

Kvantifisering av overvann

Case Brøset

Jon Egenberg Huurnink

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juni 2012

Hovedveileder: Sveinn T Thorolfsson, IVM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vann- og miljøteknikk

2012

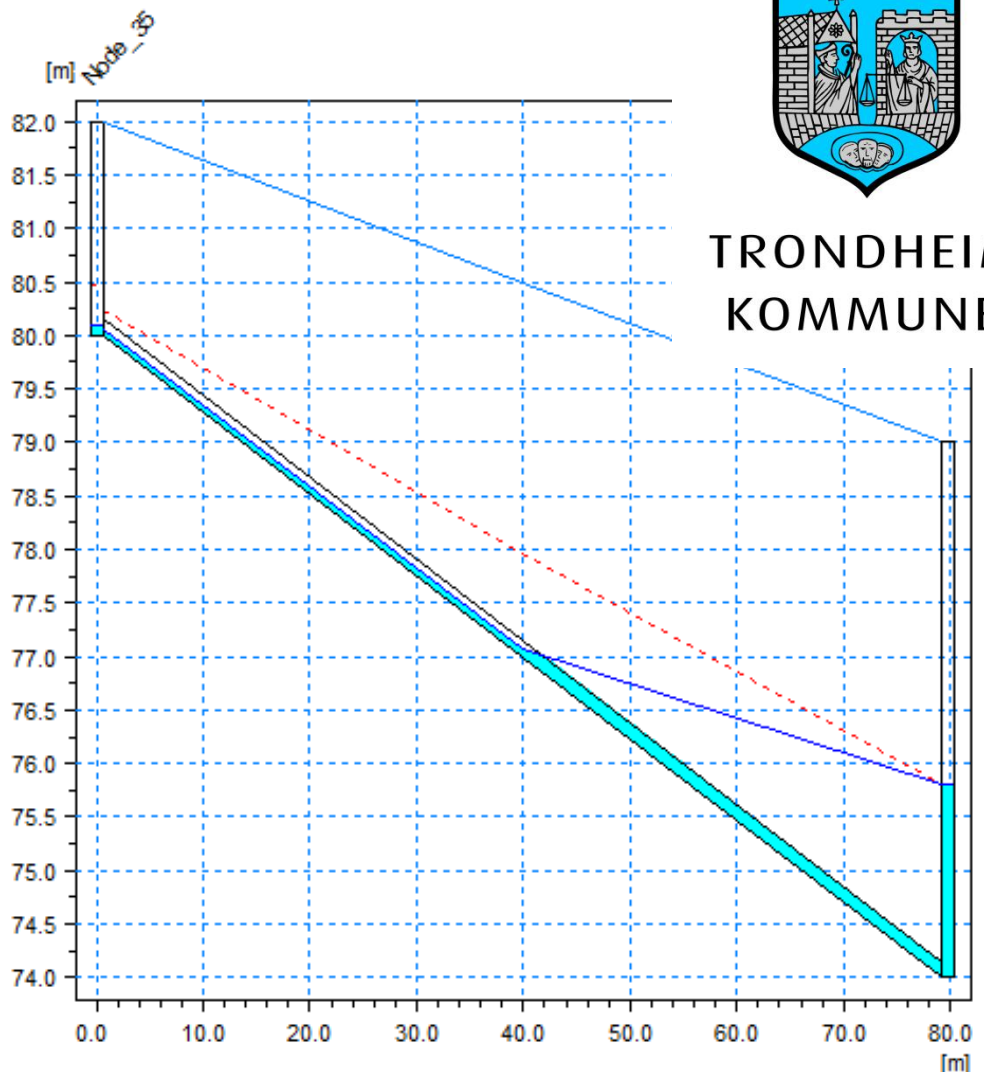
Fakultet for
ingeniørvitenskap og
teknologi

TVM 4905
Vannforsynings- og
avløpsteknikk,
masteroppgave

Jon Egenberg
Huurnink
Studentnummer
696987



TRONDHEIM
KOMMUNE



Institutt for vann- og miljøteknikk

[KVANTIFISERING AV OVERVANNSMENGDER CASE:BRØSET]

Rapporten inneholder dokumentasjon for dimensjonerende nedbørssituasjon, hvilken kvantitativ effekt som oppnås ved grønne tiltak, fordrøyning og flomveier.



INSTITUTT FOR VANN OG MILJØTEKNIKK
Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
**NTNU- Norges teknisk- naturvitenskapelige
universitet**

TILGJENGELIGHET

MASTEROPPGAVE 2012

FAGOMRÅDE:

Vann og avløpsteknikk

DATO:

10.juni.12

ANTALL SIDER:

71

TITTEL:

Kvantifisering av overvannsmengder, Case: Brøset.

SAMMENDRAG:

Masteroppgaven omhandler utbygging av Brøset bydel med fokus på overvannshåndteringen. Prosjektet «Framtiden byer» leter etter gode verktøy for klimavennlig utvikling. Min oppgave viser den systemresponsen som er særegen for konvensjonelle tiltak sammenlignet med blå-grønne tiltak. MIKE URBAN og MIKE 21 er benyttet til å lage en konseptuell modell.

Ved å sammenligne sommer- og vinterforhold, i tillegg til ulike gjentakintervaller (1, 20 og 100år), vil kurver for videreført vannmengde gi et inntrykk av tiltakenes effekt. Dette gir beslutningsstøtte for Kommunalteknikk når de vurderer endringer i kommunens VA-Norm.

Resultatene viser mer enn halvering av maksimal vannføring for alle forhold ved å velge fordrøyning eller blå-grønne tiltak fremfor konvensjonelle tiltak. Fordrøyning krever store sentraliserte volumer, mens blå-grønne tiltak på hver eiendom krever mange små og desentraliserte tiltak.

UTFØRT AV:

Jon Egenberg Huurnink



FAGLÆRER: Sveinn Torfi Thorolfsson

VEILEDER(E):

UTFØRT VED: Institutt for vann og miljøteknikk

1. FORORD

Rapporten er produktet av TVM 4905 Vannforsynings- og avløpsteknikk, masteroppgave. Jeg har fått hjelp, programvare og kartgrunnlag fra DHI i Trondheim ved daglig leder Tomas Eidsmo. Trondheim kommune har hjulpet til med terreng og kartgrunnlag. NTNUs avtale med ESRI om ArcGIS har vært til stor hjelp. ViaNova Trondheim AS har hjulpet med løsninger og datakraft fra blant annet Novapoint med utvidet vegmodul.

