameteren *width* endres. Endringen kan tilnærmes på følgende måte. Andelen av delfeltet dekket av LOD-tiltak ble regnet ut i prosent. Deretter ble den samme prosentverdien trukket fra den opprinnelige bredden. Eksempelvis: Et delfelt har et areal på 100m^2 med en *width* på 40m. Det legges inn LOD-tiltak som dekker 25% av feltet. Widthen på 40m reduseres deretter med prosenten LOD-tiltak utgjør av feltet slik at ny width blir: 40m * (1-0,25) = 30m.

Figur 2-13 illustrerer endringen i *width* med LOD-tiltak.



Figur 2-13 Width konsept, utklipp fra EPA SWMM

Andre parametere som helning og areal legges inn i EPA SWMM. Helningen til delfeltet settes som en gjennomsnittlig verdi basert på den lengste avstanden på feltet delt på største høydeforskjell.

Links

Links (ledninger) i EPA SWMM er transportkanaler for vann. Ledningene tegnes fra node til node. De simulerer ledninger eller kanaler som frakter vann. Tverrsnittet og lengden tilpasses transportkanal som simuleres. EPA SWMM regner ut strømning i ledningene med en av følgende metoder: *Steady Flow, Kinematic Wave og Dynamic Wave*. Hver av metodene har ulike forutsetninger for utregning.

Nodes

Modellen i EPA SWMM kan velge to ulike noder. *Junction node (kryssnode)* og *outfall node (utfallsnode)*. Kryssnoden fungerer som et sluk eller en kum og kan ta imot flere ledninger. Nodens viktigste parametere er kotehøyde og høyde fra bunn til topp.

Utfallsnoden er det endelige punktet for vannet som ledes dit. Utfallsnoden kan for eksempel simulere en resipient eller utløp. Kun én ledning kan føres til denne noden.

Rain gage

Rain gage er en nedbørmåler som kobler nedbørdata mot nedslagsfeltet. Det velges også et nedbørformat basert på hva slags data som legges inn i programmet. Nedbøren måles enten i volum, intensitet eller kumulativt over valgt tidsperiode. En modell kan ha flere nedbørmålere, men ett nedslagsfelt kan kun kobles opp mot en nedbørmåler.

LID-Controls

For å simulere effekten av blågrønne tiltak må tiltakene dimensjoneres. Dette gjøres i fanen *LID-Controls*. De ulike tiltakene EPA SWMM tilbyr er:

- *Regnbed med fordrøyningskammer og drenering*
- *Regnbed uten drenering*
- *Grønne tak*
- *Infiltrasjonsgrøft*
- *Permeable dekker*
- *Regntønne*
- *Takrenneavkobling*
- *Vegetasjonskledd, åpen kanal*

Etter at tiltakene er dimensjonert kan de plasseres inn i nedslagsfeltene. Enten som sitt eget delfelt eller som en prosent av et allerede eksisterende delfelt.

2.7.2. AutoCAD

AutoCAD er et modellerings– og tegneprogram utviklet av Autodesk. I denne oppgaven er AutoCAD brukt til å måle opp arealer på prosjektområdet, samt hente ut relevant data fra digitale tegninger gitt av Rambøll.

2.7.3. QGIS

QGIS er et geografisk informasjonssystem (GIS) der kartdata kan redigeres og analyseres. Programmet er brukt til å lage illustrasjoner.

2.7.4. FlomKuben

FlomKuben er et dataprogram fra 7Analytics som gjør det mulig å simulere hvordan overflatevann oppfører seg. Flomkuben bruker blant annet kunstig intelligens for å beregne overflatevann (7Analytics, 2020). Programmet ble presentert for gruppen av 7Analytics. De gjorde gruppen kjent i programmet som hovedsakelig ble brukt til å produsere illustrasjoner over flomveiene på prosjektområdet, vist i kapittel 3.1.4.

3. NTNU Campussamling

NTNU har et ønske om å samle flere fagmiljø til én felles campus på Gløshaugen innen 2029 (NTNU, u.d.). Arkitektillustrasjon gitt av Rambøll, vist i vedlegg F2, viser fremtidig plan for prosjektområdet. Prosjektet er på en stor skala med mange involverte aktører. Deriblant byggherre Statsbygg og ulike konsulentfirmaer som Rambøll.

For å gjennomføre prosjektet trengs det flere nye bygg, samt utbygging av eksisterende bebyggelse. Dette fører med seg et behov for renovering av VA-infrastrukturen, inkludert håndteringen av overvannet. Dagens situasjon for overvannet er beskrevet nedenfor.

3.1. Overvannshåndtering på campus

3.1.1. Dagens situasjon

VA-infrastrukturen på prosjektområde er varierende. Enkelte deler av nettet er rehabilitert i senere år, men store deler er fortsatt eldre fellessystem. Fellessystem er beskrivelsen for avløpsnett der spillvannet og overvannet går i samme ledning. I løpet av årene har campus Gløshaugen blitt bygget ut med kun mindre endringer i VA-infrastrukturen.

Selve platået på Gløshaugen består i stor grad av ulike ugjennomtrengelige flater som takkonstruksjoner og asfalt, men har også mindre grøntområder der vann kan infiltrere ned i grunnen. Gruppen er ikke kjent med at det finnes blågrønne løsninger på området. Det betyr at overvannet hovedsakelig blir ført ned i sluk. Med unntak av vannet som fordamper, infiltrerer eller blir liggende på overflaten.

3.1.2. Ledningsnett

Dagens ledningssystem på prosjektområde er omfattende. I møte med Rambøll kom det frem at eierskap og ansvar for de ulike ledningene og systemene er under diskusjon i forbindelse med utbygging. Dette skyldes at et skille mellom de private ledningene til NTNU og de offentlige ledningene fra kommunen.

Hovedsakelig består feltet i dag av et aldrende fellessystem med enkelte ledninger som daterer helt tilbake til begynnelsen av 1900-tallet.

Endringer som burde nevnes er rehabiliteringen av fellessystemet nord-vest på område i 2017 og nye overvannsledninger langs høgskoleringen som ble lagt i 2018. Overvannsledningene ble lagt for å minke belastningen på fellessystemet.

3.1.3. Nedslagsfelt

For å kunne lage en god modell over prosjektområdet er man avhengig av en oversikt over de ulike nedslagsfeltene. Gløshaugen ligger høyt i terrenget med naturlige forutsetninger for avrenning.

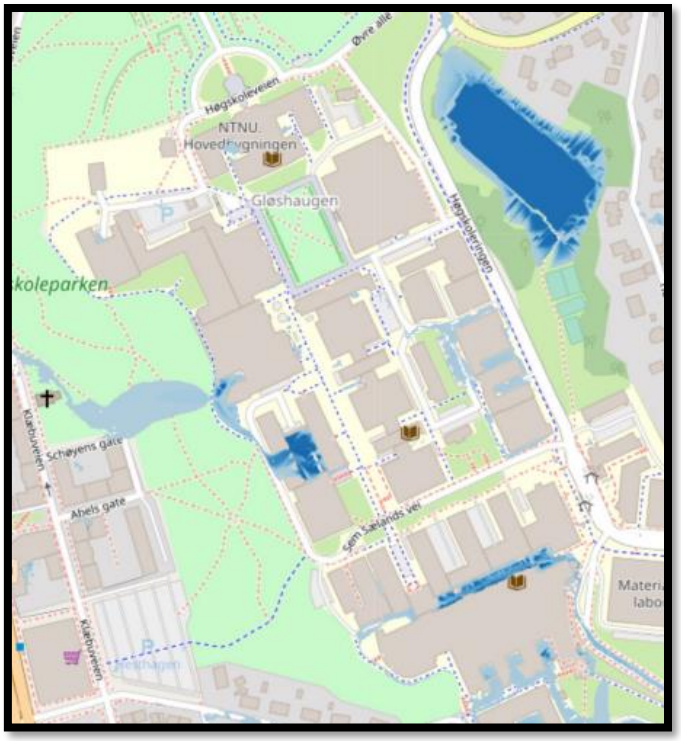
Prosjektområde på Gløshaugen er delvis omringet av Gløshaugsparkens store arealer med plen. Disse områdene ligger med fallende helning fra prosjektområde. Grøntområdene ble ikke tatt med i konstrueringen av nedslagsfelt da de hadde gitt en mye lavere ugjennomtrengelighets-prosent til feltene. Dette er et valg som vil ha innvirkning på overvannsberegningene.

Nedslagsfeltene til området er delt opp i fire med varierende størrelser. I kapittel 4.1.1 er metoden og bakgrunnen for inndelingen nærmere beskrevet sammen med kart over inndeling i figur 4-5.

3.1.4. Flomveier

Prosjektområde ligger på en høyde nær Trondheim sentrum og med resipienten Nidelva nedstrøms i nordlig og vestlig retning. Overflatevann som renner oppe på platået renner gjennom enkelte gangveier og ut mot prosjektområdets kanter i nord, vest og øst. Ferdselsårene Høgskoleveien i nord, Høgskoleringen i øst og Elgeseter gate i vest vil virke som flomveier.

Det er tett bebyggelse i vest og nord fra område som kan være utsatt for flom ved store regnskyll. Overflatevannet som samles opp på prosjektområde bør føres vekk uten at infrastruktur og annen bebyggelse blir påvirket. Per dags dato fører de største flomveiene ned til Dødens dal i øst og til Døvekirka i vest.



Figur 3-1 Akkumulering av overvann, utklipp fra Flomkuben

Figur 3-1 viser hvor overvannsmengder samles opp etter nedbør. Flomkuben bruker geodetisk høydedata til å visualisere samlingen av vann. Figur 3-2 viser hvordan vannet vil renne på området.

Figur 3-2 Flomkart over prosjektområdet, utklipp fra Flomkuben

4. Metode

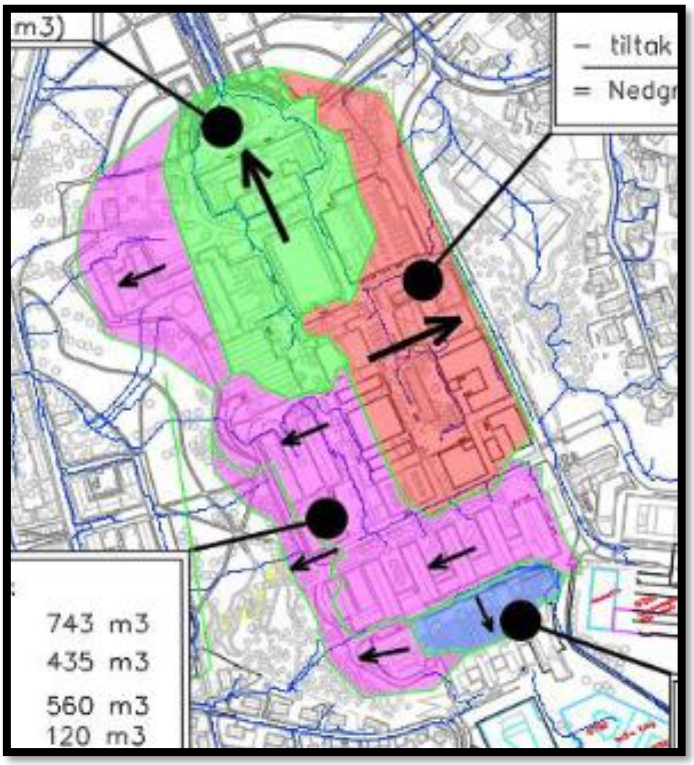
I dette kapittelet er fremgangsmåtene brukt av gruppen beskrevet.

4.1. Datainnsamling

4.1.1. Kartdata

For å lage modellen var det nødvendig med kartgrunnlag. Gruppen fikk tilsendt en arkitekttegning av Rambøll over fremtidig situasjon i DWG-format. Denne ble brukt som grunnlag for oppmåling av arealer på feltene. Tegningen er vist i vedlegg F2.

Prosjektområdet er delt inn i mindre nedbørsfelt. Nedbørsfeltene er basert på et avrenningskart presentert av Rambøll. Utklipp er vist i figur 4-1. Metoden for inndeling av nedbørsfelt er beskrevet i kapittel 4.2.



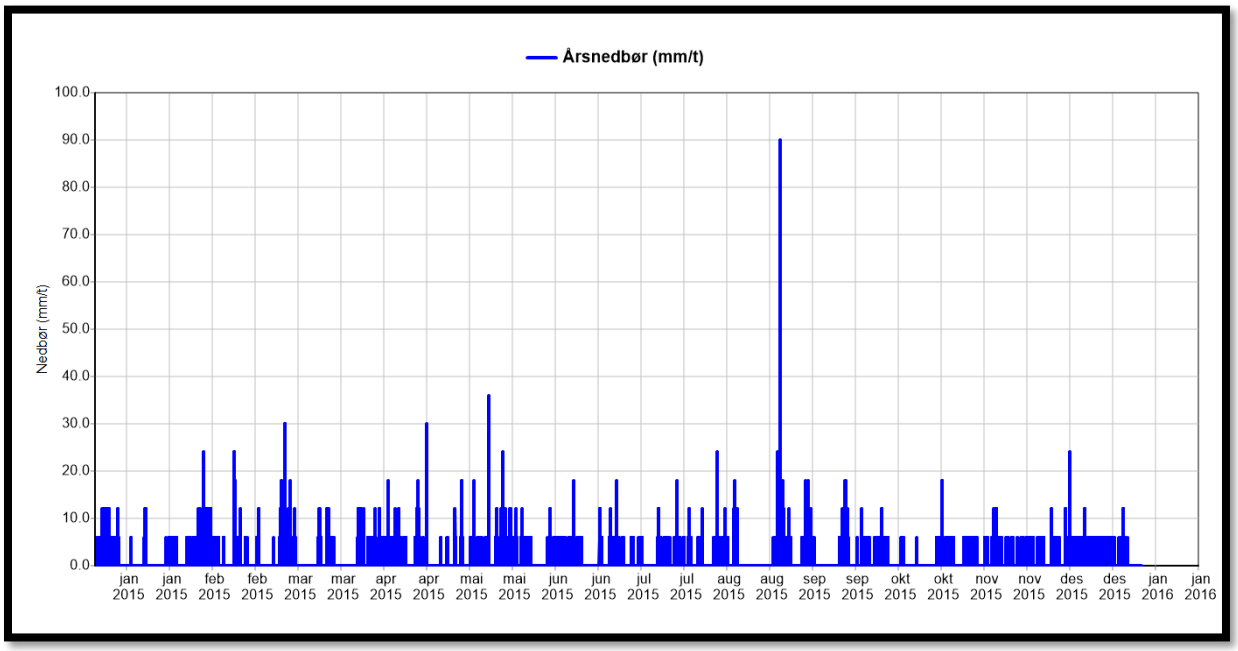
Figur 4-1 Feltinndeling basert på avrenning, Rambøll

For å få en oversikt over ledningsnettet fikk gruppen tilsendt et omfattende ledningsnett over store deler av Trondheim som DWG-fil. Oppgaven fokuserer i liten grad på ledninger, men kartet ble brukt under oppbygningen av modellen. Det var nødvendig for å danne et bilde av området og skape forståelse for situasjonen.

4.1.2. Hydrologisk data

Nedbørdataene som velges for modellen er en stor del av resultatet. Avhengig av hva man ønsker å undersøke og dimensjonere for brukes ulike type nedbørsdata. I denne modellen er det brukt to ulike typer nedbør. Historisk nedbør fra Trondheim for 2015 og et dimensjonerende timesregn. Timesregnet bruker data fra VA-normen og er konstruert for hånd. Fremgangsmåten er vist i kapittel 4.2.4.

Regnintensiteten (mm/t) for 2015 er presentert i figur 4-2. Her har EPA SWMM selv beregnet intensitetene. Datasettet inneholder mengde (mm) og tid. Som figuren viser kom det i August en nedbørshendelse med betydelig høyere intensitet enn resten av året.



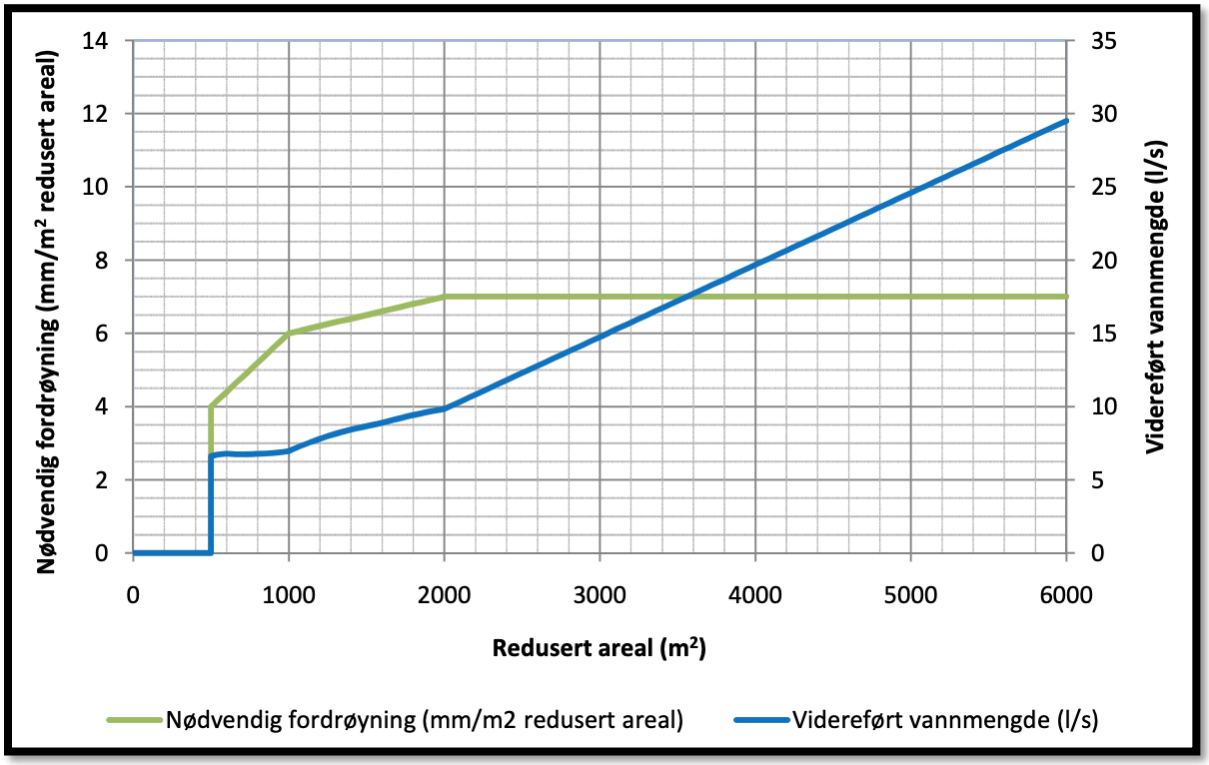
Figur 4-2 Nedbørsdata 2015 [mm/t]

4.1.3. Utregning av påslippskrav

For å ha et utgangspunkt å sammenlikne resultatene fra simuleringene mot ble det regnet ut hvor store mengder vann som kunne slippes videre på ledningsnettet.

Trondheim Kommune har som tidligere nevnt krav til maks videreført vannmengde og minimumskrav til fordrøyning (Trondheim Kommune, 2020). Mengdene avhenger av om det er fellessystem eller separatsystem. Det er valgt å legge diagrammet for separatsystem til grunn, da det antas at ledningene vil bli separert. Ledningene på prosjektområde er tidligere beskrevet i kapittel 3.1.2.

Diagrammene fra VA-normen for separatsystem er vist i figur 4-3. Her er blå strek maks videreført vannmengde og leses av på høyre side i diagrammet. Nødvendig fordrøyning er grønn strek og leses av på venstre side.



Figur 4-3 VA-norm, Trondheim kommune (2020)

Alle feltenes reduserte areal er i prosjektområdet større enn skalaen som finnes for redusert areal da denne kun går til 6000 kvadratmeter. Etter dialog med Trondheim Kommune kom det frem at normal praksis er å sette nødvendig fordrøyning konstant på 7 [mm/m^2] og la maks videreført vannmengde følge den lineære stigningen.

Tallene for de ulike område ble regnet ut med følgende fremgangsmåte:

- Det ble estimert et stigningstall på den blå grafen på 213 [m^2/(l/s)]. Dette betyr at tillatt maks videreført vannmengde vil øke med 1 [l/s] når det reduserte arealet øker med 213 [m^2]
- Deretter ble det estimert en avrenningskoeffisient (φ) for hvert delfelt i alle modellene basert på de oppmålte arealene. Det reduserte arealet ble så funnet ved å multiplisere φ med totalt areal.
- Maks videreført vannmengde ble ved hjelp av stigningstallet og det reduserte arealet beregnet for alle felt.
- Minimumskrav til fordrøyning ble regnet ved å ta 0.007 (m/m^2) ganget med det reduserte arealet. Her er mm endret til m.

Resultatene for hvert av feltene er vist i tabell 4-1, 4-2 og 4-3 for henholdsvis Modell I, II og III. Grunnlag for utregning ligger i vedlegg B1, B2 og B3. Kravene grafen gir avhenger av endring i mengden grønne områder. Mer grønt gir en lavere avrenningskoeffisient, som gjør at man havner lenger mot venstre diagrammet. Det gir mildere krav til fordrøyningsvolum og strengere for den viderførte vannmengden. Den viderførte vannmengden blir videre kalt Q_maks.

Tabell 4-1 Viderførte vannmengder og minimum fordrøyningskrav, Modell I

Område	Q_maks[l/s]	Krav til fordrøyning [m^3]
S1	103	152
S2	124	184
S3	218	324
S4	31	45

Tabell 4-2 Viderførte vannmengder og minimum fordrøyningskrav, Modell II

Område	Q_maks[l/s]	Krav til fordrøyning [m^3]
S1	88	129
S2	95	140
S3	185	274
S4	27	40

Tabell 4-3 Videreførte vannmengder og minimum fordrøyningskrav, Modell III

Område	Q_maks[l/s]	Krav til fordrøyning [m^3]
S1	95	141
S2	113	167
S3	207	308
S4	28	40

4.1.4. LOD-data

Det ble tidlig valgt å begrense antall LOD-tiltak i modellen for å redusere oppgavens omfang. Tiltakene som ble valgt å simulere er: regnbed med magasin, grønne tak (ekstensive og intensive) og permeable dekker. Tiltakene har mange ulike parametere som må bestemmes.

Grunnlaget for valg av parameterne er hentet fra ulike kilder. Det er i stor grad forsøkt å basere seg på eksisterende løsninger som tilbys i dag. En del av kildene er derfor kommersielle aktører. Dette ble gjort for å gjøre tiltakene realistiske. Mange av parameterne er svært tekniske og ikke noe gruppen prioriterte. Det er derfor brukt noen standardverdier fra ulike manualer og anbefalinger fra EPA SWMM. Enkelte av verdiene er valgt av gruppen.

I tabell 4-4 til 4-7 vises parameterne gruppen mener er mest interessante. De er ikke for tekniske og er sentrale i oppbygningen. Fullstendig liste over parametere ligger i vedlegg E6, E7, E8 og E9.

Regnbed

For regnbed er følgende parameter presentert:

- **Berm Height:** Hvor høye tersklene rundt bedene er.
- **Surface Roughness:** En konstant som forteller hvor lett vann renner på underlaget.
- **Thickness (soil):** Tykkelse på jordlaget.
- **Porosity:** Porøsitet til jorden. Forholdstall som forteller hvor mye «ledig plass» det er. 0.5 betyr 50 % hulrom som blir ledig plass for vannet.
- **Conductivity:** Hydraulisk konduktivitet. Viser hvor raskt vannet kan bevege seg gjennom jordlaget.
- **Suction head:** Jordens sugehøyde, hvor langt vannet kan trenge seg opp i jorden nedenfra.
- **Thickness (storage):** Tykkelse på laget under jordlaget som kan holde på vannet.
- **Flow coefficients:** Parameter tilknyttet dreneringshastigheten.
- **Flow exponent:** Parameter tilknyttet dreneringshastigheten.
- **Offset height:** Høyde på drensrøret over bunn.

Tabell 4-4 Parameterverdier for regnbed

Lag	Parameter	Verdi	Kilde
Surface	Berm Height	200 mm	(Paus & Braskerud, 2013)
	Surface Roughness	0	(Rossman, 2015)
Soil	Thickness	600 mm	(Paus & Braskerud, 2013)
	Porosity	0.5	(SNL, 2020)
	Conductivity	120 mm/t	(Paus & Braskerud, 2013)
	Suction Head	76 mm	(Rossman & Huber, 2016)
Storage	Thickness	300 mm	Valgt
Drain	Flow coefficients	0.075	(Worthen & Davidson, 2018)
	Flow exponent	0.5	(Worthen & Davidson, 2018)
	Offset height	100 mm	Valgt

Grønne tak

På de grønne takene er 4 parametere vist under. Det vises også hvilket «lag» det gjelder, for eksempel jordlaget eller dreneringslaget.

- **Berm Height:** Det kan sees på som terskler rundt tiltakene som stikker opp med den gitte verdien. «Berm Height» er illustrert i figur 6-3.
- **Thickness**: Tykkelsen på jordlaget.
- **Conductivity**: Hydraulisk konduktivitet. Viser hvor raskt vannet kan bevege seg gjennom jordlaget.
- **Drainage mat:** Tykkelse på dreneringsmatten nederst.

Intensive

Tabell 4-5 Parameterverdier intensive tak

Lag	Parameter	Verdi	Kilde
Surface	Berm Height	50 mm	Antatt
Soil	Thickness	400 mm	(Noreng, et al., 2012)
	Conductivity	120 mm/t	Likt som regnbed
Drainage mat	Thickness	25 mm	(Rossman & Huber, 2016)

Ekstensive

Tabell 4-6 Parameterverdier ekstensive tak

Lag	Parameter	Verdi	Kilde
Surface	Berm Height	50 mm	(Noreng, et al., 2012)
Soil	Thickness	50 mm	(Noreng, et al., 2012)
	Conductivity	120 mm/t	Likt som regnbed
Drainage mat	Thickness	15 mm	(Rossman & Huber, 2016)

Permeable dekker

For de permeable dekkene er følgende parametere plukket ut:

- **Thickness (pavement):** Tykkelse på dekke, f.eks. betonghellene.
- **Permeability:** Hvor permeabelt dekket er.
- **Thickness (soil):** Tykkelse på jordlaget under dekket.
- **Porosity:** Porøsitet til jorden under dekket. Forholdstall som forteller hvor mye «ledig plass» det er. 0.5 betyr 50 % hulrom, som blir ledig plass for vannet.
- **Conductivity:** Hydraulisk konduktivitet. Viser hvor raskt vannet kan bevege seg gjennom jordlaget.
- **Thickness (storage):** Tykkelse på laget under jordlaget som kan holde på vannet.

Tabell 4-7 Parameterverdier for Permeable dekker

Lag	Parameter	Verdi	Kilde
Pavement	Thickness	100 mm	(Asak miljøstein, 2021)
	Permeability	360 mm/t	(Asak miljøstein, 2021)
Soil	Thickness	200 mm	Antatt
	Porosity	0.5	(SNL, 2020)
	Conductivity	120 mm/t	Antar likt som regnbed
Storage	Thickness	100 mm	Valgt

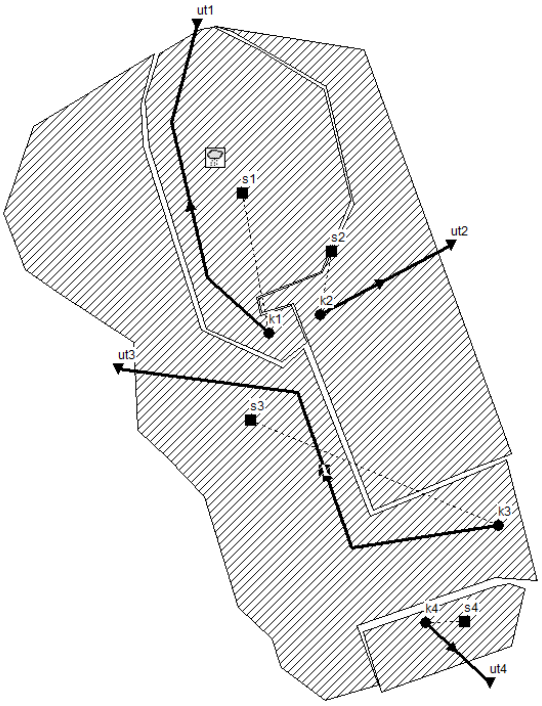
4.2. Modellering

En stor del av oppgaven går ut på å bygge hydrauliske modeller for å simulere effekten av ulike tiltak. Derfor var konstruksjon og design av en god modell noe som ble prioritert høyt. Dette var en krevende prosess hvor det kontinuerlig dukket opp ting å fordype seg i. Det er konstruert tre modeller: Modell I, Modell II og Modell III.

4.2.1. De ulike modellene

Modell I er en null-situasjon av det ferdigstilte prosjektområdet uten blågrønne tiltak. Denne har fungert som basis for de andre modellene og som sammenlikningsgrunnlag ved simulering. De andre modellene tar utgangspunkt i oppbygningen til Modell I.

Modell II simulerer en situasjon med store mengder med LOD-tiltak, mens Modell III viser et mer realistisk forslag med LOD-tiltak.



Figur 4-4 Modell I i EPA SWMM

De tre modellene inneholder mange av de samme parameterne og er bygd opp med flere likheter. Figur 4-4 viser oppbygning av Modell I med delfelt, noder og ledninger. Dette er likt for de tre modellene. En generell oppbygning av modellene foregår som beskrevet videre.

4.2.2. Bakgrunnskart

For å konstruere nedslagsfelt i EPA SWMM ble det lagt inn et bakgrunnskart i form av et utklipp fra Norgeskart. Dette kartet var kun ment som et visuelt verktøy slik at inndelingen av feltet ble lettere å visualisere.

4.2.3. Nedslagsfelt

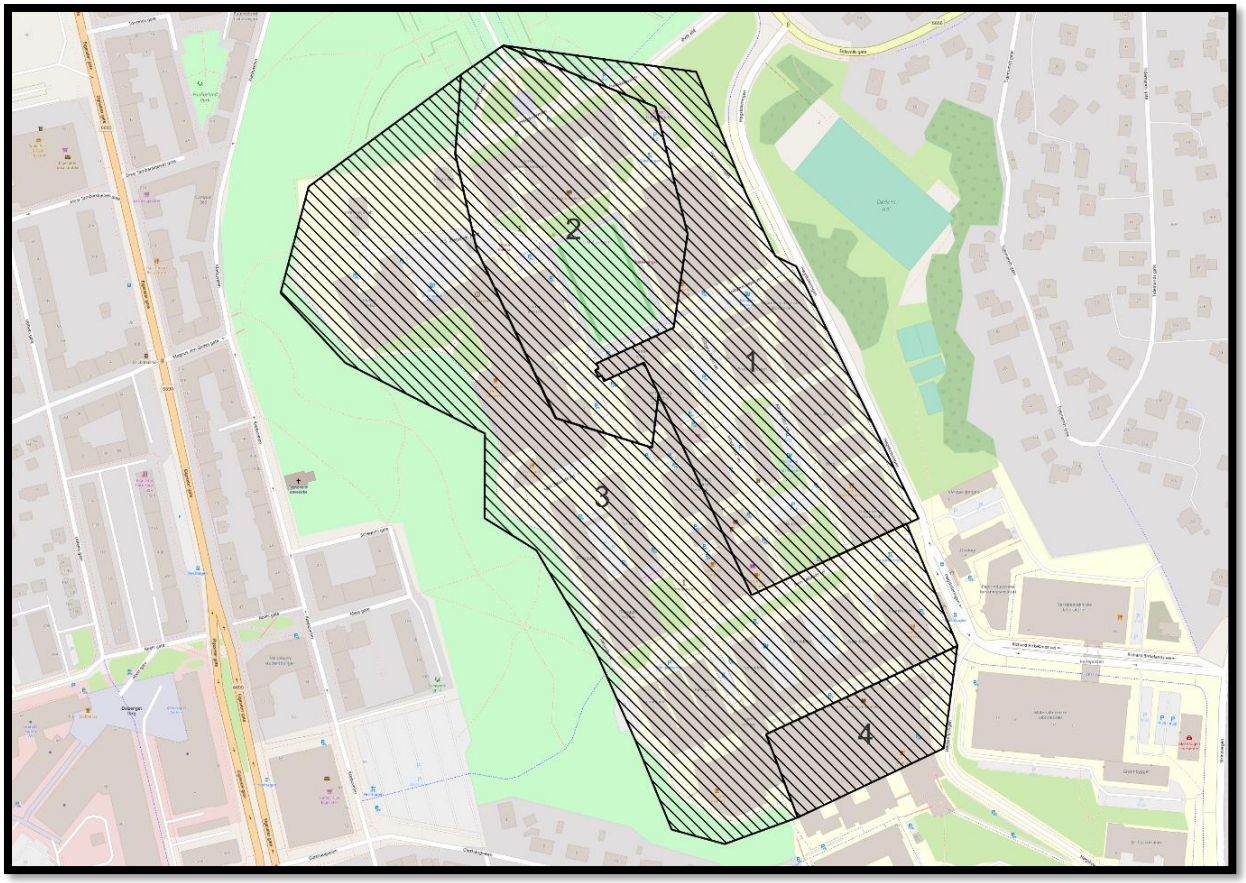
Neste steg ble å dele opp i de ulike nedslagsfeltene. Dette ble gjort ved hjelp av avrenningskartet vist i kapittel 4.1.1, oppmåling av kotehøyder, samt vurdering rundt byggenes avrenning. Dette gjorde at inndelingen ble basert på flere kilder. Ved hjelp av bakgrunnskartet ble feltene tegnet proporsjonalt med hverandre. Deretter ble arealene i arkitekttegningen målt opp med «area» funksjonen i AutoCAD som beregner areal innenfor ett polygon-nett.

Helninger ble funnet ved å ta gjennomsnittet av høydeprofiler til hvert delfelt i Norgeskart. Permeabilitets-prosentene ble bestemt ved hjelp av oppmåling av flater i AutoCAD der ulike flater ble gitt ulike avrenningsfaktorer.

EPA SWMM gir også mulighet til å inkludere klimatologiske faktorer: temperatur, vind-hastighet, fordampning og snøsmelting. På grunn av usikkerhet knyttet til data er klimatologiske faktorer ikke tatt med i simuleringene.

For å beregne infiltrasjon på nedslagsfeltene kan EPA SWMM bruke flere ulike beregningsmetoder. I denne oppgaven er det valgt å bruke metoden Horton. Horton viser hvordan infiltrasjonskapasiteten i grunnen reduseres gradvis over en nedbørshendelse og fører til økt avrenning (Parnas, et al., 2021).

Nedslagsfeltene slik de fremstår i EPA SWMM er tegnet i dataprogrammet QGIS for å visualisere de ulike områdene. Figur 4-5 viser inndelingen til nedslagsfeltene i QGIS med tilhørende areal i tabell 4-8. Felt 1 er det som kalles S1 resten av oppgaven. Det samme gjelder alle feltene.



Figur 4-5 Nedslagsfelt, konstruert i QGIS

Tabell 4-8 Areal over nedslagsfelt

Område	Areal [ha]
S1	3.17
S2	3.45
S3	6.69
S4	0.71

4.2.4. Nedbør

Korrekt behandling av nedbøren er viktig for resultatet av simuleringene. EPA SWMM starter og slutter sin analyse for en valgt dato med klokkeslett. For den historiske hendelsen er tidsintervallet satt fra 1. Januar 2015 til 31. Desember 2015. Det er også viktig å skille mellom intensitet [mm/t] og volum [mm].

Valg av nedbørsdata

Den historiske dataen for Trondheim ble tilsendt av Rambøll. Målingene er fra Risvollan, sør for prosjektområdet. Det originale datasettet varte fra 1989-2019 og ga dermed svært mange målinger. Ved simulering med så store mengder data ble EPA SWMM lite praktisk å jobbe med. For å lette simuleringene og samtidig gi relevant data ble det bestemt at ett historisk år skulle velges.

For å velge året det var ønskelig å se på ble årene rangert etter total nedbør. Denne varierte fra 500mm i 1996 til 1130mm i 2007. Medianåret ble 2016, med 888mm nedbør. For vår modell falt valget på 2015. Da regnet det totalt 953mm som er noe over median. I tillegg viste mer detaljerte data at året hadde få av de mer ekstreme nedbørshendelsene, med unntak av et svært kraftig regnskyll sent på sommeren. Med bakgrunn i dette ble derfor 2015 ansett som et godt grunnlag for å si noe om effekten av tiltakene ved et normalt år. Oversikt over nedbørmengdene for hvert år fra 1989 – 2019 finnes i vedlegg C1.

Dimensjonerende timesregn ble valgt som en tilleggs-simulering til de historiske dataene. Timesregnet vil fortelle hvordan feltet oppfører seg under mer ekstreme og intense nedbørshendelser.

Konstruksjon av nedbørsdata

Datasettet fra Rambøll over nedbøren i 2015 registrerte nedbørhendelser hvert minutt når det regnet, og hver time dersom det ikke var nedbør. Det betyr at ved konstant nedbør var det 60 målinger i timen og ved opphold var det 1.

Etter å ha plukket ut valgt år ble regnet sortert etter tidspunkt og lagt inn i modellen. Siden datasettet ga regnet i mm måtte EPA SWMM tilpasses dette ved å legge inn regnet som «Volume» istedenfor «Intensity».

For den historiske nedbøren i 2015 ble filen med 30 års nedbørdata lagt inn og tidsperioden avgrenset. For timesregnet ble dataen utregnet.

For å simulere timesregnet i EPA SWMM ble det konstruert et symmetrisk regnhyetogram. Verdiene som er brukt som grunnlag er hentet ut fra nedbørsummer gitt i vedlegg 5 i VA-normen til Trondheim Kommune (2020). Metoden er inspirert av masteroppgaven til Adolfsen (2019).

Normen gir også dimensjonerende gjentaksintervall på 20 år basert på mengde bebyggelse på feltet. Klimafaktoren for regnvarighet på 1 time og gjentaksintervall på 20 år satt til 1.4.

Nedbørsummene som er gitt i normen har ulik varighet. I løpet av en time finnes verdier for 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 45 og 60 minutter. Gruppen valgte å se på timesregnet med 2 minutters intervaller. Det hadde vært mulig å se på 1 minutt, men da ville høyeste intensitet blitt svært høy. Med 2 minutters intervaller måtte verdiene i hovedsak lineært interpoleres mellom kjente verdier. Et eksempel er regnmengden som tilsvarer 16 minutter. Her blir utregningen:

$$Vannsøyle_{16min} = Vannsøyle_{15min} + \frac{1}{5} * (Vannsøyle_{20min} - Vannsøyle_{15min})$$

Videre ble verdiene ganget med klimafaktoren på 1.4.