Takk for støtte, engasjement og tankekraft;

- Sveinn Torfi Thorolfsson, veileder og professor ved NTNU IVM
- Birgitte Johannessen, oppdragsgiver og sivilingeniør
- Olav Nilssen, oppdragsgiver og sivilingeniør
- Tomas Eidsmo, programvareleverandør og sivilingeniør
- Bjørnar Lynum, sivilingeniør

Jeg erklærer herved at NTNUs reglement for Hovedoppgaver er fulgt.



Jon Egenberg Huurnink, Trondheim 4. juni 2012

We do not want certainty;

we will be satisfied with engineering confidence.

De Marsily G, Combes P, Goblet P. Kommentarer til *Ground-water models cannot be validated* av Konikow LF, Bredehoeft JD. Utgitt i *Advances in Water Resources* (1992, utgave 15, side 367-269). Gjengitt av Refsgaard JC, Henriksen HJ i *Advances in Water Resources* (2004, utgave 27, side 71- 82). (1)

2. SAMMENDRAG

Framtidens byer er et prosjekt som Trondheim kommune deltar i. Bidraget fra kommunen er å bygge ut Brøset bydel på en fremtidsrettet måte. Ved å sammenligne videreført vannmengde for konvensjonelle tiltak og blå-grønne tiltak vil det gis beslutningsstøtte til kommunen i valg av utbyggingsstrategi.

Problemstillingen er å vurdere kvantitativ effekt av ulike overvannstiltak for utbyggingen på Brøset. Jeg har valgt en arealbasert konseptuell modell som simuleres i MIKE URBAN og MIKE 21. En sekvensiell modell gir andre muligheter og manglet den sterke koblingen til Brøset som var ønsket. Black box modell, som er et alternativ til konseptuell modell, krever en del måledata som ikke foreligger da Brøset ikke har urbanhydrologisk målestasjon. Modellen har behov for kalibrering og verifisering blant annet ved å bestå Klemeš topografiske test og formelverkstest. Men som Beldring sier har nedbør – avrenningsmodeller flere variabler enn bare de fysiske størrelsene på nedslagsfeltet.

Bedre klimatilpasning drives frem i Framtidens byer, men blant utbyggere og bransjen oppleves det som høy risiko å velge grønne løsninger. De grønne løsningene er uavklart økonomisk og hvorvidt de fungerer tilstrekkelig i kaldt klima. Korrespondanse med Norsk Vann viser at bransjen ikke tar initiativ på lik linje som blant annet Spildevandskomiteen i Danmark. Hjemmel i lovverket er klargjort gjennom blant annet VA Jus. Kommunen har mulighet for økonomiske og tekniske virkemidler gjennom avløpsgebyr og påslippskrav. Vanddirektivet som skulle styrke overvannshåndteringen gjelder ikke for små vassdrag. Kravene som gis i VA Normen må være avbalansert med nabokommuner slik at Trondheim kommune forblir forholdsmessig gunstig å bygge i.

I simuleringen er det benyttet observerte regnhendelser som har gitt skade med en justering slik at de faller innenfor IVF kurven. Burde det vært IVF kurver som skiller sommer og vinter også? Simuleringen gir høy belastning på systemene når vinter simuleres med intense sommerregn. MIKE URBAN og MIKE 21 har velprøvde algoritmer og jeg har forsøkt å vise oppsett, prosedyren og inngangsdata så tydelig som mulig. Følgende datatilnæringsfeil er diskutert; modelleringsfeil, numerisk feil, mangel på konvergens, avrundingsfeil, grensebetingelser, brukerfeil og kodefeil.

Den hydrauliske funksjonen til grønne tiltak er sammenlignet med konvensjonelle tiltak som sluk, rør og kummer. Initial loss, infiltrasjonsevne og hastighet på overflateavrenningen er de hydrauliske fordelene til grønne tiltak. Konklusjonen viser at fordrøyning, initial loss og lav vannhastighet har stor effekt, mens svært store fordrøyningsmagasin, infiltrasjonskapasitet og faste overløpsteskeler bidrar mindre til lav videreført vannmengde. Dagens situasjon viser at mange tiltak må settes inn for å unngå økning i vannføring ved en regnhendelse i fremtidig utbygging.

Simulering gir en indikasjon på hvilke tiltak som fungerer og hvor godt disse bidrar. Ved å benytte «.tin» fil i stedet for «.dem» fil og MIKE SHE kan nøyaktigheten i modellen bedres. Modellering tilsvarende det som er gjort i masteroppgaven er trolig et godt verktøy for en klimavennlig utvikling i framtidens byer.

3. SUMMARY

“Cities of the Future” is a project involving the 13 largest cities in Norway. Trondheim is contributing to the project by developing Brøset area accordingly to the goals of the project. By comparing the water outflow from Brøset different measures have been quantified.

The question to be answered is what quantitative effect do the different storm water measures provide at Brøset? I have chosen an area based, conceptual model in MIKE URBAN and MIKE 21. A sequential model has other benefits but lacks the strong area connection to Brøset. Alternatively to the conceptual model a black box model could be chosen, but Brøset has no ongoing urban hydrology surveillance. The model should be calibrated using a proxy basin, differential split sample test accordingly to Klemeš, while Beldring reminds us that a precipitation – runoff model requires more than just physical parameters.

Adjusting to a climate in change is pulled forward by Trondheim and other cities, but developers and the construction line of business find the risk too high for large scale building practice. Low impact development including “the green measures” has an uncertain cost and cold climate issues are not solved. The Norwegian Water Association is not taking effort in solving the issues if comparing to the Danish Society of Engineers. Law regulation allows for change in storm / waste water fees and limiting residential / industrial /commercial storm water discharge. The European Water Directive was intended to take a broad view on storm water and natural springs, but the Norwegian adaptations have limited this effect. The VA-Norm is the governing document in developing storm water, but if Trondheim would make great changes in this document, they risk losing a lot of development to neighboring areas due to increased risks /costs.