Etter dette måtte hver vannsøyle [mm] gjøres om til intensitet [mm/t]. Først ble den korteste varigheten regnet ut. Denne får den høyeste intensiteten. Siden dette steget varer i 2 minutter og hyetogrammet er symmetrisk om midten, blir varigheten 4 minutter. Utregningen for toppintensitet ble da som vist under:

$$Intensitet_{4min} = Vannsøyle_{4min} * \frac{60\frac{min}{time}}{4\,min} = 8.47mm * \frac{60\frac{min}{time}}{4\,min} = 127\ \frac{mm}{t}$$

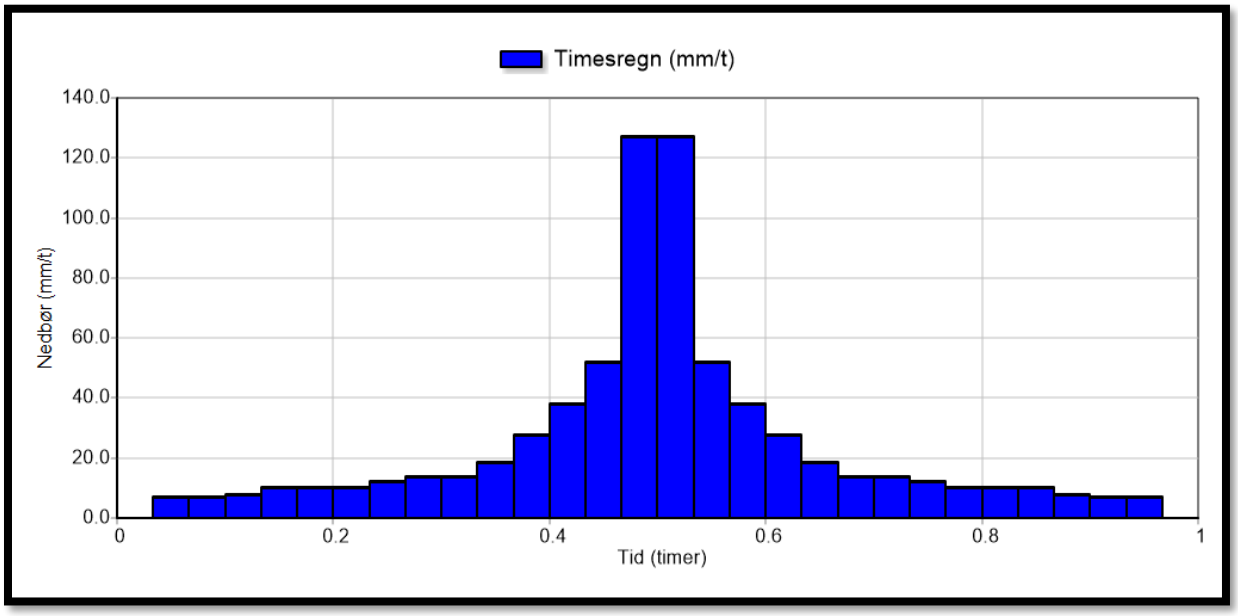
Etter dette kunne neste steg finnes. Dette ble steget med varighet forrige steg pluss det neste, det vil si 4 minutter + 4 minutter. Vannsøylen fra forrige steg trekkes fra. Beregningen blir som følger:

$$Intensitet_{8min} = (Vannsøyle_{8min} - Vannsøyle_{4min}) * \frac{60\frac{\mathrm{min}}{time}}{4\,min}$$

$$= (12.07mm - 8.47mm) * \frac{60\frac{min}{time}}{4\,min} = 54\ \frac{mm}{t}$$

Denne beregningsmåten fortsetter hele veien til varigheten er 60 minutter. Siden det legges på 4 minutter hver gang gir dette 15 steg.

Figur 4-6 viser timesregnet til modellen. Det er lagt inn i modellen med intensitet (mm/t) over en tidsperiode på 1 time slik det er vist under.



Figur 4-6 Hyetogram for dimensjonerende timesregn

4.2.5. Ledninger og kummer

Lengden på feltets ledninger er målt i AutoCAD ved hjelp av ledningskartet. Lengden ble lagt inn på ledningene i modellen. Ledningene slutter i utkanten av nedslagsfeltene i et utløp. Utløpene er teoretiske og simulerer enden til vannstrømningene. Utløpene er gitt en geodetisk høyde som gir tilknyttede ledninger et fall på 10 promille i henhold til VA-normen fra Trondheim Kommune (2022).

Det ble også lagt inn dimensjoner og ruhet tilsvarende ledningene på kartet. Noen av ledningene manglet dimensjon og materiale. Her er dimensjonene antatt ut fra tilsvarende ledninger på feltet og ruheten er satt likt betongrør.

Det er brukt strømningsmetoden *Kinematic Wave Routing* i EPA SWMM. Metoden krever positivt fall og tar ikke hensyn til tilbakestrømming eller trykk.

4.2.6. LOD-tiltak og design

EPA SWMM har mulighet til å simulere flere LOD-tiltak. For dette prosjektet er det valgt: grønne tak, regnbed og permeable dekker. Tabell 4-9 viser total mengde LOD-tiltak i de tre modellene.

Tabell 4-9 Total mengde LOD - tiltak

Modell	Ekstensive tak [m^2]	Intensive tak [m^2]	Regnbed [m^2]	Permeable dekker [m^2]
I	0	0	0	0
II	10115	18093	13310	13510
III	0	8987	6665	5970

Grønne tak

Det ble prosjektert inn to ulike typer av grønne tak: intensive og ekstensive. Takene har ulik utforming og bruksområde. Plassering av de to typene ble vurdert etter om bygget var nytt eller gammelt og anbefalinger fra fagrapport om grønne tak (Braskerud, 2016). Det ble gjort en antagelse om at alle nybygg hadde sterk nok takkonstruksjon til å bære intensive tak. De eldre byggene som hadde mulighet fikk ekstensive tak.

Ved plassering ble det tatt hensyn til tekniske installasjoner og at enkelte bygg ikke har mulighet for etablering av nye tak-konstruksjoner. Egnethetsvurderingen ble gjort ut ifra egne tolkninger av arkitekttegningene og satellittbilde fra Norgeskart. Bildet er vist i figur 4-7. Antagelser for oppbygning er gjort ut ifra eget ønske om utforming, eksisterende løsninger og estetikk.

Figur 4-7 NTNU Gløshaugen, utklipp fra norgeskart.no

Modell II inneholder både ekstensive og intensive tak, mens Modell III kun inneholder intensive tak. Bakgrunnen for dette valget er vurderinger rundt kost-nytten til ekstensive tak på eldre bygg. For den mer realistiske Modell III utgår de ekstensive takene. Mengdene av grønne tak på hvert bygg ble satt ut fra en antakelse gjort av gruppen om at 85% av takflatene er ledige i Modell II og 50 % i Modell III.

Figur 4-8 Foreslått plassering av grønne tak i Modell III, konstruert i QGIS

Regnbed

Regnbed er som tidligere nevnt et relativt nytt overvannstiltak. Dette har gjort det utfordrende å finne god data om effekten av disse.

I EPA SWMM kan man velge mellom regnbed med og uten drenering. EPA SWMM kaller regnbed med drensrør for *Bio retention cells*. Alle regnbedene i Modell II og III er drenert, dette skyldes usikkerhet knyttet til grunnforholdene i området.

Infiltrasjonshastighet i grunnen på minimum 100 mm/time er anbefalt i forskningsartikkelen til Paus og Braskerud (2013). Bedene er dimensjonert etter regnbedet kalt NB21 i samme artikkel og har en infiltrasjonshastighet på 120 mm/t.

Hvert nedslagsfelt i Modell II, foruten S4, har regnbed som dekker 10% av sitt areal etter anbefaling av andel regnbed per nedslagsfelt i nevnte forskningsartikkel (Paus & Braskerud, 2013). Dette er en høy andel og vil være utfordrende å finne plass til i prosjektområdet. S4 består i hovedsak av takarealer og det ble derfor vurdert som urealistisk å legge regnbed her.

Modell III har 50 % færre regnbed enn Modell II. Det er likevel valgt at regnbedene skal ta opp lik mengde vann fra nærliggende tette flater i EPA SWMM. Spesifikk plassering av regnbedene er ikke en faktor i programvaren.

Permeable dekker

Permeable dekker er en effektiv måte å redusere vannavrenning på uten å ta opp nye arealer. Dekkene kan komme i ulike varianter. Dette gjør at parameterverdiene i EPA SWMM er åpne for ulike valg dersom det ikke velges et bestemt produkt. Parameterverdiene er en blanding av standardverdier fra EPA SWMM og ASAK miljøstein (Asak Miljøstein, u.d.). Utforming og valg av verdier baserer seg i stor grad på et eksisterende produkt.

I Modell III ble oppholdsområdene og gangveiene øst og vest for stripa, sammen med gangveien rundt plenen nord for stripa omgjort til permeable dekker. Dekkene er valgt til å ta opp vann fra 15% impermeable flater i S1 og 25% av impermeable flater i S2 og S3. Plassering og areal av permeable dekker finnes i tabell E3 og E4 i vedleggs-listen.

4.3. Innovasjon

Tidlig i prosjektfasen ble det satt et mål om å bidra til innovasjon i håndteringen av overvann. Dette er et felt som har stort potensiale og behov for gode løsninger. Gruppen anser innovasjon innenfor feltet som spesielt viktig grunnet økende overvannsproblematikk. Hele innovasjonskapittelet ligger samlet for oversiktens skyld.

4.3.1. Konsept

Det har blitt diskutert mange ulike former for innovasjon. Ideene har variert fra rensing ved hjelp av sandvolleyballbaner, overvann som kunst og praktisk bruk av overvann i bygg. I samtaler med Rambøll ble det nevnt bruk av PLS i LOD-tiltak som en interessant og potensielt svært nyttig nyvinning. Gruppen endte opp med å fokusere på dette grunnet interessant potensiale. Det fantes også lite forskning knyttet til tema.

PLS står for «programmerbar logisk styring» og er en enhet som kan brukes til å styre automatiske systemer. Det betyr at den kan programmeres til å utføre forhåndsbestemte instruksjoner (Vijzelaar & Lynglund, 2020). For gruppen er det potensiale med å knytte slik styring inn mot LOD-tiltak som er interessant. Selve oppbygningen faller utenfor oppgavens rammer.

4.3.2. Muligheter

Mulighetene for PLS kombinert med LOD-tiltak ligger i å maksimere tiltakenes effekt og kapasitet. Et enkelt eksempel kan være å ha et fordrøyningsbasseng med konstant vannspeil koblet mot en nedbørssensor. Denne sensoren sier ifra før et kraftig regnskyll slik at bassenget tømmer seg i forkant.

En mer innovativ og spennende ide er muligheten for å senke vanninnholdet i de blågrønne tiltakene før nedbør. Eksempler relevant for mange felt er regnbed og grønne tak. Evnen deres til å redusere avrenningstopper og infiltrere henger tett sammen med hvor tørre og «tørste» de er. Den potensielle kapasiteten blir sjelden brukt i f. eks grønne tak fordi de nesten aldri er helt tørre (Miljødirektoratet, 2018).

4.3.3. Fordeler

Klarer man å implementere slik PLS-styring i de grønne tiltakene på campus som nevnt over er gevinstene mange. De gruppen har identifisert er:

Øke kapasiteten til samme mengde tiltak. Man vil kunne hente ut mer effekt av hver kvadratmeter tiltak hvis tiltakene kunne «gjort seg klare» for regnskyll. Dette er den største fordelen. Blir dette en realitet vil blågrønne løsninger bli aktuelle i enda større grad, blant annet på grunn av mindre behov for areal og derav mindre kostnader.

Hvis tiltakene blir koblet opp mot forhåndsbestemte innstillinger vil man i større grad kunne kontrollere mengdene. Det vil kunne bli lettere å holde tilbake vann og motsatt, slik at forutsigbarheten øker. Dette kan utnyttes ved å slippe mer kontrollerte mengder til eksempelvis åpne vannspeil eller renner som fører vann.

En siste fordel med å implementere dette på campus er mulighetene det presenterer for forskningsmiljøene. Umiddelbar nærhet til den nye teknologien vil kunne gagne både utviklingen av tiltakene og forskningen som foregår. Dette er relevant for et universitetsområde med fokus på teknologi.

4.3.4. Utfordringer

Utfordringene gruppen har identifisert omhandler kostnader, energibruk og vedlikeholdsbehov.

Å holde kostnadene nede er en forutsetning for ideens levedyktighet. Om det blir for dyrt å bygge og drifte slike «smarte» tiltak vil det sannsynligvis i liten grad bli brukt. Det blir viktig å lage en enkel nok løsning, som ikke koster mye penger.

Energibruket må holdes lavt. Alle løsninger som legges inn i tiltakene burde være bærekraftige for at totalen skal bli god. En spesifikk utfordring er å produsere energien som kreves for å tørke grønne tak når det er hensiktsmessig.

En siste klar utfordring er vedlikeholdsbehov og kompleksitet. Blir løsningene for kompliserte vil det kreve kompetanse for å gjøre nødvendig vedlikehold. Dette vil fort føre til økte kostnader. Den beste løsningen vil være en enkel løsning med minimalt vedlikeholdsbehov.

4.3.5. Potensiale

Ved dimensjonering av blågrønne tiltak tas det normalt utgangspunkt i at de er tørre og umettede. Dette betyr at tiltakene blir simulert for en optimal situasjon. Noen ganger vil det ha regnet tidligere og tiltakene vil ha blitt våte. Da minsker evnen til å tilbakeholde og infiltrere vann.

For å illustrere potensiale ved PLS-styring er timesregnet simulert to ganger i Modell III. Først med umettede grønne tak og regnbed, etterfulgt av en simulering der takene og regnbedene allerede er fylt med vann. I praksis kan dette sees på som når det styrtregner etter en tørkeperiode sammenliknet med styrtregn etter en lengre nedbørshendelse.

Endringen Q_maks, som er maksimal avrenning, for timen og total avrenning er vist henholdsvis i tabell 4-10 og tabell 4-11.

Tabell 4-10 Q_maks for umettet og mettet tilfelle

Delfelt	S1	S2	S3	S4
Umettet [l/s]	159	258	564	211
Mettet [l/s]	165	418	564	219

For maksimal avrenning er det i enkelte felt stor forskjell. Felt S2 får størst endring, dette skyldes at den har mest tiltak og spesielt mye regnbed og grønne tak. S3 får ingen endring, dette kan skyldes at feltet er betydelig større og at vannet i større grad er lagret i feltets arealer.

Tabell 4-11 Total avrenning for umettet og mettet tilfelle

Delfelt	S1	S2	S3	S4
Umettet [millioner liter]	0.14	0.20	0.43	0.14
Mettet [millioner liter]	0.16	0.40	0.43	0.18

Total avrenning øker også i 3 av 4 felt. I felt S2 renner det av 0.2 millioner liter mer i løpet av timen. Dette tilsvarer 200 kubikkmeter med vann.

Simuleringsresultatene viser potensiale for PLS-styring av blågrønne tiltak. Differansen mellom tallene fra umettede og mettede tiltak i begge tabeller kan sees på som dette potensiale. Ved å implementere slik teknologi kan man forhåpentligvis unngå situasjonene der tiltakene er mettet med vann før et eventuelt styrtregn.

4.4.Simulering

For hver modell blir resultatene fra simuleringene gjort i EPA SWMM vist. Resultatene som vises for hvert område er:

- Total infiltrasjon (millioner liter)
- Total avrenning (millioner liter)
- Avrenningstopp (l/s)
- Avrenningskoeffisient

Dette er parameterne EPA SWMM viser for hvert delfelt, med unntak av fordamping. Fordamping ble ikke simulert. Resultatene presenteres slik for å vise de mest relevante tallene for hver simulering og forskjellen mellom modellene. Programmet gir verdiene for infiltrasjon i millimeter. Her er det regnet om til liter for å gjøre sammenlikningen med de andre tallene lettere. Dette er gjort ved å multiplisere verdien gitt av EPA SWMM i millimeter med arealene på feltene.

Alle modellene har en total nedbør i løpet av året på 953mm. Intensiteten varierer over året. I simuleringen med timesregn faller det 24mm med intensitet som vist i kapittel 4.2.4.

I tabellene under simuleringsresultatene i kapittel 5 er kravene vist. Kravene er lagt sammen med prosentvis differanse mellom maks videreført vannmengde og avrenningstopp. Er denne prosenten på 0 vil simulert avrenning tilsvare kravet. Negative verdier betyr at kravet er oppfylt, mens positive verdier betyr at kravet ikke er møtt. Desto høyere prosenten er desto lenger over eller under kravet er feltene.

Simulering av timesregnet er tatt med for å vise forskjellene i data mellom historisk nedbør og dimensjonerende timesregn. Dette er valgt å kun gjøre på Modell III for å begrense antall resultater.

4.5. Kost-Nytte

For å gi økt grunnlag for sammenlikning er det valgt å gjennomføre en grov kost-nytte-analyse. Analysen vil deles opp i to.

Første del gjøres ved å sammenlikne priser for de ulike løsningene opp mot effekten det gir. Her er det valgt å bruke historisk nedbør som grunnlag. Dette er fordi effekten blir målt i hvor mye vann som blir holdt tilbake og ikke hvor mye flomtoppene reduseres. Model I er uten tiltak og blir brukt som utgangspunkt. For å bestemme effekten av tiltakene ble det brukt prisdifferansen og avrenningsdifferansen mellom denne og de andre modellene. Dette gir en pris på hver kubikkmeter som ikke vil renne av.

Det er i tillegg gjennomført en analyse av fordrøyningsvolum for blågrønne tiltak. Dette ble gjort for å vise hvordan blågrønne tiltak potensielt kan erstatte de tradisjonelle. Her er det tatt utgangspunkt i Modell I. Modell I sitt krav til fordrøyningsvolum ville tradisjonelt blitt løst med nedgravde rør. I denne delen regnes det på kostnader for samme volum for regnbed. Det beregnes et eksempel med regnbedene brukt i oppgaven og et med regnbed med større volum på toppen.

Priser

Prisingen av tiltakene er hentet av en rapport gjennomført av Vista Analyse knyttet til kostnader og nytte ved overvannstiltak (Magnussen, et al., 2015). Slike tiltak er krevende å bestemme med høy presisjon. Dette skyldes mange usikkerheter. Det er etter beste evne forsøkt å justere prisen innenfor rammene i rapporten.

Kostnadene brukt i analysen er gitt under i tabell 4-12.

Tabell 4-12 Priser for kost-nytte-analyse

Tiltak	Investering [kr/m^2]	Drift [kr/m^2]	Levetid [år]	Total pris [kr/m2]
Regnbed	1400	15 [kr/m^2]	40	1415
Intensive tak	600	10 [kr/m^2*år]	50	1100
Ekstensive tak	400	2 [kr/m^2 *år]	50	500
Permeable dekker	475	0	40	475
Fordrøyning rør	8350 [kr/m^3]	50 [kr/m^3*år]	40	10350 [m^3]

Analysen brukt som kilde gir kun priser for ekstensive tak. Som en forenkling er den høyeste verdien for investering og drift for ekstensive tak brukt for intensive. Rapporten gir et prisspenn for betongheller på 350 – 600kr. Det er valgt å bruke 475kr som en antakelse. Pris for rørfordrøyning tilsvarer kostnaden for betongrør, og prisen for regnbed er hentet rett ut fra rapporten.