Empirical rain events have been used in developing simulated rain events with the recurrence of 2, 20 and 100 years. The IDF curves are not developed for the different seasons giving a very intense summer rain on simulated winter conditions in the simulation. MIKE URBAN and MIKE 21 have well-made algorithms but some errors are probable in computational fluid dynamics. I have put a lot of effort in making a transparent simulation setup with as detailed explanation as possible to limit some of these errors.

Conclusions after simulation tend to show that storage basins, initial loss and slow sheet flow makes great reduction in peak discharge, while infiltration, ponds with fixed spillways and extra-large storage basins have only small contributions in reducing peak discharge. Considering the discharge of Brøset today a lot of measures must be taken to prevent increased discharge with future development.

Simulation has given signals on which and to which degree effects can be achieved by low impact development. Increased simulation quality can be reached by using “.tin” files instead of “.dem” files and combining MIKE URBAN, MIKE 21 and MIKE SHE. Cities of the future are looking for good tools and a similar simulation as presented in this paper is probably a good solution.

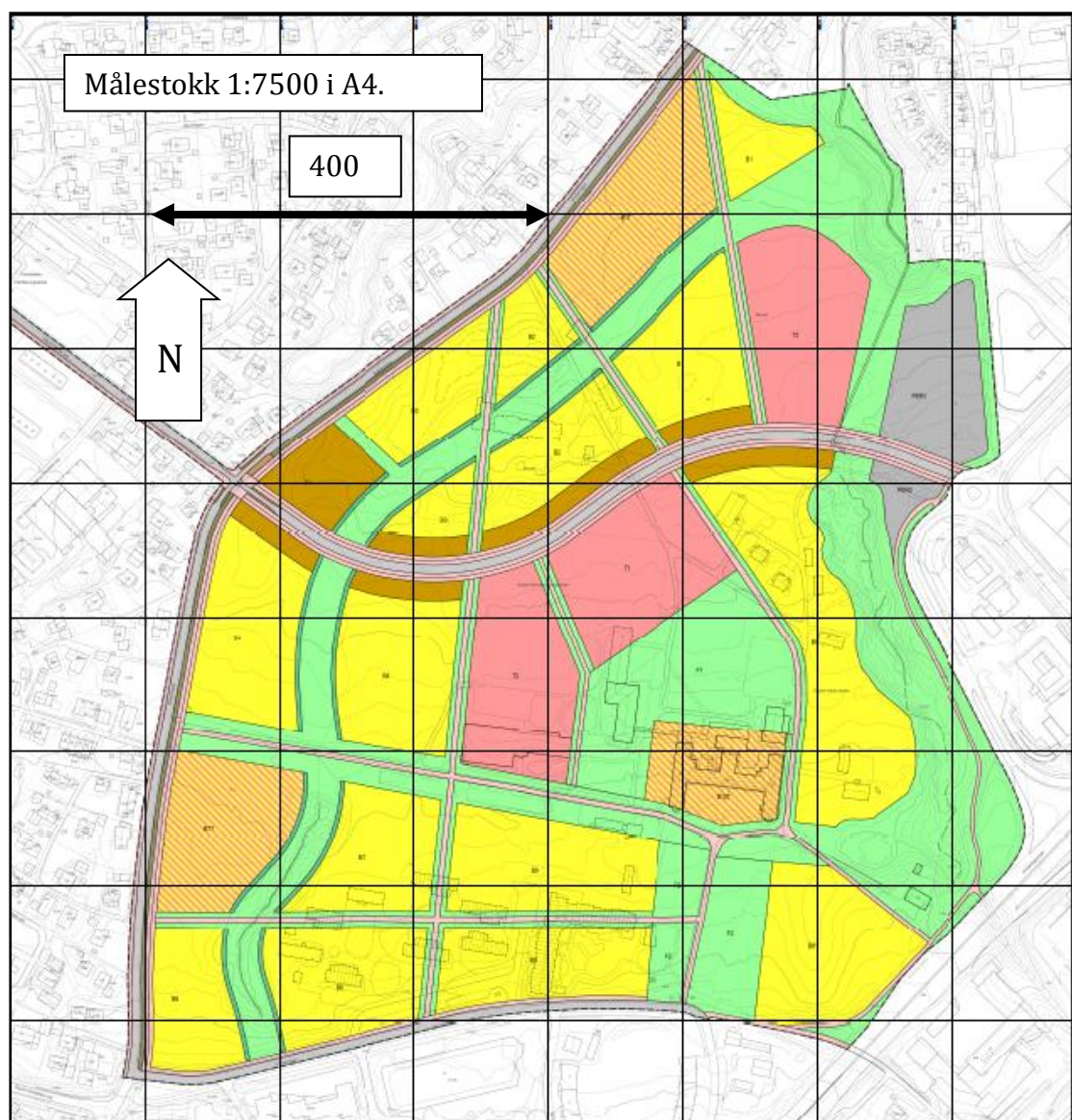
INNHALDSFORTEGNELSE

1. Forord	2
2. Sammendrag.....	3
3. Summary	4
4. Innledning.....	7
4.1. Problemstilling.....	8
4.2. Black box eller konseptuell modell?	9
5. Litteratur og erfaringskunnskap	11
5.1. Planarbeid.....	11
5.2. Juridisk stilling.....	13
5.3. Klimatilpasning.....	16
5.4. Korrespondanse med Norsk Vann	18
5.5. Kalibrering og verifisering	18
5.6. Numerisk hydraulikk.....	20
5.7. Beskrivelse av og hydraulisk funksjon til grønne tiltak.....	21
6. Resultater.....	23
6.1. Prosedyre i MIKE URBAN	24
6.2. Inngangsverdier i MIKE URBAN.....	26
6.3. Utgangsverdier i MIKE URBAN.....	28
6.4. Nedbørshendelser	29
6.5. Nulltilstanden ved T=2år og T=20år	34
6.6. Grønne tiltak ved T=2år og T=20år	35
6.7. Fordrøyning ved T=2år og T=20år	36
6.8. Konvensjonell løsning ved T=2år og T=20år	37
6.9. Ulike oppsett (T=2 år).....	38
6.10. Ulike oppsett (T=20 år).....	39
6.11. Ulike oppsett (0,1m/s, 1mm tap, T=20år)	40
6.12. Ulike oppsett (0,1m/s, 5mm tap, T=20år)	41
6.13. Ulike oppsett (0,1m/s, 10mm tap, T=20år)	42
6.14. Ulike oppsett (0,3m/s, 1mm tap, T=20år)	43
6.15. Ulike oppsett (0,3m/s, 5mm tap, T=20år)	44
6.16. Ulike oppsett (0,3m/s, 10mm tap, T=20år)	45
6.17. Ulik infiltrasjon med grønne tiltak (T=20år)	46
6.18. Ulik vannhastighet med grønne tiltak (T=20år).....	47
6.19. Initial loss for grønne tiltak med ulike gjentakintervall.....	48