4.5.1. Kost-nytte for modellene

Modell I

Med beregnede volum fra kapittel 4.1.3 lagt sammen, og prisen for rørfordrøyning gitt i tabell 4-12 blir totalkostnaden 7.3 millioner kroner. Total avrenning for denne modellen er på 116 740 m^3. Tallene for hvert delfelt er vist i 5.1.

Tabell 4-13 Priser tiltak Modell I

Krav Fordrøyningsvolum [m^3]	Pris kr/[m^3]	Kostnad (millioner kroner)
705	10350	7.3

Modell II

Tabell 4-14 Differanse pris og avrenning, Modell I og II

	Pris (millioner kroner)	Avrenning (m^3)
Modell I	7.3	116740
Modell II	50.2	50810
Differanse	42.9	65930

Ved å bruke differansene fra tabell 4.14 kan det anslås pris per kubikkmeter vann som ikke renner av. Kostnadsberegningene for Modell II ligger vedlagt.

$$Pris\ per\ kubikkmeter\ som\ ikke\ renner\ av = \frac{42.9\ millioner\ kroner}{65930\ m^3} = 651\frac{kr}{m^3}$$

Modell III

Med samme fremgangsmåte brukes tabell 4-15 for Modell III. Også her ligger kostnadsberegningene vedlagt.

Tabell 4-15 Differanse pris og avrenning, Modell I og III

	Pris (millioner kroner)	Avrenning (m^3)
Modell I	7.3	116740
Modell III	22.1	62760
Differanse	14.8	53980

$$Pris\ per\ kubikkmeter\ som\ ikke\ renner\ av = \frac{14.8\ millioner\ kroner}{53980\ m^3} = 274\frac{kr}{m^3}$$

4.5.2. Kost-nytte fordrøyningsvolumer

Modell I har minimum fordrøyningsvolum på 705 m^3. Kravene vil bli mildere med grønne tiltak, men 705m^3 er brukt som krav for lettere sammenlikning.

For å gjøre en vurdering av fordrøyningsvolumet i regnbed er det tatt utgangspunkt i «Berm Height». Dette er terskelen på toppen av regnbedet, nærmere beskrevet i diskusjonskapittelet. Første rad i tabell 5-10 er regnet med regnbedene brukt i simuleringene. De har en «Berm Height» på 200mm, eller 0.2m. Nederste rad viser en annen type regnbed med 100mm høyere terskler.

Det er her tatt utgangspunkt i at 0.2m «berm height» på 1 kvadratmeter regnbed gir fordrøyningsvolum på 0.2 m^3. Tabell 5-10 viser hvordan volumet til regnbed kan erstatte rørvolumene. Det er vist både mengde som kreves og pris.

5. Resultater

5.1. Resultater fra simulering

Tabell 5-1 Modell I, Resultat fra EPA SWMM

Område	Infiltrasjon [10^6 liter]	Avrenning [10^6 liter]	Q_maks [l/s]	Avrenningskoeffisient
S1	6.18	24.04	228	0.80
S2	1.61	31.28	345	0.95
S3	8.83	54.96	687	0.86
S4	0.31	6.46	104	0.96

Tabell 5-1 viser resultatene for Modell I. Avrenningskoeffisienten er høy og infiltrasjonen liten i forhold til avrenningen. Avrenningskoeffisienten er et forholdstall mellom nedbør og avrenning.

Tabell 5-2 Modell II, Resultat fra EPA SWMM

Område	Infiltrasjon [10^6 liter]	Avrenning [10^6 liter]	Q_maks [l/s]	Avrenningskoeffisient
S1	19.06	9.74	60	0.32
S2	18.23	12.48	52	0.38
S3	38.58	22.18	228	0.35
S4	0.28	6.41	95	0.95

Tallene fra Modell II i tabell 5-2 viser at avrenningskoeffisienten har blitt betydelig lavere. Felt 1-3 har fått store mengder blågrønne tiltak, noe som har gjort at feltene infiltrerer mer enn det renner av. For felt S4 er både infiltrasjon og avrenning gått ned, dette er diskutert senere.

Tabell 5-3 Modell III, Resultat fra EPA SWMM

Område	Infiltrasjon [10^6 liter]	Avrenning [10^6 liter]	Q_maks [l/s]	Avrenningskoeffisient
S1	17.24	11.29	52	0.37
S2	14.66	16.93	91	0.52
S3	32.50	28.13	198	0.44
S4	0.28	6.41	95	0.95

I den mer realistiske Modell III er mengden tiltak redusert. Dette har ført til en høyere avrenningskoeffisient enn i Modell II. Totalt er infiltrasjonen gått ned og total avrenning gått opp fra Modell II. For maksimal avrenning er enkelte av resultatene uforventet, sammenliknet med Modell II. Dette er tatt opp i diskusjonen.

Tabell 5-4 Modell III, Resultat fra EPA SWMM for dimensjonerende timesregn

Område	Infiltrasjon [10^6 liter]	Avrenning [10^6 liter]	Q_maks [l/s]	Avrenningskoeffisient
S1	0.12	0.14	159	0.18
S2	0.10	0.20	258	0.24
S3	0.28	0.43	564	0.27
S3	0.01	0.14	211	0.85

Den mest interessante parameteren fra resultatene for timesregnet i tabell 5-4 er maksimal avrenning. Denne øker kraftig. For felt S3 er maksimal avrenning helt oppe i 564 l/s. Dette er nesten tre ganger så høy avrenningsintensitet som den høyeste i løpet av året 2015.

5.2. Krav og differanse

Tabell 5-5 Krav Modell I

Område	Q_maks [l/s]	Differanse Q_maks og krav	Krav til fordrøyning [m^3]
S1	103	121%	152
S2	124	178%	184
S3	218	215%	324
S4	31	235%	45

Tabell 5-5 viser hvordan prosjektområdet uten noen form for overvannstiltak er langt unna å oppnå kravene for maksimal avrenning. Dersom blågrønne tiltak ikke brukes må dette løses med mer tradisjonelle løsninger.

Tabell 5-6 Krav Modell II

Område	Q_maks [l/s]	Differanse Q_maks og krav	Krav til fordrøyning [m^3]
S1	88	-32%	129
S2	95	-45%	140
S3	185	23%	274
S4	27	252%	40

For Modell II er kravene i felt S1 og S3 oppnådd. Felt S3 er nærmere kravet, mens S4 er lenger unna. I S4 skyldes dette at kravet prosentvis er blitt strengere enn nedgangen i Q_maks.

Tabell 5-7 Krav Modell III

Område	Q_maks [l/s]	Differanse Q_maks og krav	Krav til fordrøyning [m^3]
S1	95	-45%	141
S2	113	-19%	167
S3	207	-4%	308
S4	28	239%	40

Kravene og differansen for Modell III med årsnedbør er vist i tabell 5-7. Som nevnt er tallene for Q_maks i denne simuleringen uforventet. Det påvirker også prosentkravene.

Tabell 5-8 Krav Modell III, timesregn

Område	Q_maks [l/s]	Differanse Q_maks og krav	Krav til fordrøyning [m^3]
S1	95	69%	141
S2	113	130%	167
S3	207	174%	308
S4	28	681%	40

Tabell 5-8 viser krav og differanse for timesregnet. Kravene til feltet er det samme som i 5-7, men Q_maks har økt kraftig. Dette fører til stor avstand mellom avrenning og krav.

5.3. Kost-Nytte

Totalkostnadene for LOD-tiltakene sammen med pris for hver kubikkmeter vann tiltakene fordrøyer eller infiltrerer er presentert i 5-9. De store mengdene LOD-tiltak i Modell II gjenspeiles i den høye totalkostnaden.

Tabell 5-9 Totalkostnad og pris per m³ fordrøyd vann for Modell II og Modell III

Modell II	
Pris tiltak	50.2 millioner kroner
Pris per m³ som ikke renner av	651 kroner

Modell III	
Pris tiltak	22.1 millioner kroner
Pris per m³ som ikke renner av	274 kroner

Tabell 5-10 Regnbed som fordrøyningsvolum

Krav fordrøyning (m^3)	Berm Height (m)	Mengde (m^2)	Pris (kr/ m^2)	Totalpris (millioner kroner)
705	0.2	3525	1415	5.0
705	0.3	2350	1415	3.3

Tabell 5-10 viser resultatene av analysen gjort for regnbed som fordrøyningsvolum. Her er totalprisen lavere enn 7.3 millioner kroner som de tradisjonelle kostnadene koster, vist i tabell 4-13.

6. Diskusjon

I dette kapittelet vil resultatene diskuteres og modellene sammenliknes. Kost-nytte-analysen og usikkerheter tas også opp.

6.1. Resultater historisk nedbør

Resultatene i oppgaven baserer seg på infiltrasjon, maksimal avrenningsintensitet og total avrenning. Dette er viktige mål i overvannsberegninger.

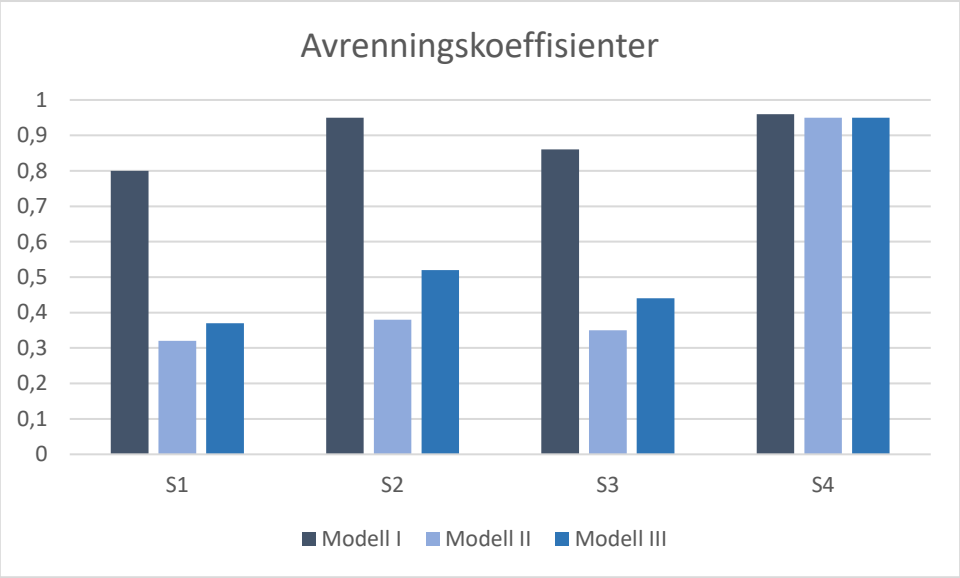
Kravene er beskrevet tidligere i oppgaven. De er brukt som sammenlikningsgrunnlag for resultatene. Alternativet ville vært kun å sammenlikne modellene med hverandre og se forskjell dem imellom. Vurderingen er at kravene bidrar med realisme og gjør tallene lettere å forholde seg til. Det er forsøkt å ikke legge alt for stor vekt på kravene da gruppen ønsket å jobbe mot en god løsning, ikke kun et tall.

Felt S4 vil i liten grad bli diskutert da tallene for området varierte lite og ikke gir mye rom for diskusjon. Måten felt S4 har blitt inndelt gjør det vanskelig å etablere LOD-tiltak. Det er kun lagt et lite grønt tak på området, noe som gir liten endring i resultatene for delfeltet. Sett i ettertid kunne denne inndelingen blitt løst annerledes med et større felt og ulike typer flater.

Resultatene viser en tydelig sammenheng mellom avrenningen fra feltene og overvannstiltak. I situasjonen uten tiltak renner det i løpet av året 117 millioner liter vann fra området. I Modell II har tallet sunket til 51 millioner liter. Dette er en nedgang på 56%. Med Modell III øker avrenningen til 63 millioner liter.

Endringen i avrenningskoeffisientene beregnet av EPA SWMM er vist under i figur 6-1. Forskjellen mellom koeffisienten til Modell I og Modell II er stor, mens forskjellen mellom Modell II og Modell III er forholdsvis liten. Dette tolkes som at gevinsten ved tiltak er høy ved en viss mengde tiltak, før man etter hvert vil få lite effekt igjen for enda større mengder.

Avrenningskoeffisientene fra programmet er annerledes enn de gruppen har regnet ut, vist som Phi i vedlegg B. Dette skyldes at det ikke legges inn avrenningskoeffisient inn i programmet. EPA SWMM beregner den selv med bakgrunn i simuleringene.



Figur 6-1 Avrenningskoeffisienter beregnet av SWMM

Differansen mellom kravet regnet ut fra VA-normen og Q_maks illustrerer også forskjellen mellom modellene. I Modell I er Q_maks over tre ganger høyere enn kravene for S3 og over det dobbelte for S1 og S2. Dette ville tradisjonelt blitt løst med fordrøyningsvolumer som ligger under bakken der videreførte vannmengder reguleres.

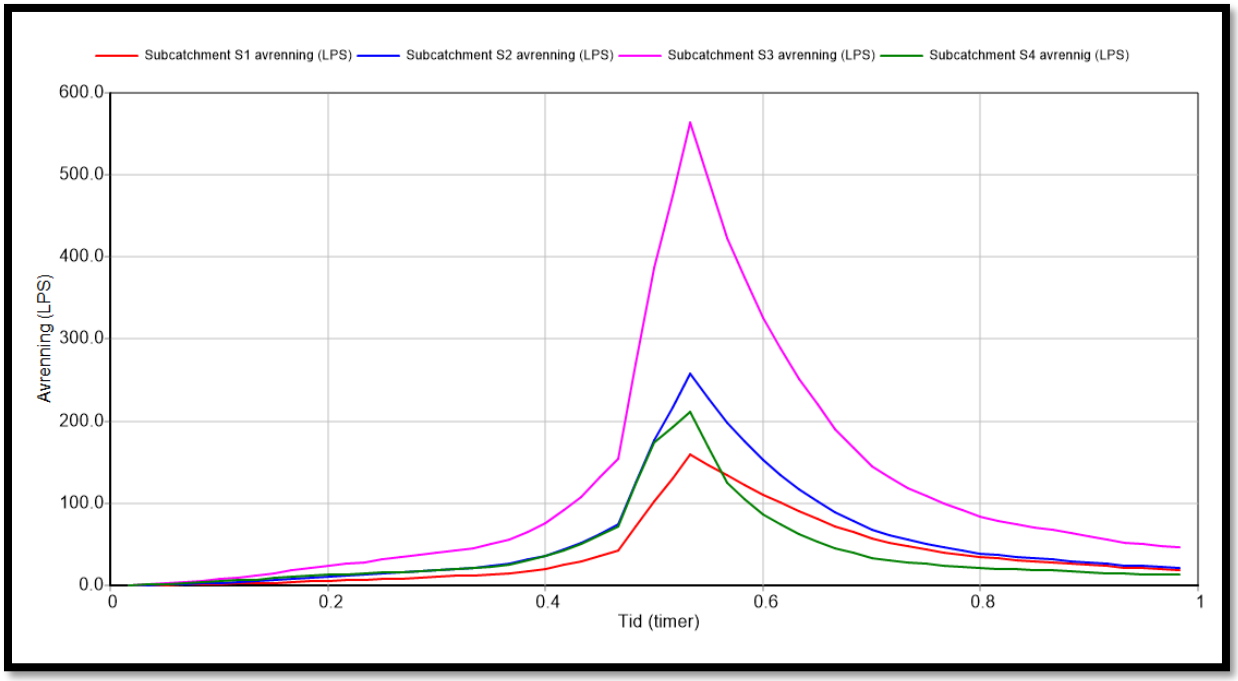
I Modell II ligger felt S1 og S2 henholdsvis 32% og 45% innenfor kravene, som vist i tabell 5-6. Det viser at blågrønne tiltak har redusert flomtoppen betydelig. Med så høy margin kan det argumenteres for at feltene er overdimensjonert med tiltak. Felt S1 og S2 koster også alene 29 millioner, noe som er mer enn alle tiltakene i Modell III. S3 er fortsatt noe over kravene.

I resultatene for Modell III er verdiene mer sprikende. Q_maks har gått ned i felt S1 og S3, selv med mindre tiltak. Dette kan skyldes regnemåten til EPA SWMM hvor man justerer på permeabiliteten til resten av feltet når det legges inn tiltak. S3 har i denne modellen en faktisk maksimal avrenning som kun er 4% over kravet. En så liten differanse kan illustrere at S3 har riktig mengde tiltak.

6.2. Resultater timesregn

Timesregnet er som nevnt kun kjørt for Modell III. Tabell 5-4 viser at Q_maks vil stige betydelig. Dette tolkes som at Modell III viser en løsning som håndterer historisk nedbør godt, men som ved mer ekstreme nedbørshendelser er avhengig av andre tiltak. Ved en slik ekstrem nedbørshendelse blir fordrøyningsvolumer og flomveier viktige.

Figur 6-2 illustrerer avrenningen fra feltene over timen det regner. Som grafene viser får alle feltene en topp rett etter høyeste regnintensitet i midten av timen. Den rosa linjen viser avrenningen fra felt S3. Den er opp mot 600 liter i sekundet på det meste. Det ville vært ønskelig å flate ut toppene og forskyve de lenger mot høyre. Da ville belastningen på ledningssystemene blitt fordelt bedre.



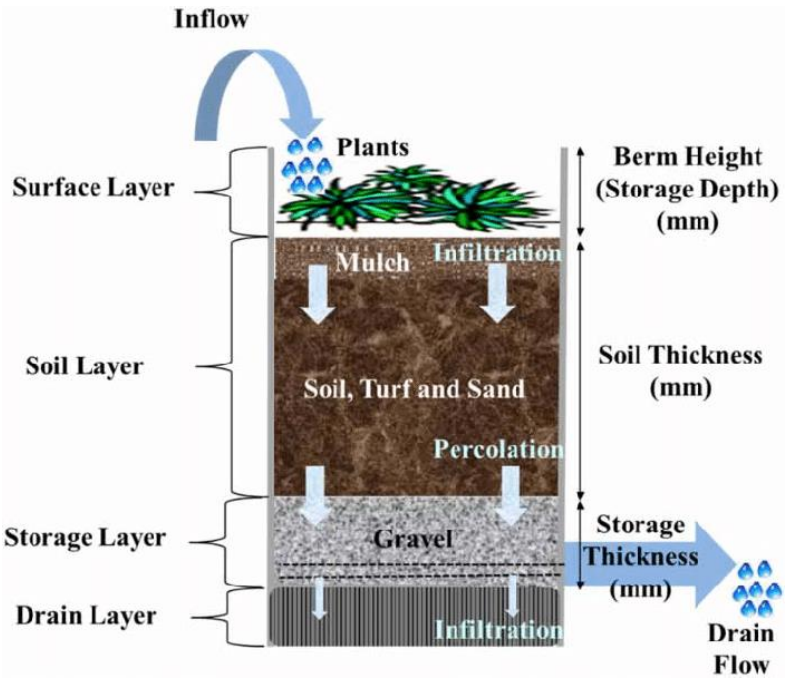
Figur 6-2 Avrenning for Modell III under dimensjonerende timesregn

Ved en slik nedbørshendelse vil infiltrasjonen bli dårligere. I tabell 5-3 vises det at infiltrasjonen er større eller nesten like stor som avrenningen i felt S1, S2 og S3. Dette er årsnedbøren. Resultatene for timesregnet vist i tabell 5-4 forteller at infiltrasjonen er blitt mindre enn avrenningen i samtlige delfelt.