6.20.	Ulikt initial loss ved fordrøyning (T=20år)	49
6.21.	Ulik fordrøyningvolum (T=20år)	50
6.22.	Ulike oppsett (T=100 år)	52
7.	Drøfting.....	53
7.1.	Er kalibrering og verifisering benyttet?	53
7.2.	Datatilnærmingsfeil	53
7.3.	Usikkerhetsvurdering	56
7.4.	Hvor store tiltak bør man kreve?	57
7.5.	IVF kurve for vinter og sommer?	58
7.6.	Er modellkonseptet godt nok?	60
7.7.	Er slik simulering et verktøy for Framtidens byer?.....	61
7.8.	Hva med KlimaGIS?	62
8.	Konklusjon.....	64
9.	Videre arbeider.....	65
10.	Litteraturliste.....	66
11.	Tabelliste	69
12.	Figurliste.....	70
13.	Vedlegg.....	71
13.1.	Oppgavetekst for masteroppgaven.....	71
13.2.	Oppgavetekst for prosjektoppgaven.....	71
13.3.	Prosjektoppgaven.....	71

4. INNLEDNING

Framtidens byer er et samarbeid mellom staten og de 13 største byene i Norge om å redusere klimagassutslippene – og gjøre byene bedre å bo i (2). Programmet Framtidens byer skal hjelpe bykommunene å dele sine gode ideer til klimavennlig byutvikling med hverandre – og til å samarbeide med næringsliv, region og stat. Sluttproduktet skal være et sett med verktøy som tettsteder og byer kan bruke for å skape mer klimavennlig utvikling. Jeg definerer klimavennlig utvikling som tiltak og tankemåter der naturen får leve mer uforstyrret i fremtiden enn i nåtiden. Brøset bydel er blant Trondheims bidrag i programmet. Her er det valgt å ha fokus på infrastruktur for å møte klimaendringer som høyere temperatur, mer nedbør og økt hyppighet av ekstremvær. Så langt har kommunen avholdt «det åpne parallelle oppdraget» (3) for bydelen og politisk arbeid med regulering pågår nå. De innkomne forslagene er utgangspunktet for mitt bidrag i utviklingen av Brøset.



FIGUR 1 PLANSKISSE FOR BRØSET

Masteroppgaven skal forsøke å imøtekomme kommunens behov for et styrket rammeverk innen overvannshåndtering. Kommunalteknikk har en annen visjon for Brøset bydel enn de gjeldende kravene som settes i VA Normen og rammeplanen. Kommunalteknikk ønsker krav til vannbalanse på feltet i tillegg til trygg flomavledning. Urbanisering har hatt en tendens til å flytte vann fra grunnvann og fordampning til overflatestrøm/drenering. Urbanisering som bedre ivaretar naturlige vannbalanse kan gi bedre vilkår for åpne bekker, planteliv, dyreliv og gir mennesker tilgang til åpne vannspeil. Disse kvalitetene er i tråd med en klimavennlig utvikling for Brøset.

EUs Vanddirektiv er implementert og følgene av direktivet burde være banebrytende for norsk vannforvaltning.

Hovedmålet er å sikre beskyttelse og bærekraftig bruk av vannmiljøet, av både vassdrag, grunnvann og kystvann. Det skal settes miljømålene som skal være konkrete og målbare. Forvaltningen av vann skal være helhetlig fra fjord til fjell, samordnet på tvers av sektorer, systematisk, kunnskapsbasert, og tilrettelagt for bred medvirkning (4).

4.1. PROBLEMSTILLING

Problemstilling: Vurdere kvantitativ effekt av ulike overvannstiltak for utbyggingen på Brøset.

Målet er å foreslå et sett av tiltak som ivaretar målsetningene fra notat *Overvann. Innspill til konkurransegrunnlag for Brøset* datert 19. april 2010 av Anne Kristine Misund og Birgitte Johannessen, Trondheim Kommune.

Blå tiltak inneholder gjerne vann synlig i et bybildet. Grønne løsninger viser til planter, dyr og opplevelsen av liv. Den grå passer til menneskets tilpasning til verden, der vi ønsker vannet transportert vekk. Blå-grønne løsninger er dimensjonert slik at det etableres vannspeil, minst mulig erosjon og gjerne høy grunnvannstand. Grå tiltak er dimensjonert gjennom selvrensning og minst mulig vann på overflaten.

Målsetningen er å forebygge skader, utnytte overvannet som en ressurs og styrke det biologiske mangfoldet. For å forebygge skader inntreer følgende krav; "Det tillates ikke at utbyggingen medfører en økning i avrenning til, eller en forringelse av vannkvalitet i, nedenforliggende vassdrag." Jeg benyttet videreført vannmengde i nedstrøms ledning som jeg anser til å være det mest likeverdige kriteriet i vurderingen.