6.3. Overvannstiltak

Som nevnt tidligere er det to måter å legge inn tiltakene på. Enten som egne delareal, eller som prosent av det delarealet tiltakene tilhører. Gruppens beslutning var å legge inn tiltakene i eksisterende felt for å unngå svært mange mindre delfelt. Ved å gjøre det på denne måten ble det nødvendig å endre flere parametere for hver ulik simulering, noe som ofte krevde en manuell utregning. Dette gjorde det tidkrevende å gjøre endringer og kjøre sammenlignbare simuleringer.

En ting som overrasket prosjektgruppen er den store fordrøyende kapasiteten som finnes i overvannstiltakene. Det som kalles «Berm Height», både i grønne tak og regnbed, blir i praksis et fordrøyningsvolum for feltene som renner til tiltakene. Figur 6-3 illustrerer dette volumet.



Figur 6-3 Regnbed tverrsnitt (Gülbaz, 2017)

Dekker tiltakene mange kvadratmeter vil selv små høyder representere store volumer. God plasseringen av tiltakene vil kunne utnytte dette volumet på best mulig måte. Tabell 5-10 viser en kostnadsberegning for fordrøyningsvolum med regnbed. Her er det brukt 705m^3 som volum for å sammenlikne med rørfordrøyningen i Modell I. Resultatene viser at volumene rørene representerer kan erstattes av regnbed, til en lavere pris. Utformingen av regnbedene har også stor innvirkning. Tabell 5-10 viser hvordan 100mm endring i «Berm Height» påvirker mengden bed og dermed prisen kraftig.

Det er noen utfordringer med å bytte fra tradisjonell fordrøyning til fordrøyning i de blågrønne tiltakene. En stor utfordring er plassering. Det vil bli nødvendig å plassere tiltakene slik at de fanger opp vannet før det renner ned i sluk. Dette vil være en krevende oppgave og må komme tidlig i planleggingen.

Permeable dekker

Etablering av permeable dekker må vurderes sammen med grunnforholdene på stedet. Dette påvirker utformingen og kostnadene. I samtaler med Rambøll kom det frem at grunnforholdene har middels god infiltrasjonsevne. Dette er ikke tatt hensyn til i våre modeller. Plassering og mengde av dekkene er vurdert ut fra kart, kjennskap til området og estetikk.

I simuleringene ble kontinuitetstapet for de permeable dekkene høye. Dette kontinuitetstapet sier hvor mye vann som går tapt under rutingen. Tapene er vist i vedlegg E10. De viser forskjellen mellom vann inn i systemet og vann ut av systemet. Dette kan skyldes at oppdateringsfrekvensen til EPA SWMM ikke samsvarer med hvor fort vannet infiltrer og tidsintervallet til nedbøren, slik at enkelte målinger blir borte under simuleringene.

En annen feilkilde kan være at dekkenes *width* er liten i forhold til mengden vann de tar til seg. Gruppen satte denne til 5 meter. Dette skyldes at vannet skulle renne langs hele dekket og ut på kortsidene. Med større mengder vann og store arealer med permeable dekker kan det ha ført til feil. Ved kontinuitetstap større enn 10 prosent forteller håndboken at det bør undersøkes om det finnes feil i modellen (Rossman & Simon, 2022). Uansett bør tallene tolkes med en viss usikkerhet.

Regnbed

Gruppen hadde en teori om at enkelte LOD-tiltak ville flomme over under regnskyll med høy intensitet i løpet av årsregnet. Derfor overrasket resultatene for LOD-tiltakene. De viste at det ikke vil være noen overflateavrenning. Resultatene er vist i vedlegg E10. Gruppen trodde spesifikt de permeable dekker og regnbedene skulle få avrenning. Dette fordi de får mye vann fra andre flater i tillegg til det som faller på dem.

Foruten om 8mm avrenning for regnbedene i S2, Modell III er det ingen andre LOD-tiltak som gir avrenning. Det kan skyldes at andelen blågrønne tiltak er høy på feltet. Infiltrasjonshastigheten til tiltakene er også en viktig parameter som kan gi utslag. Her har denne hastigheten vært høy nok til å ta unna vannmengdene. Fordrøyningsvolumene bedene representerer har også bidratt til å holde på vannet, slik at det kan infiltreres. På bakgrunn av dette ville det vært interessant å redusere mengden, og se hvor lite regnbed og dekker som kreves før avrenning oppstår. Dette rakk gruppen ikke mot slutten.

Tabellene i vedlegg E10 viser også at regnbedene både får drenering og infiltrasjon. Dette skjer fordi høyden på drensrøret er 100mm over bakken. Dersom vannspeilet til bedene overstiger 100mm vil det begynne å drenere.

Verdiene for avrenningen til feltet er sterkt påvirket av hvor mye vann som rutes til bedene fra impermeable flater. I modellene rutes det vann fra 50% av de impermeable flatene på alle feltene. Eksempelvis i S1 som har et totalt areal på 3,17ha, og en ugjennomtrengelighetsprosent på 74%, så vil 50% av dette utgjøre:

$$Areal = (3{,}17ha * \ 0{,}74) * 0{,}5 = 1.73ha$$

Verdien på 50% er en egen antakelse. I praksis vil denne verdien variere ut ifra plasseringen til bedene og feltets utforming, noe EPA SWMM ikke gir mulighet til.

Grønne tak

De grønne takene håndterer all nedbøren som faller på dem. Som vedlegg E10 viser vil det aller meste bli drenert videre. Noe vil også bli lagret i selve takene. Mesteparten av vannet som faller på dem vil dreneres ned etter litt tid, men da er sannsynligvis den høyeste intensiteten ved en større nedbørshendelse slutt. Dette viser at de grønne takene i modellene har en fordrøyende effekt. Effekten kan kombineres ved å slippe drenert vann fra de grønne takene til regnbed eller andre flater som kan infiltrere det ned i grunnen.

Tradisjonelle løsninger

Fra kost-nytte-analysen viste det seg lettere å utføre beregninger for tradisjonelle nedgravde volum enn å regne på kost-nytten til blågrønne tiltak. Dette er en fordel når det kommer til prosjektering. Samtidig har nedgravde volum færre tilleggskvaliteter enn blågrønne tiltak. Dette burde vurderes under prosjektering.

6.4. Kost-nytte

I modellene simulert blir prisen for å ikke slippe vann på ledning høy. Tabell 5-9 viser at Modell II og III koster henholdsvis 651 og 274 kr/m^3. For sammenlikningens skyld bruker Rambøll 10-15 kr/m^3 som grovt estimat for rensing av avløpsvannet i anlegg. Selv om det er høyt i forhold til rensekostnadene viser tallene likevel hvordan nytten i forhold til kostnadene er mye høyere i Modell III enn i Modell II.

Det er ikke forsøkt å prissette rekreasjonsmessige verdier, grunnvannstandsøkning, luftkvalitet eller liknende økosystemtjenester. Dette er krevende å gjøre på en god måte, men det kan argumenteres for at slike fordeler med blågrønne løsninger burde tillegges betydelig verdi. Åpne løsninger skåner ikke bare avløpsnettet, men det har en positiv påvirkning på vannkvalitet og grunnvannstand (Oslo kommune, 2015).

Kostnadene er også forenklet ved at det ikke er tatt hensyn til arealet som blir brukt av LOD-tiltak kunne blitt brukt til noe annet. I tettere bebygde områder som Gløshaugen er det kamp om plassen og hard prioritering om kvadratmeterne.

Prisforskjellene mellom de ulike modellen er ikke representativt for en realistisk situasjon. De tradisjonelle løsningene dekker eksakt den mengden det trengs for å tilfredsstille påslippskravene til kommunen. De prosjekterte blågrønne tiltakene har mer tiltak enn som er nødvendig.

Tabell 5-10 i kapittel 5.3 viser hvordan fordrøyningsvolumene i de blågrønne tiltakene kan være et alternativ til tradisjonelle løsninger. Dette er en mer direkte sammenlikning mellom volumer for tradisjonelle løsninger og blågrønne tiltak. Resultatene viser at det er mulig å erstatte nedgravde volumer med overflatetiltak. Små forskjeller i utformingen av tiltakene kan utgjøre store volumer og dermed gi en lavere kostnad.

6.5. Usikkerheter

6.5.1. Dataprogram

All kunnskap i EPA SWMM er blitt tilegnet under oppgavens varighet og gruppen er ikke utlært i programmet. Det har dukket opp utfordringer gruppen trengte svar på der det var vanskelig å finne gode kilder. Der dette har oppstått er det forsøkt å bruke hjelpen som var tilgjengelig. Likevel er det enkelte parametere som etter beste evne har måttet antas.

EPA SWMM krever en del tekniske verdier for blant annet LOD-tiltak og parametere for infiltrasjon – og avrenningsberegninger. Bak noen av verdiene kreves det dimensjonering og utregning. Dette er noe oppgaven i begrenset grad tar for seg. Der det trengtes ble verdier funnet i ulike kilder hvor beregningene hadde blitt gjort, uavhengig om utgangspunktet var noe annerledes. Erfaringsmessig hadde de fleste parameterne tilknyttet oppbygning av LOD-tiltak liten innvirkning på resultatene.

6.5.2. Beregninger

Gruppen har gjennom prosjektet fått erfare hvor krevende overvannsberegninger er å gjennomføre. Mange av kravene og resultatene baserer seg på oppmålinger og valg som i stor grad er bestemt av gruppen. Det er forsøkt å bruke ressursene som er tilgjengelig, men det må legges til grunn at gruppens valg har hatt stor innvirkning på beregningene.

6.5.3. Overvannstiltak

Simuleringene viste hvordan modellene ble sensitiv for enkelte parametere. Eksempelvis er sensitiviteten for mengden vann som rutes til de ulike tiltakene høy. Takene får den mengden nedbør som faller på dem, men regnbedene og de permeable dekkene får vann fra tette flater i form av en prosent. Denne prosenten har stor betydning for resultatene.

I denne oppgaven er mengden tiltak som er lagt inn stor. Mot slutten ser gruppen at det kunne blitt lagt større vekt på å undersøke hvor små mengder med blågrønne tiltak som kunne gitt gode resultater. Maks-modellen har også en mengde tiltak som kunne vært noe lavere, spesielt sett i lys av kostnadene.

Sent i prosessen, når resultatene ble grundig studert, har noen av tallene overrasket. Blant annet LOD-tiltakenes effektivitet. Dette er kommentert i drøftingen. I ettertid tenker gruppen at det ville vært lurt å fokusere mindre på hovedtallene, som for eksempel total avrenning, og mer på tallene bak.

6.5.4. Kostnader

I kost-nytte-analysen ble det etter beste evne forsøkt å finne priser og måle dette opp mot effekter. Prisene varierer sterkt ut fra en mengde variabler, som grunnforhold og markedssvingninger, og er notorisk vanskelig å sette. Slike variabler er ikke tatt hensyn til. Effekten tar utgangspunkt i simulert avrenning, men dette er som nevnt en sensitiv verdi. Kost-Nytte-analysen bør derfor anses som en sammenlikning mellom ulike løsninger og ikke en kostnadsberegning.

7. Konklusjon

I denne oppgaven er EPA SWMM tatt i bruk for å simulere prosjektområde med ulik grad av blågrønne tiltak. Hensikten var å anslå effektene og mulighetene med slike tiltak. Resultatene viser at Modell II reduserer avrenningen fra 117 til 51 millioner liter per år. For Modell III, som er dimensjonert med mer realistiske mengder, blir tallet 63 millioner liter.

Det er også sett på maksimal avrenningsintensitet fra feltet. Her er trenden den samme. Resultatene viser at intensiteten vil bli betydelig mindre med tiltak. Modell III ble i tillegg simulert med dimensjonerende timesregn, her ble avrenningsintensiteten høyere og infiltrasjonen lav. Dette viser at modellen ikke håndterer regnene med høyest intensitet kun med tiltakene. Her må tiltakene støttes med fordrøyende volumer.

Resultatene fra kost-nytte-analysen viser at de blågrønne tiltakene i modellene er kostbart. Av modellene er det den tradisjonelle som kommer best ut prismessig. Prisen for de blågrønne tiltakene må sees i lys av at mengden tiltak har vært stor.

Det er også vist at volumene som tradisjonelle løsninger representerer potensielt kan erstattes med blågrønne løsninger. Det er regnet på regnbed som fordrøyningsvolum og resultatene viser at de slår tradisjonelle tiltak på pris for samme volum. Dette er uten tilleggskvalitetene som følger med blågrønne tiltak.

Modell III viser en løsning som håndterer årsnedbør godt. Den viser at de blågrønne tiltakene kan være et godt alternativ til tradisjonelle overvannnstiltak. Mengde og plassering er viktige faktorer for å få dette til.

7.1. Videre arbeid

Med mer tid og større kunnskapsgrunnlag er det flere ting det ville vært spennende å se grundigere på.

Det ville vært interessant å gjennomføre en mulighetsanalyse for plassering av regnbed, permeable dekker og grønne tak. Hvor mye det mulig å legge inn og hva den beste plasseringen er. I denne oppgaven er det eksempelvis ikke tatt hensyn til plassering av bedene med tanke på vannveier, eller om eksisterende bygg kan bære de grønne takene.

Ved beregning av nytteverdiene for LOD-tiltakene blir økologiske verdier ikke betraktet. En analyse av disse fordelene ville vært spennende. Dette gjelder både generelt og for prosjektområde.

Potensiale for PLS-styring av overvannstiltak ville vært interessant å teste i praksis. Eksempelvis kunne man tatt for seg to like LOD-tiltak der et er ordinært, mens det andre tørkes før større regnhendelser. Forskjellen i effekt mellom de to LOD-tiltakene kunne deretter blitt målt over en lengre tidsperiode

8. Referanser

7Analytics, 2020. *7analytics.* [Internett]
Available at: https://www.7analytics.no/
[Funnet 1 Mai 2022].

Adolfsen, W. M., 2019. *Sammenlikning av tiltak for overvannshåndtering - Prosjekt Bekkestua Sør,* [Masteroppgave] NMBU.

Asak miljøstein, 2021. *Permeable dekker.* [Internett]
Available at:
https://www.asak.no/content/download/7593/54287/file/ASAK%20Brosjyre%20Permeable%20dekker_2021_skjerm.pdf
[Funnet 27 April 2022].

Asak Miljøstein, u.d. *Permeable dekker.* [Internett]
Available at: https://www.asak.no/Offentlig-uterom/Permeable-dekker
[Funnet 9 Mai 2022].

Asak Miljøstein, u.d. *Permeable dekker-Overvannshåndtering i urbane områder.* [Internett]
Available at:
https://www.asak.no/content/download/9018/75069/version/2/file/ASAK+Brosjyre+Permeable+dekker.pdf

Basal, u.d. *Rørmagasiner.* [Internett]
Available at: https://www.basal.no/losninger/overvannshandtering/rormagasiner/
[Funnet 26 April 2022].

Benestad, R., 2021. *IVF(intensitet-varighet-frekvens).* [Internett]
Available at: https://snl.no/IVF_-_intensitet-varighet-frekvens
[Funnet 22 April 2022].

Braskerud, B. C. & Skallebakke, O. P., 2013. *Frakobling av takrenner til overflate.* [Internett]
Available at: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2013_888799.pdf
[Funnet 24 April 2022].

Braskerud, C. B., 2016. *Grønne tak for flomdemping,* s.l.: Oslo Kommune .

Bærum kommune, 2020. *Handlingsplan for overvann,* Bærum: Bærum kommune.

Bøyum, Å. et al., 1997. *Anvendt urbanhydrologi.* [Internett]
Available at: https://publikasjoner.nve.no/publikasjon/1997/publikasjon1997_10.pdf
[Funnet 8 April 2022].

Dannevig, P., Bjørndalen, E. & Sivle, A. D., 2020. *byge.* [Internett]
Available at: https://snl.no/byge
[Funnet 22 April 2022].

Dannevig, P. & Holm, A. K., 2021. *nedbør.* [Internett]
Available at: https://snl.no/nedb%C3%B8r
[Funnet 22 April 2022].

Departementenes sikkerhet- og serviceorganisasjon Informasjonsforvaltning, 2015. *Overvann i byer og tettsteder,* Oslo: DSSI.

Dyrrdal, A. V., 2021. *dimensjonerende nedbør.* [Internett]
Available at: https://snl.no/dimensjonerende_nedb%C3%B8r
[Funnet 22 April 2022].

FN-Sambandet, 2021. *Klimaendringer.* [Internett]
Available at: https://www.fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer
[Funnet 12 Mars 2022].

French, H. K. et al., 2020. *Lokal overvannshåndtering - regnbed Bolstadhagen, Drammen,* Ås: NMBU.

Groven, K., 2015. Handtering av overvatn i norske kommunar. *kartogplan.no*.

Gülbaz, S., 2017. *Researchgate.* [Internett]
Available at: https://www.researchgate.net/figure/Bioretention-modeling-principle-of-EPA-SWMM_fig3_319359957
[Funnet 4 Mai 2022].

Hanssen-Bauer, I. et al., 2015. *Klima i Norge 2100,* s.l.: Miljødirektoratet.

Hauge, A., Walseng, B., Langsjøvold, S. J. & Borch, H., 2006. *Gjenåpning av bekkelukkinger,* s.l.: Jordforsk.

Heggstad, R. & Rosvold, K. A., 2019. *nedbørfelt.* [Internett]
Available at: https://snl.no/nedb%C3%B8rfelt
[Funnet 8 April 2022].

Lindholm, O., 2018. *Håndtering av overvann LOD,* s.l.: Stiftelsen VA/Miljø-blad.

Lindholm, O. & Aune, B., 1978. *Konstruksjon og bruk av nedbørhyetogrammer.* [Internett]
Available at: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1978_29949.pdf

Magnussen, K., Wingstedt, A., Rasmussen, I. & Reinvang, R., 2015. *Kostnader og nytte ved overvannstiltak,* Oslo: Vista Analyse AS.

Meterologisk Institutt, 2022. *orografisk nedbør.* [Internett]
Available at: https://snl.no/orografisk_nedb%C3%B8r
[Funnet 22 April 2022].

Miljødirektoratet, 2018. *Grønne tak som LOD tiltak.* [Internett]
Available at: https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1154/m1154.pdf
[Funnet 3 Mai 2022].

Miljødirektoratet, 2021. *FNs klimapanel: Alvorlige klimaendringer er i full gang.* [Internett]
Available at: https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/nyheter/2021/august-2021/fns-klimapanel-alvorlige-klimaendringer-er-i-full-gang/
[Funnet 6 Mars 2022].

Miljødirektoratet, 2021. *Legg treleddstrategien til grunn for tiltak.* [Internett]
Available at: https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/vann-hav-og-kyst/for-myndigheter/overvannshandtering/legg-treleddstrategien-til-grunn/
[Funnet 22 April 2022].

Miljødirektoratet, 2021. *miljødirektoratet.* [Internett]
Available at: https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/vann-hav-og-kyst/overvann/
[Funnet 9 Mai 2022].

NGU, 2021. *Fordrøyningsbasseng.* [Internett]
Available at:
https://www.ngu.no/grunnvanninorge/arealforvaltning/klimatilpasning/fordroyningsbasseng
[Funnet 24 April 2022].

NGU, 2021. *Regnbed.* [Internett]
Available at: https://www.ngu.no/grunnvanninorge/arealforvaltning/klimatilpasning/regnbed
[Funnet 24 April 2022].

Noreng, K. et al., 2012. *Grønne tak. Resultater fra et kunnskapsinnhentingsprosjekt,* s.l.: Sintef.

NOAA National Centers for Environmental information, 2022. *Climate at a Glance: Global Time Series.* [Internett]

Available at: https://www.ncdc.noaa.gov/cag/
[Funnet 10 Mai 2022].

NTNU, u.d. *Campussamling.* [Internett]
Available at: https://www.ntnu.no/campusutvikling/campussamling
[Funnet 7 April 2022].

nve, 2021. *Lær om overvann.* [Internett]
Available at: https://www.nve.no/naturfare/laer-om-naturfare/laer-om-overvann/
[Funnet 12 Mai 2022].

Oslo kommune, 2015. *Prinsipper for gjenåpning av elver og bekker i Oslo,* Oslo: Oslo Kommune.

Oslo Kommune, u.d. *Strategi for overvannshåndtering i Oslo,* s.l.: Oslo Kommune.

Parnas, F. E. Å., Abdalla, E. M. H. & Muthanna, M. T., 2021. Evaluating three commonly used infiltration methods for permeable surfaces in urban areas using the SWMM and STORM. *IWA Publishing*, 4 Januar.

Paus, K. H. & Braskerud, B. C., 2013. *Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold.* [Internett]
Available at: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2013_872571.pdf
[Funnet 24 April 2022].

Rambæk, I., 2021. *Åpne bekker redder byene fra oversvømmelse.* [Internett]
Available at: https://www.sintef.no/siste-nytt/2021/apne-bekker-redder-byene-fra-oversvommelse/
[Funnet 15 Mai 2022].

Rossman, L. A., 2015. *nepis.epa.gov.* [Internett]
Available at: https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P100N3J6.TXT
[Funnet 27 April 2022].

Rossman, L. A. & Huber, W. C., 2016. *nepis.epa.gov.* [Internett]
Available at: https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100P2NY.PDF?Dockey=P100P2NY.PDF
[Funnet 27 April 2022].

Rossman, R. A. & Simon, M., 2022. *epa.gov.* [Internett]
Available at: https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-02/storm-water-management-model-users-manual-version-5.2.pdf
[Funnet 22 April 2022].

Seter, K., 2021. *Store Norske Leksikon.* [Internett]
Available at: https://snl.no/styrtregn
[Funnet 22 April 2022].

Sivle, A. D., 2020. *frontnedbør.* [Internett]
Available at: https://snl.no/frontnedb%C3%B8r
[Funnet 22 April 2022].

Skrede, I. T., 2020. *nve.* [Internett]
Available at: https://www.nve.no/media/11205/skrede.pdf
[Funnet 1 Mai 2022].

Skaaraas, H. et al., 2015. *Overvann i byer og tettsteder — Som problem og ressurs.* [Internett]
Available at:
https://www.regjeringen.no/contentassets/e6db8ef3623e4b41bcb81fb23393092b/no/pdfs/nou201520150016000dddpdfs.pdf
[Funnet 22 April 2022].

SNL, 2020. *porøsitet.* [Internett]
Available at: https://snl.no/por%C3%B8sitet
[Funnet 27 April 2022].

Stiftelsen VA/Miljø-blad, 2008. *Utforming av overvannsdammer.* [Internett]
Available at: https://www.va-blad.no/wp-content/uploads/2014/11/Blad-75_09.11.08.pdf
[Funnet 24 April 2022].

Storm Aqua, u.d. *Infiltrasjonskum.* [Internett]
Available at: https://www.multiblokk.no/stormaqua/document.aspx?nodeid=7560&docid=10823
[Funnet 26 April 2022].

Takringen, u.d. *Grønne tak.* [Internett]
Available at: https://takringen.no/tjenester/gronne-tak/
[Funnet 8 April 2022].

Trondheim Kommune, 2020. *Beregning av overvannsmengde. Dimensjonering av ledning og fordrøyningsvolum.* [Internett]
Available at: https://www.va-norm.no/wp-content/uploads/2020/02/Vedlegg-5-Beregning-av-overvannsmengde.pdf
[Funnet 25 April 2022].

Trondheim kommune, 2022. *va.norm.* [Internett]
Available at: https://va-norm.no/trondheim
[Funnet 25 April 2022].

varsom.no, u.d. *Ordliste for flom.* [Internett]
Available at: https://www.varsom.no/flom-og-jordskred/ordliste/ordliste-for-flom/
[Funnet 22 April 2022].

Varsom, u.d. *varsom.no.* [Internett]
Available at: https://www.varsom.no/flom-og-jordskred/om-flom-og-jordskred/varflom/
[Funnet 8 April 2022].

Vijzelaar, H. J. & Lynglund, M., 2020. *PLS: Hva er det, og hvordan er det oppbygd?.* [Internett]
Available at: https://ndla.no/nb/subject:1:8c5a9fdd-4fa4-456b-9afe-34e7e776b4e7/topic:ce841519-de73-4349-870f-2240e5276bc0/resource:3eca6f64-0408-46bc-aa3c-827c7ead3352
[Funnet 1 Mai 2022].

Wavin, 2020. *Wavin.com.* [Internett]
Available at: https://www.wavin.com/nn-no/Catalogue/Overvann/Fordroye-og-infiltrere/Infiltrasjonskassett-Q-Bic-Plus
[Funnet 26 April 2022].

Wavin, u.d. *wavin.com.* [Internett]
Available at: https://www.wavin.com/nn-no/kunnskapssenter/prosjekter/norges-storste-q-bic-plus-anlegg-under-den-nye-lekegrinda-til-valerenga
[Funnet 26 April 2022].

Worthen, L. L. & Davidson, I. C., 2018. *Healthy, Intelligent and Resilient Buildings and Urban Environments,* Syracuse: Syracuse University.

Ødegaard, H. et al., 2014. I: *Vann- og avløpsteknikk.* 2. Utgave red. Hamar: Norsk Vann.

Aas, M. I., 2017. *Infiltrasjonssandfang.* [Masteroppgave]. NTNU.
Available at: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2458150/17386_FULLTEXT.pdf?sequence=1
[Funnet 26 April 2022].

9. Vedleggsoversikt

1 VEDLEGG A: ARTIKKEL OG PLAKAT

VEDLEGG A1: ARTIKKEL

VEDLEGG A2: PLAKAT

2 VEDLEGG B: Påslipps- og fordrøyningsberegninger

VEDLEGG B1: Beregninger av krav, Modell I

VEDLEGG B2: Beregninger av krav, Modell II

VEDLEGG B3: Beregninger av krav, Modell III

3 VEDLEGG C: Nedbør

VEDLEGG C1: Rangert nedbør 1989-2019

VEDLEGG C2: Årsnedbør

VEDLEGG C3: Utregning av dimensjonerende timesregn

4 VEDLEGG D: Avrenning

VEDLEGG D1: Avrenning Modell I

VEDLEGG D2: Avrenning Modell II

VEDLEGG D2: Avrenning Modell III

5 VEDLEGG E: LOD-tiltak

VEDLEGG E1: Andel Grønne tak Modell II

VEDLEGG E2: Andel Grønne tak Modell III

VEDLEGG E3: Andel Permeable dekker Modell II

VEDLEGG E4: Andel Permeable dekker Modell III

VEDLEGG E5: Andel Regnbed Modell II og Modell III

VEDLEGG E6: Parametere for intensive tak

VEDLEGG E7: Parametere for ekstensive tak

VEDLEGG E8: Parametere for regnbed

VEDLEGG E9: Permeable dekker parametere

VEDLEGG E10: Resultat LOD-tiltak

6 VEDLEGG F: Kartgrunnlag AutoCAD

VEDLEGG F1: Grunnkart

VEDLEGG F2: Arkitekttegning over prosjektområde

7 VEDLEGG G: Kost-Nytte

Vedlegg G1: Kostnader blågrønne tiltak, Modell II

Vedlegg G2: Kostnader blågrønne tiltak, Modell III

Nye løsninger for overvannet

Gløshaugen skal de neste årene gjennomgå betydelig utbygging. Dette krever ny håndtering av overvannet. Våren 2022 har et studentprosjekt tatt for seg bærekraftige løsninger for å løse overvannsproblematikken.

Forfattere: Mads Kandola Dahl og Petter Kalland

Trondheim 20. Mai. 2022

Illustrasjon av prosjektområde

Områdeillustrasjon av campus Gløshaugen, C.F. Møller Architects

Utfordringene i kø

Klimaendringer og urbanisering fører med seg økende utfordringer tilknyttet overvann. Eldre ledningsnett får kapasitetsproblemer og krever kostbare endringer. I fremtiden ser man også økende utfordringer knyttet til flom og oversvømmelser. Dette har ført til strengere krav fra myndighetene som krever gode løsninger for å oppfylles.

Blågrønne tiltak

Løsningene som er på full fart inn i bransjen innebærer det som kalles blågrønne tiltak. Dette er tiltak på overflaten som i stor grad stopper vannet allerede før det renner ned i ledningene. Man kan se for seg grønne, frodige tak, eller store bed med planter. Tiltakene vil også holde igjen vann ved store nedbørsmengder, slik at de store flomtoppene blir jevnet ut. Det er mye som tyder på at dette er fremtiden. I dag blir problemer tilknyttet overvann normalt løst med nedgravde volum som samler opp og forsinker vannet. Målet er å lage konkurransedyktige alternativer på overflaten som blir førstevalget for fremtidig utbygging.

NTNU campusprosjekt

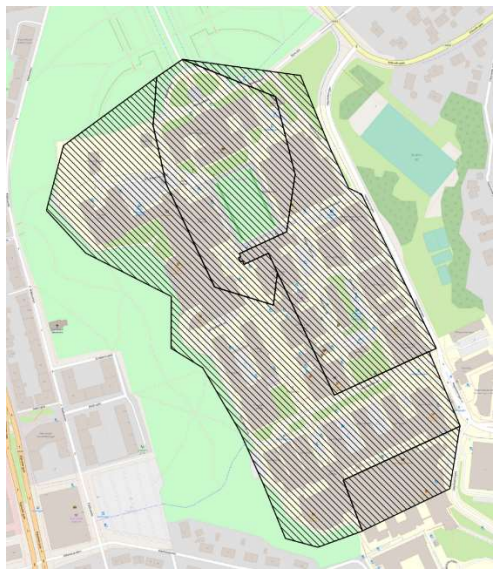
Campusprosjektet er et glimrende eksempel på en moderne utbygging hvor nye løsninger er i fokus. Her skal det bygges for fremtiden og overvannsløsningene er intet unntak. Gjennom våren har studentgruppen sett på hvordan blågrønne tiltak kan implementeres på best mulig måte. Gruppen har simulert ulike løsninger og sett på mulighetene for å løse utfordringene.

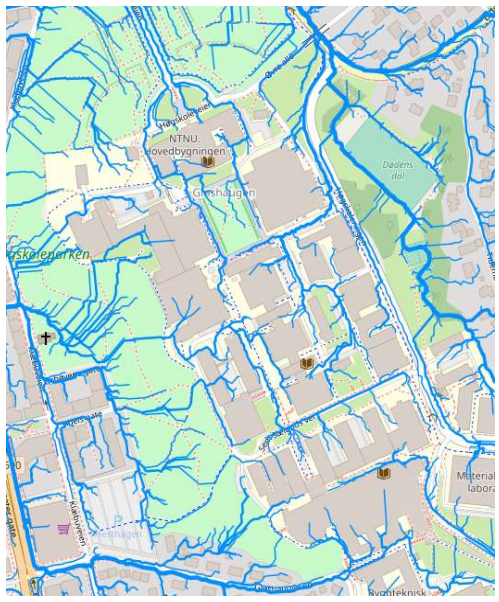
Lovende resultater

Resultatene for prosjektet har vist seg å være svært lovende. Det finnes muligheter for å håndtere overvannet med blågrønne løsninger, og potensielt erstatte de tradisjonelle løsningene i fremtiden

Det finnes usikkerheter knyttet til beregningene. Uansett er det liten tvil om at tiltakene har stort potensiale og videre prosjekter vil kunne ta utgangspunkt i at blågrønne løsninger er et godt alternativ.

Institutt for bygg- og miljøteknikk





Områdeillustrasjon av campus Gløshaugen, C.F. Møller Architects

Prosjektbeskrivelse

Oppgaven har som formål å undersøke hvor stor effekt implementering av blågrønne løsninger som overvannstiltak har på utbyggingsprosjektet ved NTNUs campus Gløshaugen i Trondheim. Blågrønne løsninger er overvannstiltak som utnytter egenskapene til vannet og håndterer overvannet lokalt med infiltrasjon, fordrøyning og forsinking.

Analyser

- Dimensjonering av blågrønne løsninger
- Simulering av overflateavrenning og infiltrasjon
- Sammenlikne videreførte vannmengder mot påslippskrav fra kommunen
- Kost-nytte analyse

Resultat

Simuleringer fra dataprogram viser at infiltrasjonskapasitet og fordrøyningseffekten til blågrønne tiltak er signifikant og kan være nok til å møte krav fra kommunen, slik at det ikke behøves tradisjonelle løsninger. Resultatene fra simuleringene viste også at usikkerhetsmomenter og egne valg har mye å si for resultatene, og dermed hva slags løsninger som velges.

Prosjektnummer: 2022-01 Mads Kandola Dahl og Petter Kalland

Intern veileder: Marius Møller Rokstad Eksterne veiledere: Jesper Andreas Oveland Vimme og Thomas Tangstad

Vedlegg B1: Beregninger av krav, modell I

Subcatchment 1		
Totalt areal [m2]	31700	
Flater	**Avrenningskoeffisient**	**Areal [m2]**
Tak	0.9	
Hovedbygg		5050
Gamle elektro		3540
Varmeteknisk		2120
Stripa		479
Semipermeable flater	0.7	13591
Plen og grønt	0.3	6920
Phi	0.683274448	
Redusert areal m^2	21659.8	
Videreført vannmengde [l/s]	102.5201878	
Nødvendig fordrøyning [m/m2]	0.007	
Fordrøyningsvolum [m3]	151.6186	

Subcatchment 2		
Totalt areal [m2]	34500	
Flater	**Avrenningskoeffisient**	**Areal [m2]**
Tak	0.9	
Varmeteknisk		3395
Gruvedrift		2606
Kjelhuset		3900
HumSam		1615
Skiboli		1280
Stripa		4025
Semipermeable flater	0.7	14491
Plen	0.3	3188
phi	0.760550725	
Redusert areal	26239	
Videreført vannmengde [l/s]	124.0187793	
Nødvendig fordrøyning [mm/m^2]	0.007	
Fordrøyningsvolum[m3]	183.673	

Subcatchment 3		
Totalt areal [m2]	66900	
Flater	**Avrenningskoeffisient**	**Areal [m2]**
Tak	0.9	
Kjemiblokkene		11095
Gamle fysikk + IT		3637
Stripa		3501
Nybygg horizon		1806
Gamle elektro		3024
A0		2530
Semipermeable flater	0.7	27226
Plen	0.3	14081
phi	0.69231988	
Redusert areal	46316.2	
Videreført vannmengde [l/s]	218.2779343	
Nødvendig fordrøyning [m/m2]	0.007	
Fordrøyningsvolum [m^3]	324.2134	

Subcatchment 4		
Totalt areal m^2	7100	
Flater	**Avrenningskoeffisient**	**Areal [m^2]**
Tak og asfalt	0.9	6715
Semipermeable flater	0.7	385
Plen	0.3	0
phi	0.9	
Redusert areal	6390	
Videreført vannmengde [l/s]	30.83098592	
Nødvendig fordrøyning [m/m2]	0.007	
Fordrøyningsvolum [m^3]	44.73	

Vedlegg B2: Beregninger av krav, modell II

Subcatchment 1		
Totalt areal [m^2]	31700	
Flater	**Avrenningskoeffisient**	**Areal [m^2]**
Tak	0.9	
hovedbygget		3644
Gamle elektro		1687
Varmeteknisk		2120
Stripa		94
Semipermeable flater	0.7	5981
Plen og grønt	0.3	6920
Intensive tak	0.5	3644
Ekstensive tak	0.6	1105
Regnbed	0.4	3170
Permeable dekker	0.5	3335
Phi	0.582766562	
Redusert areal m^2	18473.7	
Videreført vannmengde [l/s]	87.56197183	
Nødvendig fordrøyning [m/m2]	0.007	
Fordrøyningsvolum [m^3]	129.3159	

Subcatchment 2		
Totalt areal [m^2]	34500	
Flater	**Avrenningskoeffisient**	**Areal [m^2]**
Tak og asfalt	0.9	
varmeteknisk		3395
gruvedrift		585
Kjelhuset		391
HumSam		242
Skiboli		192
Stripa		2440
Semipermeable flater	0.7	4441
Plen	0.3	3188
Intensive tak	0.5	9576
Ekstensive tak	0.6	0
Regnbed	0.4	3450
Permeable dekker	0.5	6600
Phi	0.581263768	
Redusert areal	20053.6	
Videreført vannmengde [l/s]	94.97934272	
Nødvendig fordrøyning [m/m2]	0.007	
Fordrøyningsvolum[m^3]	140.3752	

Subcatchment 3		
Totalt areal [m^2]	66900	
Flater	**Avrenningskoeffisient**	**Areal [m^2]**
Tak	0.9	
Kjemiblokkene		4218
Gamle fysikk + IT		1504
Stripa		2395
Nybygg horizon		451
Gamle elektro		3024
A0		788
Semipermeable flater	0.7	16961
Plen	0.3	14081
Intensive tak	0.5	4203
Ekstensive tak	0.6	9010
Regnbed	0.4	6690
Permeable dekker	0.5	3575
Phi	0.586098655	
Redusert areal	39210	
Videreført vannmengde [l/s]	184.915493	
Nødvendig fordrøyning [m/m2]	0.007	
Fordrøyningsvolum [m^3]	274.47	

Subcatchment 4		
Totalt areal [m^2]	7100	
Flater	**Avrenningskoeffisient**	**Areal [m^2]**
Tak og asfalt	0.9	6045
Semipermeable flater	0.7	385
Plen	0.3	0
Intensive tak	0.5	670
Ekstensive tak	0.6	0
Regnbed	0.4	0
Permeable dekker	0.5	0
Phi	0.813450704	
Redusert areal	5775.5	
Videreført vannmengde [l/s]	26.94600939	
Nødvendig fordrøyning [m/m2]	0.007	
Fordrøyningsvolum [m^3]	40.4285	

Vedlegg B3: Beregninger av krav, modell III

Subcatchment 1		
Totalt areal m^2	31700	
Flater	**Avrenningskoeffisient**	**Areal [m²]**
Tak	0.9	
hovedbygget		3644
Gamle elektro		3540
Varmeteknisk		2120
Stripa		94
Semipermeable flater	0.7	10336
Plen og grønt	0.3	6920
Intensive tak	0.5	1791
Ekstensive tak	0.6	0
Regnbed	0.4	1585
Permeable dekker	0.5	1670
Phi	0.635138801	
Redusert areal m^2	20133.9	
Videreført vannmengde [l/s]	95.35633803	
Nødvendig fordrøyning [m/m2]	0.007	
Fordrøyningsvolum [m^3]	140.9373	

Subcatchment 2		
Totalt areal m^2	34500	
Flater	**Avrenningskoeffisient**	**Areal [m^2]**
Tak	0.9	
Varmeteknisk		3395
Sør for varmeteknisk		3400
Kjelhuset		1303
HumSam		807
Skiboli		640
Stripa		3225
Semipermeable flater	0.7	11272
Plen	0.3	3188
Intensive tak	0.5	4051
Ekstensive tak	0.6	0
Regnbed	0.4	619
Permeable dekker	0.5	2600
Phi	0.693127536	
Redusert areal	23912.9	
Videreført vannmengde [l/s]	113.0981221	
Nødvendig fordrøyning [mm/m^2]	0.007	
Fordrøyningsvolum[m^3]	167.3903	