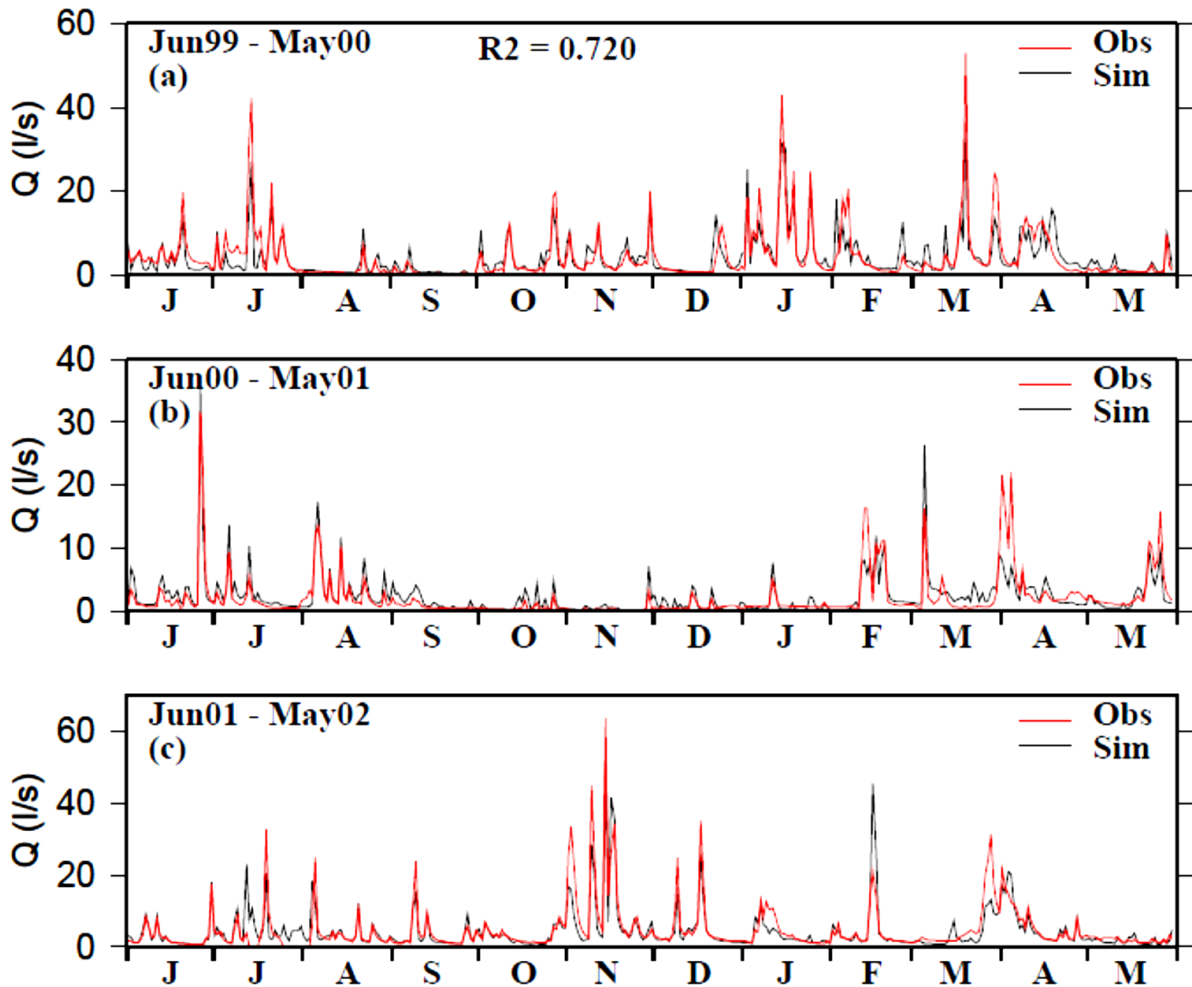
TABELL 1 FRA OVERVANN, INNSPILL TIL KONKURRANSEGRUNNLAG

Kategori	Effekt på overvann	Eksempel på teknisk utforming
Tiltak nær kilden: Økt bruk av permeable flater. Fordrøyning i nærheten av kilden	Reduserer overvannsmengder. Forsinker og fordrøyer for å redusere flomtopper.	Bruk av permeable/ porøse flater. Fordrøyning i lukkede plastkassetter og steinfyllingsmagasin. Ansamling av overvann på spesielle flater for oversvømmelse. Grøfter/ forsengkninger. Dammer. Våtmarker. Grønne tak. Takutkast Regnbed.
Fordrøyd bortledning	Forsinker og fordrøyer for å redusere flomtopper.	Forsengkninger i terreng. Kanaler. Bekker/ grøfter
Samlet fordrøyning	Fordrøyer for å redusere flomtopper	Dammer. Våtmarksområder. Tjern/ innsjøer. Lukkede fordrøyningsvolumer
Økt bruk av naturlige vannveier	Forsinker og fordrøyer for å redusere flomtopper.	Bekker/ elver. Tjern/ innsjøer.

4.2. BLACK BOX ELLER KONSEPTUELL MODELL?

I simulering er det minst to valg til inngangsverdier; black box / kalibrering og verifisering eller konseptuell modell. Kravene til kalibrering og verifisering beskrives ytterligere i kapittel 5.5. Konseptuell modell krever mye av programvaren da inngangsdata er "låst" av målinger. Ligninger og mekanismer må derfor være tilstrekkelig beskrivende slik at sluttresultatet blir en god modell.

Snøsmelting er en av prosessene med svakt teoretisk fundament. Dette gjelder særlig for ligninger og beskrivelse av mekanismer ved intens snøsmelting og sørpeskred. Ligninger for snøsmelting oppnår for liten spissbelastning, dette gjelder for daggradsmetode og energibalanseligninger med en avrenningsrutine (5).



FIGUR 2 AVVIK I SIMULERT OG MÅLT AVRENNING (5)

Strømning gjennom akviferer er beskrevet med blant annet Darcys lov, Theis metode, Hooghoudts metode og COUP(Coupled heat and mass transfer) metoden. Men modellene har ikke god beskrivelse av tele og isdannelse i jordartene.

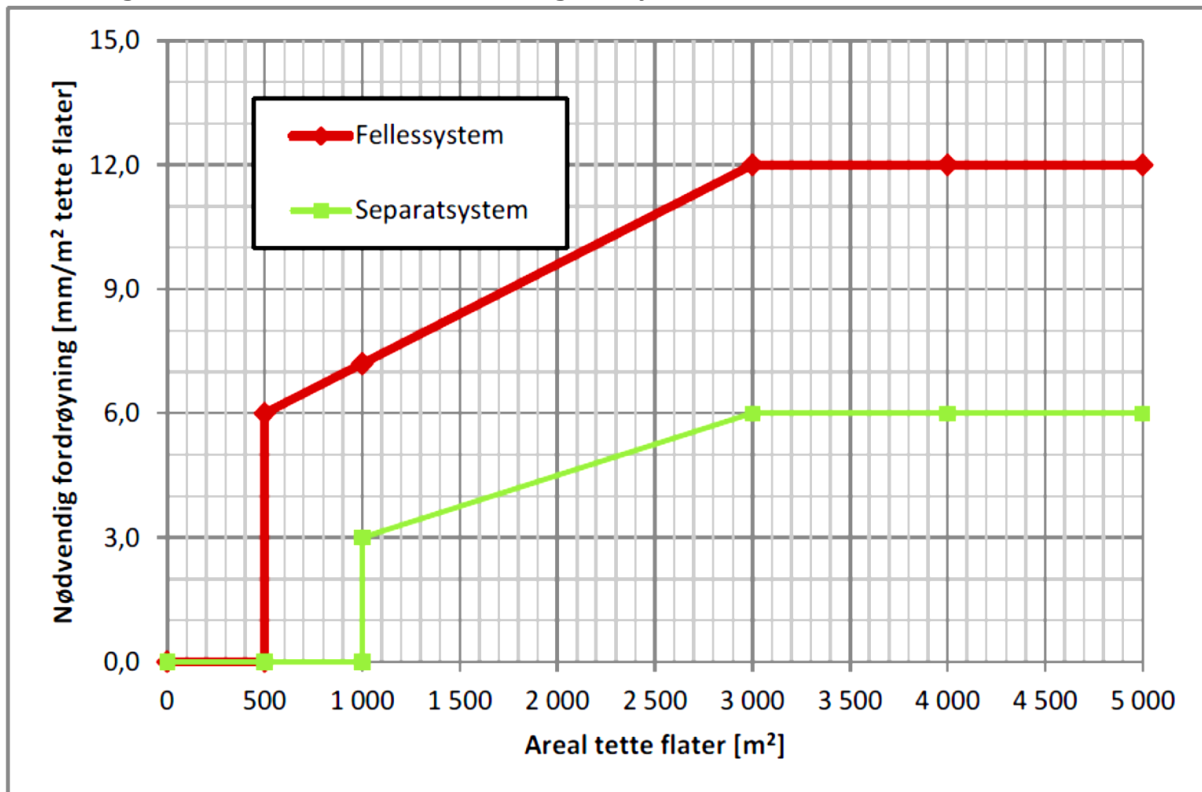
I simulering er det minst to valg til regneprosedyre; behandlingstog / sekvensiell og arealbasert. Blant sekvensielle modeller finnes; SWMM modeller som MIKE URBAN SWMM (dhi.dk), EPA SWMM (epa.gov), PC SWMM (chiwater.com) og vannbehandlingsmodell som MUSIC (ewater.org). Arealbaserte programvarer er hydrauliske modeller som HEC-RAS (usace.com), ArcGIS (esri.com) og KlimaGIS (norkart.no og powersim.no). MIKE URBAN har forsøkt å kombinere disse ved å kombinere MIKE 21 (arealbasert) og MIKE URBAN (sekvensiell). Prosedyren er å kjøre sekvensiell modell inntil vannet i ledningsnettet tvinges ut på overflaten og fordeles på arealet som punktkilde i MIKE 21. Denne kombinasjonen har også InfoWorks (innovyze.com).

5. LITTERATUR OG ERFARINGSKUNNSKAP

5.1. PLANARBEID

Forutsetninger for vellykket planarbeid er; sosial aksept, politisk makt, juridisk hjemmel og økonomiske ressurser (6). Kommunen har lyktes på makt og ressurser. Hjemmel har kommunen ikke benyttet seg av og sosial aksept for planen (attraktiv, nyttig, ulike sosiale lag trives) er varierende basert på innlegg i Adressa (5. mai 2010, 20. desember 2010, 6. april 2011, 8. april 2011, 9. november 2011, 12. mars 2012).

Utbygging på Brøset betyr muligheter til å kreve tiltak som ikke kan pålegges allerede etablerte områder. En trend i tiden er ønske om lokal overvannshåndtering, men VA-Normen tillater andre løsninger gjennom formuleringer som "skal i størst mulig grad" og "skal velges dersom forholdene ligger til rette for det" (7). Nylig har Trondheim kommune innført krav om fordrøyning ved utbygging av tette flater som totalt er større enn 500m² (7) som vist på figuren under. Verken kommunal avgift eller påslippskrav er tilrettelagt for lokal overvannshåndtering for øyeblikket.



FIGUR 3 FORDRØYNINGSKRAV FRA KOMMUNENS VANORM

Kommunen er / blir eier av ledningsanlegg og vannveier innen sin geografiske avgrensning der anlegget er et fellesskapsgode. Innbyggere og bedrifter er motpart og eier ledningsanlegg fra nærmeste kommunale ledningsanlegg og inn på eiendom. I all utbygging følges da et sett med regler og anvisninger som er beskrevet i hovedplaner, reguleringsplaner, VA-Norm, sanitærreglement, Byggteknisk forskrift (TEK10) og flere andre dokumenter.

For utbygger er det gunstig med forutsigbare krav, trygge løsninger og en kjent kostnad. De grønne tiltakene er usikre på grunn av blant annet;

- Entreprenør
 - omfang av tiltak – hvor mye jobb må gjøres for et godt resultat?
 - tidsbruk – hvor nøyaktig må jobben utføres?
 - produktkunnskap – hva tåler materialene?
 - kostnad – innkjøpspris er kanskje ikke avklart?
 - leveringstid i innkjøp – riktig vare til riktig tid?
- Rådgivende ingeniør
 - tidsbruk – hvor mye må beskrives og tegnes for første gang? Klarer man å tegne høyder og unngå kollisjoner på en god måte?
 - produktkunnskap – tiltak mot teleskader og hvordan kan løsningene vedlikeholdes?
 - kvalitet i beskrivelse – er den nøyaktig nok hvis det blir juridisk strid?

Dermed velges gjerne konvensjonelle (grå) løsninger fremfor lokale (blå – grønne) løsninger.