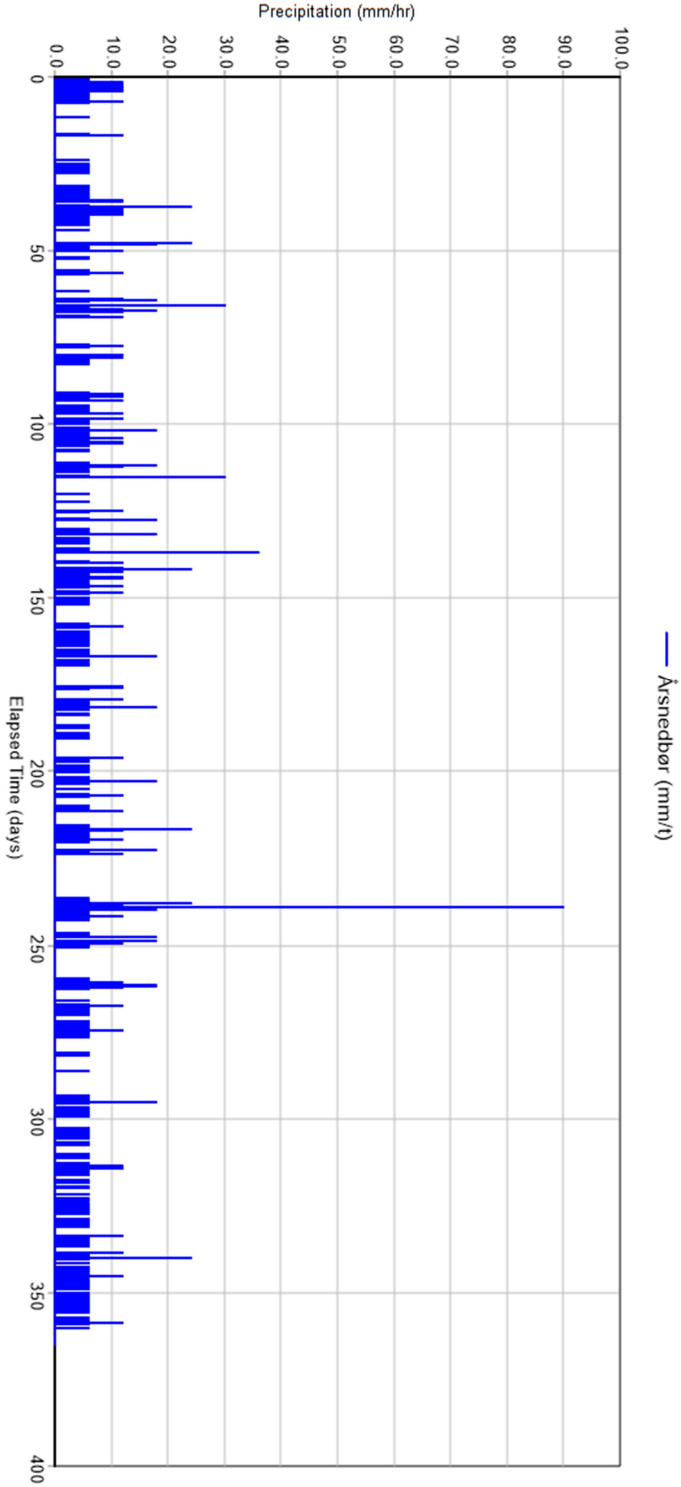
Subcatchment 3		
Totalt areal m^2	66900	
Flater	**Avrenningskoeffisient**	**Areal [m^2]**
Tak	0.9	
Kjemiblokkene		11095
Gamle fysikk + IT		3637
Stripa		2951
Nybygg horizon		906
Gamle elektro		3024
A0		1505
Semipermeable flater	0.7	22181
Plen	0.3	14081
Intensive tak	0.5	2475
Ekstensive tak	0.6	0
Regnbed	0.4	3345
Permeable dekker	0.5	1700
Phi	0.657439462	
Redusert areal	43982.7	
Videreført vannmengde [l/s]	207.3225352	
Nødvendig fordrøyning [m/m2]	0.007	
Fordrøyningsvolum [m^3]	307.8789	

Subcatchment 4		
Totalt areal m^2	7100	
Flater	**Avrenningskoeffisient**	**Areal [m^2]**
Tak	0.9	6045
Semipermeable flater	0.7	385
Plen	0.3	0
Intensive tak	0.5	670
Ekstensive tak	0.6	0
Regnbed	0.4	0
Permeable dekker	0.5	0
Phi	0.813450704	
Redusert areal	5775.5	
Videreført vannmengde [l/s]	27.94600939	
Nødvendig fordrøyning [m/m2]	0.007	
Fordrøyningsvolum [m^3]	40.4285	

Vedlegg C1: Rangert nedbør 1989 – 2019

rangering	*år*	*årlig nedbør [mm]*
1	*2007*	*1129.799*
2	*2009*	*1127.997*
3	*1997*	*1119.685*
4	*2011*	*1101.108*
5	*2012*	*1066.305*
6	*2017*	*1048.299*
7	*2005*	*1016.309*
8	*2006*	*976.328*
9	*2015*	*952.823*
10	*1999*	*951.038*
11	*1991*	*940.923*
12	*1995*	*923.826*
13	*1992*	*916.663*
14	*2008*	*914.432*
15	*2016*	*888.334*
16	*1990*	*883.74*
17	*2003*	*875.541*
18	*2004*	*854.244*
19	*2001*	*786.657*
20	*2000*	*785.755*
21	*1998*	*785.06*
22	*2010*	*782.577*
23	*2018*	*775.159*
24	*1989*	*756.263*
25	*2002*	*728.073*
26	*2013*	*720.073*
27	*1994*	*694.576*
28	*2014*	*631.893*
29	*1993*	*542.713*
30	*1996*	*500.721*

Vedlegg C2: Årsnedbør 2015



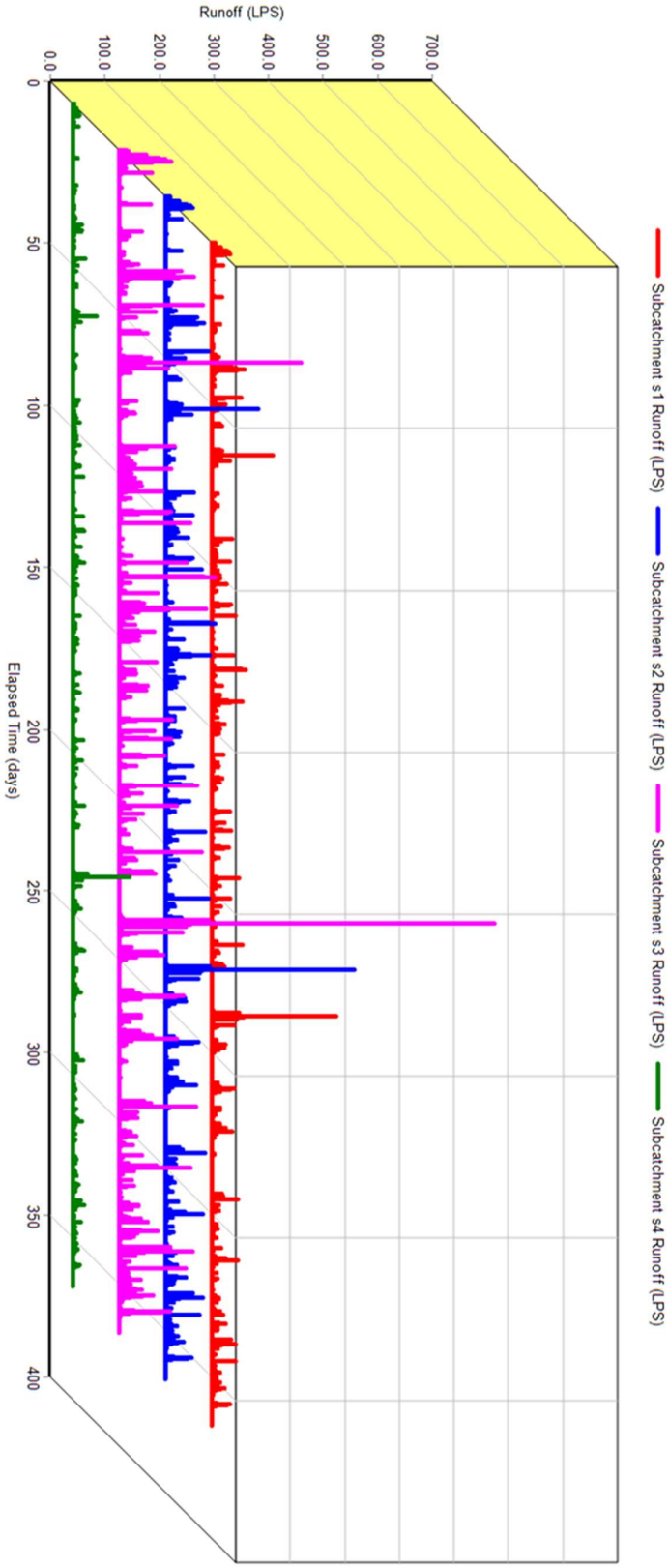
Vedlegg C3: Utregning dimensjonerende timesregn

	Varighet (min)															
	1	2	3	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440
2 år	1.0	1.7	2.3	3.2	4.5	5.4	5.9	6.8	8.1	9.0	10.7	12.4	15.0	22.0	31.0	40.8
5 år	1.5	2.6	3.4	4.7	6.6	7.9	8.6	9.8	11.2	12.3	14.1	16.1	19.3	27.8	38.6	51.2
10 år	1.9	3.2	4.3	5.9	8.1	9.7	10.5	11.9	13.5	14.7	16.6	18.8	22.4	32.1	44.1	58.7
20 år	2.2	3.8	5.1	7.0	9.7	11.5	12.6	14.2	16.0	17.2	19.2	21.7	25.6	36.7	49.8	66.3
25 år	2.3	4.0	5.5	7.5	10.3	12.2	13.2	14.9	16.9	18.1	20.1	22.6	26.7	38.2	51.7	68.9
50 år	2.7	4.7	6.5	8.8	12.0	14.2	15.4	17.4	19.6	20.9	23.0	25.7	30.2	43.2	57.9	77.1
100 år	3.1	5.5	7.5	10.2	13.8	16.3	17.8	20.2	22.7	23.9	26.1	29.1	34.0	48.6	64.6	85.7
200 år	3.5	6.3	8.7	11.7	15.8	18.7	20.4	23.2	26.0	27.3	29.5	32.7	38.1	54.7	71.8	94.9

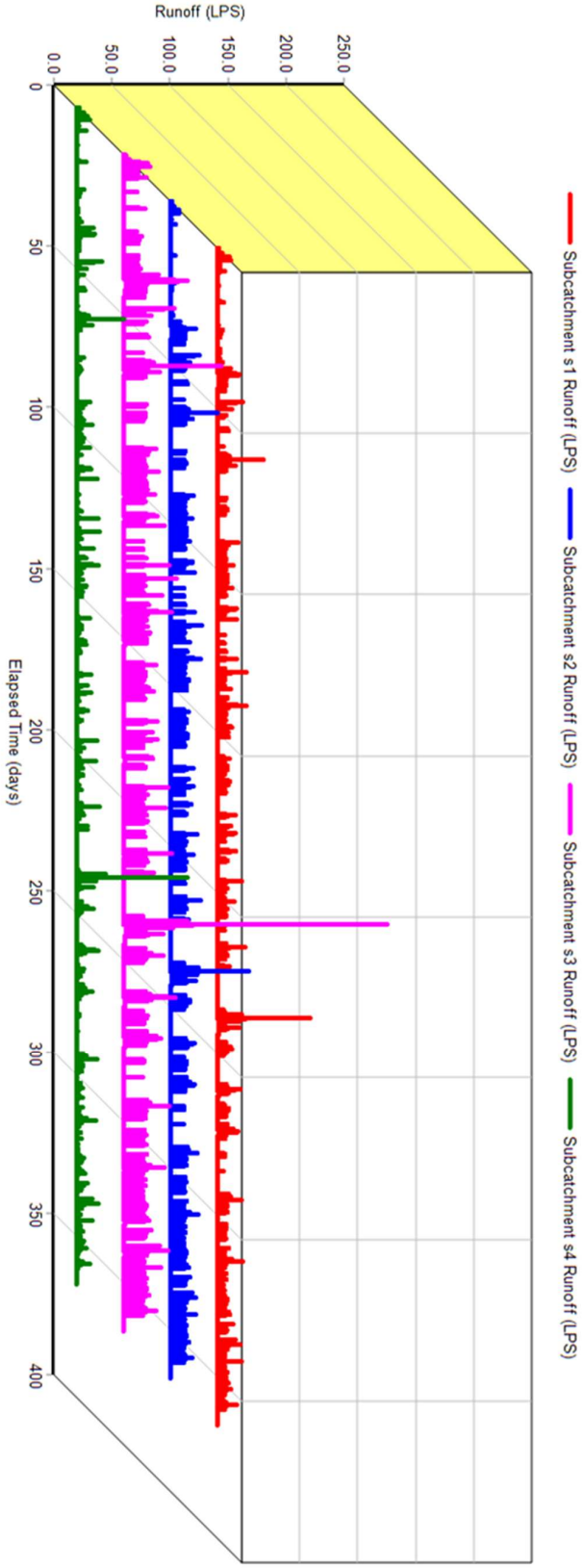
Nedbørsummer fra VA-Norm, Trondheim Kommune

Varighet (min)	Vannsøyle (mm)	Vannsøyle m/ klimafaktor (mm)	Intensitet(mm/time)
4.00	6.05	8.47	127.05
8.00	8.62	12.07	53.97
12.00	10.42	14.59	37.8
16.00	11.72	16.41	27.3
20.00	12.60	17.64	18.48
24.00	13.24	18.54	13.44
28.00	13.88	19.43	13.44
32.00	14.44	20.22	11.76
36.00	14.92	20.89	10.08
40.00	15.40	21.56	10.08
44.00	15.88	22.23	10.08
48.00	16.24	22.74	7.56
52.00	16.56	23.18	6.72
56.00	16.88	23.63	6.72
60.00	17.20	24.08	6.72

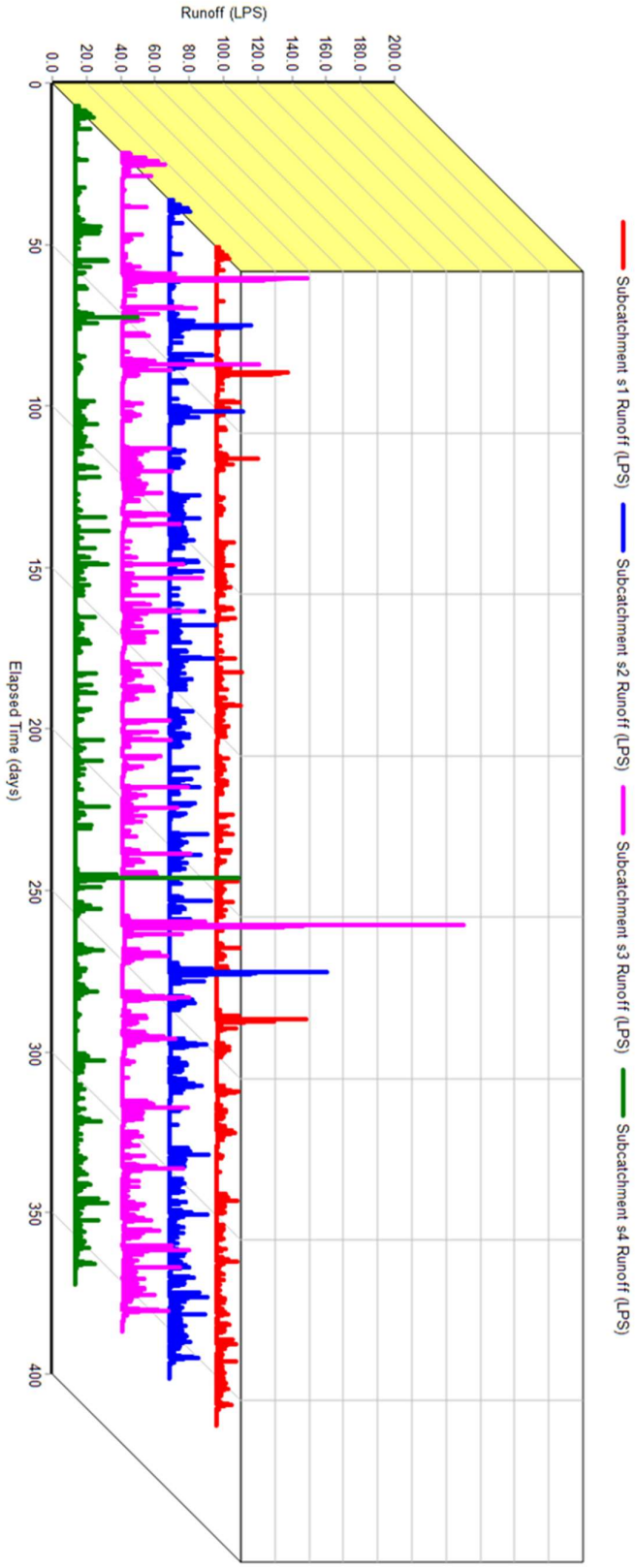
Vedlegg D1: Avrenning Modell I



Vedlegg D2: Avrenning Modell II



Vedlegg D3: Avrenning Modell III



Vedlegg E1: Andel grønne tak, Modell II

Nedslagsfelt	Ulike bygg	Totalt areal [m^2]	Andel tilgjengelig for grønne tak [m^2]	type tak
S1	Hovedbygg	5050	1406	Intensivt
	Gamle elektro	3540	1853	Intensivt
	Varmeteknisk	2120	1105	Ekstensive
	Stripa (vest)	479	385	Intensivt
	SUM:	**11189**	**4749**	
S2	Varmeteknisk	3395	0	
	Strømningsteknisk	3900	3315	Intensivt
	Metallurgi	2606	2215	Intensivt
	HumSam	1615	1373	Intensivt
	Planlagt nybygg	1280	1088	Intensivt
	Stripa (øst)	4025	1585	Intensivt
	SUM:	**16821**	**9576**	
S3	Kjemiblokkene	11095	6877	Ekstensive
	IT-bygget + gamle fysikk	3637	2133	Ekstensive
	Stripa (vest)	3501	1106	Intensivt
	Nybygg: Horizon	1806	1355	Intensivt
	Gamle elektro	3024	0	
	Teknisk Kybernikk	2530	1742	Intensivt
	SUM:	**25593**	**13213**	
S4	Realfagsbygget	6715	670	Intensivt
	SUM:	**6715**	**670**	

Vedlegg E2: Andel grønne tak, Modell III

Nedslagsfelt	Ulike bygg	Totalt areal [m^2]	Andel tilgjengelig for grønne tak [m^2]	Type tak
S1	Hovedbygg	5050	1406	Intensivt
	Gamle elektro	3540	0	
	Varmeteknisk	2120	0	
	Stripa (vest)	479	385	Intensivt
	SUM:	**11189**	**1791**	
S2	Varmeteknisk	3395	0	
	Strømningsteknisk	3900	500	Intensivt
	Metallurgi	2606	1303	Intensivt
	HumSam	1615	808	Intensivt
	Planlagt nybygg	1280	640	Intensivt
	Stripa (øst)	4025	800	Intensivt
	SUM:	**16821**	**4051**	
S3	Kjemiblokkene	11095	0	
	IT-bygget + gamle fysikk	3637	0	
	Stripa (vest)	3501	550	Intensivt
	Nybygg: Horizon	1806	900	Intensivt
	Gamle elektro	3024	0	
	Teknisk Kybernikk	2530	1025	Intensivt
	SUM:	**25593**	**2475**	
S4	Realfagsbygget	6715	670	Intensivt
	SUM:	**6715**	**670**	