Trondheim kommune har hovedplan for vannforsyning (2004-2013) (8), mens hovedplan for avløp og vannmiljø er under politisk behandling (9). Brøset bydel har detaljplan, by- / områdeplan og reguleringsplan under politisk behandling. I prosjektoppgaven (3) ble noe av forarbeidet for by- / områdeplan presentert.

5.2. JURIDISK STILLING

Overordnet for nevnte regler og anvisninger ligger lovverk som Plan og bygningsloven (pbl), Forurensningsloven (forurl) og Vannressursloven (vrl). Nylig vedtatt (2006) Forskrift om rammer for vannforvaltningen er den norske tilpasningen til EUs rammedirektiv for vann. Tiltaksprogram som følger denne forskriften er håndtert av Fylkeskommunen i Sør-Trøndelag som er vannregionleder for Trøndelag. Brøset ligger innenfor Nea vannområde, men har ingen tiltak knyttet til seg.

Erkjennelsen er at hvis grønne løsninger skal velges må det pålegges, og motstanden mot pålegg kan svekkes hvis grønne løsninger utløser en fordel.

Kommunen kan gjennom aktiv bruk av kommune- og reguleringsplan, gjennom byggesaksbehandlingen og gjennom bruk av vannressursloven § 7 og forurensningsloven § 22, i stor grad styre tilførselene av overvann til nedenforliggende arealer, bekker og kommunens avløpsrør. Kommunen er videre gitt adgang til å stille krav til påslipp av overvann til offentlig avløpsanlegg i Standard abonnementsvilkår for vann- og avløp utgitt av KS/Kommuneforlaget høsten 2008 i pkt. 3.12.1. (10)

I kjølvannet av interessen for grønne løsninger har flomveier fått mer interesse. Kommunens fortettningspolitikk gir utfordringer for åpne flomveier, trolig hjulpet av at utbygger kanskje vektet risiko for flomskader mot avkastning ulikt fra kommunalteknikk. Resultatet er utbygging/utnyttelse av areal i flomveien.



FIGUR 4 FOTONORD FOR BRØSET DER BEKKEN BLIR LEDET UNDER EN NYBYGGET FOTBALLBANE OG VIDERE UNDER LEANGEN TRAVBANE. FRA GULESIDER-KARTSKRÅFOTO

Dette problemet er ikke avgrenset til Trondheim kommune, blant annet Lundesoknavassdraget i Melhus gir flomskader nedstrøms ved 5 årsflom ifølge vassdragsteknisk ansvarlig (VTA) Morten Skoglund i TrønderEnergi. Før kraftverkene kom i drift og tømmerfløting var vanlig, tålte elvebredden 20årsflom uten skade, men

med stabil vannføring som kraftverkene gir, har utnyttelse av elvebredden økt. Krav til minstevannsføringen i Lundessokna skal sikre mulighet for tømmerfløting.

Eksisterende vannveier skal normalt opprettholdes. [...] Overvannshåndtering må vurderes med hensyn til både normal nedbørssituasjon og flom. Når ledningssystemet blir overbelastet eller inntakene tette, skal det finnes et avrenningssystem på overflaten der overvannet kan renne bort uten å gjøre større skader. Veger, gater, grøntområder og lignende kan inngå som del av flomvegen. Flomvegen bør ha kapasitet minst lik 100-års flom. (7)

EU har vanndirektivet som styrende dokument for overflatevann. Gjennom implementering har ulikhetene mellom intensjon og resultat økt, på en slik måte at lokal overvannshåndtering er tatt bort. Intensjonen fra vannrammedirektivet (11)

- 11: I henhold til traktatens artikkel 174 skal [...] bygge på "føre var"-prinsippet og prinsippet om forebyggende tiltak, prinsippet om inngrep mot miljøskader, fortrinnsvis ved kilden, og prinsippet om at forurenseren betaler.
- 13: Beslutninger bør treffes nærmest mulig stedet der vannet brukes eller påvirkes. Det bør gis prioritet til tiltak innenfor medlemsstatenes ansvarsområde gjennom utarbeiding av tiltaksprogrammer som er tilpasset regionale og lokale forhold.
- 18: Fellesskapets vannpolitikk krever en klar, effektiv og samordnet lovgivningsramme. Fellesskapet bør definere felles prinsipper og en samlet ramme for tiltakene.

Resultat fra vannforskriften (12)

- miljømål som skal sikre en mest mulig helhetlig beskyttelse og bærekraftig bruk av vannforekomstene (definert som en avgrenset og betydelig mengde av overflatevann, som for eksempel innsjø, magasin, elv, bekk, kanal, fjord eller kyststrekning)
- sikre at det utarbeides og vedtas regionale forvaltningsplaner med tilhørende tiltaksprogrammer med sikte på å oppfylle miljømålene

Vannregion Trøndelag har for tiden "vesentlige vannforvaltningsspørsmål" til planprogram for fase 2 ute til høring (13). Forvaltningsplan og tiltaksprogram for fase 2 følger så på. Fase 1 fra 2010 til 2015 har forvaltningsplan og tiltaksplan sett på store elver og fjorder. Jeg har meldt fra til nåværende prosjektleder om at overvann burde vært et "vesentlig vannforvaltningsspørsmål":