Vedlegg E3: Andel permeable dekker, Modell II

Nedslagsfelt	Gangveier/opphold	Totalt areal [m^2]	Areal for permeable dekker [m^2]
S1	Gangvei rundt frimerket	950	950
	Område vest for stripa	2385	2385
	SUM:	**3335**	**3335**
S2	Sammenhengende opphold øst for stripa	6600	6600
	SUM:	**6600**	**6600**
S3	Område vest for stripa	2000	2000
	Arealer mellom kjemiblokkene	1575	1575
	SUM:	**3575**	**3575**
S4	Ingen mulighet	0	0
	SUM:	0	0

Vedlegg E4: Andel permeable dekker, Modell III

Nedslagsfelt	Gangveier/opphold	Totalt areal [m^2]	Areal for permeable dekker [m^2]
S1	Gangvei rundt frimerket	950	0
	Område vest for stripa	2385	1670
	SUM:	**3335**	**1670**
S2	Sammenhengene opphold øst for stripa	6600	2600
	SUM:	**6600**	**2600**
S3	Område vest for stripa	2000	1700
	Arealer mellom kjemiblokkene	1575	0
	SUM:	**3575**	**1700**
S4	Ingen mulighet	0	0
	SUM:	0	0

Vedlegg E5: Andel regnbed, Modell II og Modell III

Modell II

Nedslagsfelt	Areal regnbed [m^2]
S1	1585
S2	1730
S3	3350
S4	0

Modell III

Nedslagsfelt	Areal regnbed [m^2]
S1	3170
S2	3450
S3	6690
S4	0

Vedlegg E6: Parametere for intensive tak

Lag	Parameter	Verdi	Kilde
Surface	Berm Height	50 mm	Valgt
	Vegetation volume	0.1	(Rossman, 2015)
	Surface Roughness	0	(Rossman, 2015)
	Surface Slope	0%	Valgt
Soil	Thickness [mm]	400 mm	(Noreng, et al., 2012)
	Porosity	0.5	(SNL, 2020)
	Field capacity	0.4	(Rossman & Huber, 2016)
	Wilting point	0.1	(Rossman & Huber, 2016)
	Conductivity	120 mm/t	Antar likt som regnbed
	Conductivity slope	45	Antar likt som regnbed
	Suction Head	50 mm	(Rossman & Huber, 2016)
Drainage mat	Thickness	25 mm	(Rossman & Huber, 2016)
	Void fraction	0.4	(Rossman & Huber, 2016)
	Roughness	0.01	(Rossman & Huber, 2016)

Vedlegg E7: Parametere for ekstensive tak

Lag	Parameter	Verdi	Kilde
Surface	Berm Height [mm]	50	(Noreng, et al., 2012)
	Vegetation volume	0.1	(Rossman, 2015)
	Surface Roughness	0	(Rossman, 2015)
	Surface Slope [%]	0	Valgt
Soil	Thickness [mm]	50	(Noreng, et al., 2012)
	Porosity	0.5	(SNL, 2020)
	Field capacity	0.4	(Rossman & Huber, 2016)
	Wilting point	0.1	(Rossman & Huber, 2016)
	Conductivity	120 mm/t	Antar likt som regnbed
	Conductivity slope	45	Antar likt som regnbed
	Suction Head [mm]	50	(Rossman & Huber, 2016)
Drainage mat	Thickness [mm]	15	(Rossman & Huber, 2016)
	Void fraction	0.4	(Rossman & Huber, 2016)
	Roughness	0.01	(Rossman & Huber, 2016)

Vedlegg E8: Parametere for regnbed

Lag	Parameter	Verdi	Kilde
Surface	Berm Height	200 mm	(Paus & Braskerud, 2013)
	Vegetation volume	0.1	(Rossman, 2015)
	Surface Roughness	0	(Rossman, 2015)
	Surface Slope	0%	(Rossman, 2015)
Soil	Thickness	600 mm	(Paus & Braskerud, 2013)
	Porosity	0.5	(SNL, 2020)
	Field capacity	0.2	(Rossman & Huber, 2016)
	Wilting point	0.1	(Rossman & Huber, 2016)
	Conductivity	120 mm/t	(Paus & Braskerud, 2013)
	Conductivity slope	45	(Rossman, 2015)
	Suction Head	76 mm	(Rossman & Huber, 2016)
Storage	Thickness	300 mm	Valgt
	Void ratio	0.75	(Rossman, 2015)
	Seepage rate	0.5 mm/t	Valgt
	Clogging factor	0 mm/t	Ser bort i fra
Drain	Flow coefficients	0.075	(Worthen & Davidson, 2018)
	Flow exponent	0.5	(Worthen & Davidson, 2018)
	Offset height	100 mm	Valgt

Vedlegg E9: Parametere for permeable dekker

Lag	Parameter	Verdi	Kilde
Pavement	Thickness	100 mm	(Asak miljøstein, 2021)
	Void ratio	0.15	SWMM-standard
	Impervious surface	0	SWMM-standard
	Permeability	360 mm/t	(Asak miljøstein, 2021)
	Clogging factor	0	Ser bort i fra
Soil	Thickness	200 mm	Antatt
	Porosity	0.5	(SNL, 2020)
	Field capacity	0.4	(Rossman & Huber, 2016)
	Wilting point	0	(Rossman & Huber, 2016)
	Conductivity	120 mm/t	Antar likt som regnbed
	Conductivity slope	45	Antar likt som regnbed
	Suction Head	50 mm	(Rossman & Huber, 2016)
Storage	Thickness	100 mm	Valgt
	Void ratio	0.75	(Rossman, 2015)
	Seepage rate	0.5 mm/t	Antatt
	Clogging factor	0	Ser bort i fra
Drain	Flow coefficients	0	Valgt
	Flow exponent	0	Valgt
	Offset height [mm]	0	Valgt

Vedlegg E10: Resultat for LOD-tiltak i Modell II og Modell III

Modell II

Delområde	LOD-tiltak	Totalt tilsig [mm]	Infilitrasjonstap [mm]	Overflateavrenning [mm]	Drenert [mm]	Endelig lagring [mm]	Kontinuitetstap [%]
S1	Regnbed	2975	2219	0	627	189	0
	Permeable dekker	1917	1755	0	0	80	4
	Intensive tak	953	0	0	833	160	0
	Ekstensive tak	953	0	0	937	21	0
S2	Regnbed	2571	2012	0	430	189	0
	Permeable dekker	1377	1289	0	0	80	8.8
	Intensive tak	953	0	0	833	160	0
S3	Regnbed	2900	2183	0	587	189	0
	Permeable dekker	6347	5480	0	0	80	13
	Ekstensive tak	953	0	0	937	21	0
	Intensive tak	953	0	0	833	160	0

Modell III

Delområde	LOD-tiltak	Totalt tilsig [mm]	Infilitrasjonstap [mm]	Overflateavrenning [mm]	Drenert [mm]	Endelig lagring [mm]	Kontinuitetstap [%]
S1	Regnbed	6865	3785	0	2927	213	0
	Permeable dekker	3767	3045	0	0	80	17
	Intensive tak	953	0	0	833	160	0
S2	Regnbed	7248	3823	8	3262	215	0.0
	Permeable dekker	2217	2013	0	0	80	5.6
	Intensive tak	953	0	0	833	160	0
S3	Regnbed	7103	3808	0	3140	214	0
	Permeable dekker	4600	3245	0	0	80	27.7
	Intensive tak	953	0	0	833	160	0

Vedlegg F1: Grunnkart

Vedlegg F2: Arkitekttegning over prosjektområde

Vedlegg G1: Kostnader blågrønne tiltak, modell II

Modell II	Mengde ekstensive tak (m^2)	Pris ekstensive tak (kr/m^2)	Mengde intensive tak (m^2)	Pris intensive tak (kr/m^2)	Mengde permeable dekker (m^2)	Pris permeable dekker(kr/m^2)	Mengde regnbed	Pris regnbed(kr/m^2)	Total pris
S1	1105	500	3644	1100	3335	475	3170	1415	10630575
S2	0	500	9576	1100	6600	475	3450	1415	18550350
S3	9010	500	4203	1100	3575	475	6690	1415	20292775
S4	0	500	670	1100	0	475	0	1415	737000
Totalt	10115	2000	18093	4400	13510	1900	13310	5660	**50210700**

Vedlegg G2: Kostnader blågrønne tiltak, modell III

Modell III	Mengde intensive tak (m^2)	Pris intensive tak (kr/m^2)	Mengde permeable dekker (m^2)	Pris permeable dekker(kr/m^2)	Mengde regnbed	Pris regnbed(kr/m^2)	Total pris
S1	1791	1100	1670	475	1585	1415	5006125
S2	4051	1100	2600	475	1725	1415	8131975
S3	2475	1100	1700	475	3345	1415	8263175
S4	670	1100	0	475	0	1415	737000
Totalt	8987	4400	5970	1900	6655	5660	**22138275**

Vedlegg H1: Utdata EPA SWMM Modell I

```
EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.1 (Build 5.1.015)
--------------------------------------------------------------

WARNING 01: wet weather time step reduced to recording interval for Rain Gage Regn1
**********************************************************
NOTE: The summary statistics displayed in this report are
based on results found at every computational time step,
not just on results from each reporting time step.
**********************************************************
****************
Analysis Options
****************
Flow Units ............... LPS
Process Models:
  Rainfall/Runoff ........ YES
  RDII ................... NO
  Snowmelt ............... NO
  Groundwater ............ NO
  Flow Routing ........... YES
  Ponding Allowed ........ NO
  Water Quality .......... NO
Infiltration Method ...... HORTON
Flow Routing Method ...... KINWAVE
Starting Date ............ 01/01/2015 00:00:00
Ending Date .............. 12/31/2015 23:59:00
Antecedent Dry Days ...... 0.0
Report Time Step ......... 00:01:00
Wet Time Step ............ 00:01:00
Dry Time Step ............ 01:00:00
```

Routing Time Step ..... 30.00 sec

********** Volume Depth

Runoff Quantity Continuity hectare-m mm

********** --------- -------

Total Precipitation 13.360 952.900

Evaporation Loss 0.000 0.000

Infiltration Loss 2.344 167.161

Surface Runoff 11.024 786.282

Final Storage 0.000 0.031

Continuity Error (%) ..... -0.060

********** Volume Volume

Flow Routing Continuity hectare-m 10^6 ltr

********** --------- ---------

Dry Weather Inflow 0.000 0.000

Wet Weather Inflow 11.024 110.238

Groundwater Inflow 0.000 0.000

RDII Inflow 0.000 0.000

External Inflow 0.000 0.000

External Outflow 10.978 109.786

Flooding Loss 0.007 0.066

Evaporation Loss 0.000 0.000

Exfiltration Loss 0.000 0.000

Initial Stored Volume 0.000 0.000

Final Stored Volume 0.000 0.000

Continuity Error (%) 0.350

****

Highest Flow Instability Indexes

****

Link 3 (2)

Link 1 (2)

Link 2 (2)

Link 4 (1)

****

Routing Time Step Summary

****

Minimum Time Step : 29.00 sec

Average Time Step : 30.00 sec

Maximum Time Step : 30.00 sec

Percent in Steady State : 0.00

Average Iterations per Step : 1.14

Percent Not Converging : 0.00

****

Analysis begun on: Sun May 15 11:49:01 2022

Analysis ended on: Sun May 15 11:49:15 2022

Total elapsed time: 00:00:14

Vedlegg H2: Utdata EPA SWMM Modell II

```
EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.1 (Build 5.1.015)
--------------------------------------------------------------
WARNING 01: wet weather time step reduced to recording interval for Rain Gage Regn1
*********************************************************
NOTE: The summary statistics displayed in this report are
based on results found at every computational time step,
not just on results from each reporting time step.
*********************************************************
****************
Analysis Options
****************
Flow Units ............... LPS
Process Models:
  Rainfall/Runoff ........ YES
  RDII ................... NO
  Snowmelt ............... NO
  Groundwater ............ NO
  Flow Routing ........... YES
  Ponding Allowed ........ NO
  Water Quality .......... NO
Infiltration Method ...... HORTON
Flow Routing Method ...... KINWAVE
Starting Date ............ 01/01/2015 00:00:00
Ending Date .............. 12/31/2015 23:59:00
Antecedent Dry Days ...... 0.0
Report Time Step ......... 00:01:00
Wet Time Step ............ 00:01:00
Dry Time Step ............ 01:00:00
```

Routing Time Step ..... 30.00 sec

********** Volume Depth

Runoff Quantity Continuity hectare-m mm

********** --------- -------

Initial LID Storage 0.157 11.232

Total Precipitation 13.360 952.900

Evaporation Loss 0.000 0.000

Infiltration Loss 7.616 543.217

Surface Runoff 1.884 134.400

LID Drainage 3.196 227.982

Final Storage 0.671 47.895

Continuity Error (%) 1.104

********** Volume Volume

Flow Routing Continuity hectare-m 10^6 ltr

********** --------- ---------

Dry Weather Inflow 0.000 0.000

Wet Weather Inflow 5.081 50.806

Groundwater Inflow 0.000 0.000

RDII Inflow 0.000 0.000

External Inflow 0.000 0.000

External Outflow 5.395 53.952

Flooding Loss 0.002 0.024

Evaporation Loss 0.000 0.000

Exfiltration Loss 0.000 0.000

Initial Stored Volume 0.000 0.000

Final Stored Volume 0.000 0.000

Continuity Error (%) ..... -6.239

****

Highest Flow Instability Indexes

****

Link l2 (2)

Link l3 (2)

Link l1 (2)

Link l4 (1)

****

Routing Time Step Summary

****

Minimum Time Step : 29.00 sec

Average Time Step : 30.00 sec

Maximum Time Step : 30.00 sec

Percent in Steady State : 0.00

Average Iterations per Step : 1.19

Percent Not Converging : 0.00

****

Analysis begun on: Sun May 15 12:14:14 2022

Analysis ended on: Sun May 15 12:14:29 2022

Total elapsed time: 00:00:15

Vedlegg H3: Utdata EPA SWMM Modell III

```
EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.1 (Build 5.1.015)
--------------------------------------------------------------
WARNING 01: wet weather time step reduced to recording interval for Rain Gage Regn1
*********************************************************
NOTE: The summary statistics displayed in this report are
based on results found at every computational time step,
not just on results from each reporting time step.
*********************************************************
****************
Analysis Options
****************
Flow Units ............... LPS
Process Models:
  Rainfall/Runoff ........ YES
  RDII ................... NO
  Snowmelt ............... NO
  Groundwater ............ NO
  Flow Routing ........... YES
  Ponding Allowed ........ NO
  Water Quality .......... NO
Infiltration Method ...... HORTON
Flow Routing Method ...... KINWAVE
Starting Date ............ 01/01/2015 00:00:00
Ending Date .............. 12/31/2015 23:59:00
Antecedent Dry Days ...... 0.0
Report Time Step ......... 00:02:00
Wet Time Step ............ 00:01:00
Dry Time Step ............ 01:00:00
Routing Time Step ........ 30.00 sec
```

********** Volume Depth

Runoff Quantity Continuity hectare-m mm

********** --------- -------

Initial LID Storage 0.076 5.427

Total Precipitation 13.360 952.900

Evaporation Loss 0.000 0.000

Infiltration Loss 6.468 461.327

Surface Runoff 3.447 245.878

LID Drainage 2.837 202.323

Final Storage 0.335 23.910

Continuity Error (%) 2.597

********** Volume Volume

Flow Routing Continuity hectare-m 10^6 ltr

********** --------- ---------

Dry Weather Inflow 0.000 0.000

Wet Weather Inflow 6.284 62.838

Groundwater Inflow 0.000 0.000

RDII Inflow 0.000 0.000

External Inflow 0.000 0.000

External Outflow 6.244 62.441

Flooding Loss 0.003 0.027

Evaporation Loss 0.000 0.000

Exfiltration Loss 0.000 0.000

Initial Stored Volume 0.000 0.000

Final Stored Volume 0.000 0.000

Continuity Error (%) 0.590

****

Highest Flow Instability Indexes

****

Link l3 (2)

Link l2 (2)

Link l1 (2)

Link l4 (1)

****

Routing Time Step Summary

****

Minimum Time Step : 29.00 sec

Average Time Step : 30.00 sec

Maximum Time Step : 30.00 sec

Percent in Steady State : 0.00

Average Iterations per Step : 1.21

Percent Not Converging : 0.00

****

Analysis begun on: Sun May 15 11:59:44 2022

Analysis ended on: Sun May 15 11:59:58 2022

Total elapsed time: 00:00:14

Vedlegg H4: Utdata EPA SWMM Modell III (dimensjonerende timesregn)

```
EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.1 (Build 5.1.015)
--------------------------------------------------------------
WARNING 01: wet weather time step reduced to recording interval for Rain Gage Regn1
**********************************************************
NOTE: The summary statistics displayed in this report are
based on results found at every computational time step,
not just on results from each reporting time step.
**********************************************************
****************
Analysis Options
****************
Flow Units ............... LPS
Process Models:
  Rainfall/Runoff ........ YES
  RDII ................... NO
  Snowmelt ............... NO
  Groundwater ............ NO
  Flow Routing ........... YES
  Ponding Allowed ........ NO
  Water Quality .......... NO
Infiltration Method ...... HORTON
Flow Routing Method ...... KINWAVE
Starting Date ............ 01/01/2021 00:00:00
Ending Date .............. 01/01/2022 01:00:00
Antecedent Dry Days ...... 0.0
Report Time Step ......... 00:02:00
Wet Time Step ............ 00:02:00
Dry Time Step ............ 01:00:00
```

Routing Time Step ..... 30.00 sec

********** Volume Depth

Runoff Quantity Continuity hectare-m mm

********** --------- -------

Initial LID Storage 0.076 5.427

Total Precipitation 0.335 23.930

Evaporation Loss 0.000 0.000

Infiltration Loss 0.128 9.101

Surface Runoff 0.096 6.835

Final Storage 0.189 13.504

Continuity Error (%) ..... -0.281

********** Volume Volume

Flow Routing Continuity hectare-m 10^6 ltr

********** --------- ---------

Dry Weather Inflow 0.000 0.000

Wet Weather Inflow 0.096 0.958

Groundwater Inflow 0.000 0.000

RDII Inflow 0.000 0.000

External Inflow 0.000 0.000

External Outflow 0.066 0.663

Flooding Loss 0.030 0.301

Evaporation Loss 0.000 0.000

Exfiltration Loss 0.000 0.000

Initial Stored Volume 0.000 0.000

Final Stored Volume 0.000 0.000

Continuity Error (%) ..... -0.570

****

Highest Flow Instability Indexes

****

All links are stable.

****

Routing Time Step Summary

****

Minimum Time Step : 29.00 sec

Average Time Step : 29.99 sec

Maximum Time Step : 30.00 sec

Percent in Steady State : 99.99

Average Iterations per Step : 1.00

Percent Not Converging : 0.00

****

Analysis begun on: Sun May 15 12:07:41 2022

Analysis ended on: Sun May 15 12:07:46 2022

Total elapsed time: 00:00:05