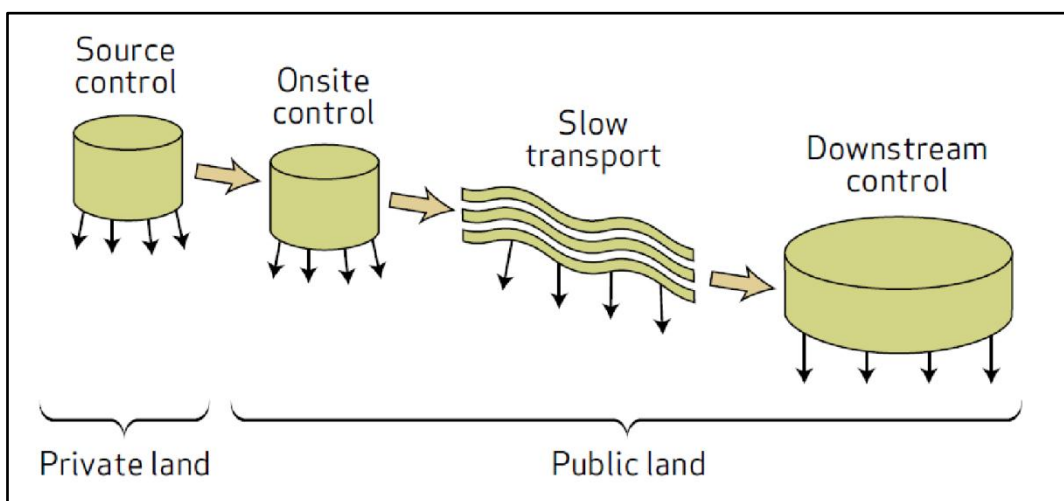
Vannregionene klassifiserer vassdrag og kommunen skal da følge opp med tiltak. Tiltakene ved utbygging i kommunene er i stor grad definert i VA-Norm og byggteknisk forskrift TEK10 med påfølgende byggdetaljblad. Endringer i VA-Norm kan bedre situasjonen i vassdraget. Men en urettferdig forvaltning oppstår når det er stor ulikhet i VA-Normene fra kommune til kommune. Å kunne begrunne endring i VA-Norm fra Vanndirektivet er gunstig, men dette er vanskelig da definisjonene i den norske vannforskriften ikke inkluderer avrenning på eiendommer og boligfelt.

Kanskje er dette et vesentlig spørsmål i planperiode 2? Sitert fra kontakt 16.februar 2012.

TABELL 2 MULIG INNDELING AV TILTAK ETTER STAHRE (14), JAMFØR NOTAT OM OVERVANN

Stahres inndeling	Eksempel på teknisk utforming
Source	Bruk av permeable/ porøse flater.
Onsite	Fordrøyning i lukkede plastkassetter og steinfyllingsmagasin.
Source	Ansamling av overvann på spesielle flater for oversvømmelse.
Slow transport	Grøfter/ forsenkninger.
Downstream	Dammer.
Downstream	Våtmarker.
Source	Grønne tak.
Source	Takutkast
Onsite	Regnbed.
Slow transport	Forsenkninger i terreng.
Slow transport	Kanaler.
Slow transport	Bekker/ grøfter
Downstream	Dammer.
Downstream	Våtmarksområder.
Downstream	Tjern/ innsjøer.
Onsite	Lukkede fordrøyningsvolumer
Slow transport	Bekker/ elver.
Downstream	Tjern/ innsjøer.

For den enkelte grunneier kan det blir krav innen "Source control" og "Onsite control". "Downstream control" må legges inn på planstadiet og er vanskelig å etablere etter utbygging har funnet sted.



FIGUR 5 INNDELING ETTER STAHRE (14)

5.3. KLIMATILPASNING

FN holdt i 1972 en konferanse om internasjonal miljøpolitikk i Stockholm. Tanker fra konferansen ble blant annet videreført ved EECs Direktorat for miljø- og forbrukervern og av FNs Verdenskommisjonen for miljø og bærekraft (Brundtlandkommisjonen). Direktoratet leverte "Environment Action Program" i 1973. Brundtlandkommisjonen leverte rapporten "Our Common Future" (15) i 1987 der begrep om "sustainable" og "global warming" ble tatt frem. FN holdt en konferanse om bærekraftig utvikling i Rio de Janeiro i 1992 som resulterte i blant annet Agenda 21. Malmö by sammen med Malmö boligbyggerlag benyttet anledningen til å bygge om Augustenborg bydel. Pådrivere som Peter Stahre (14) bidro sterkt til ombyggingen som startet i 1998. Ett av resultatene fra Malmö er Starhes "Sustainability in Urban Storm Drainage" (14). Boken er pensum for svensk bærekraftig utvikling ifølge deltagere på "Urban Flooding" konferanse i Malmö i 2012. Norsk Vann ga ut "Veileder i klimatilpasset overvannshåndtering" i 2008 (16) som erstattet "Veiledning i overvannshåndtering" (17). I Trondheim vil havnivået stige 0,4m i 2100 (16) ved FNs scenario B2. I Oslo vil intensiteten øke med 20 % om våren og 40 % om høst innen 2100 (16). Trondheim kommunalteknikk har lagt til 20 %, mens Statens vegvesen har lagt til 40 %. Kommunen har mellom 2 - 50 års gjentaksintervall (7), mens vegvesenet har 100 - 200 års gjentaksintervall i beregningene sine (18).



FIGUR 6 KANALER I AUGUSTENBORG 15. MARS 2012. I BAKGRUNNEN SKIMTES UTLØPET FRA BYDELEN. FOTO AV JON HUURNINK.

Klimaforandring endrer lite på vår stedlige plassering på jordkulen. Med golfstrømmen forblir Trondheim i temperert sone. Frostmengden er $F_{100}=16000 \text{ h}^{\circ}\text{grader}$ (19) med en

årsmiddeltemperatur på 5,0 grader. Telefridybde er 1,8 meter selv om det i januar 2010 ble registrert tele på 1,75m Dalgård (160moh) under reparasjon av vannledning. Med døgnverdier fra Meteorologisk institutt (eklima.no) er beregnet frostmengde 13500 h*grader på Voll (115moh) i 2009/2010, med høydekorreksjon -0,006 grader per høydemeter (20). Frost gir utfordringer da vannets egenskaper ikke bidrar til trygg vinterdrift (ekspansjon ved faseovergang flytende til fast og frysepunkt (0 grader - rent vann, +2 grader ved nedbør, minusgrader ved økt salinitet)). Et varmere, våtere og villere (21) (22) klima gir økt belastning, mindre frost og kanskje mer oppmerksomhet rundt overvann?

5.4. KORRESPONDANSE MED NORSK VANN

Norsk Vann har spilt inn til Miljøverndepartementets arbeid med stortingsmelding om klimatilpasning at det er behov for:

- Avklare hvor langt dagens hjemler for å pålegge grunneiere/huseiere lokal overvannsdiskonering går, og eventuelt utvide denne myndigheten.
- Avklare hvilket ansvar kommunen får etter å ha anvist eller pålagt lokal overvannsdiskonering som et alternativ til at abonnentene kobler seg på avløpsnett.
- Endre gebyrbestemmelsene, slik at kommunene gis anledning til å differensiere gebyrene ut fra mengde overvann som tilføres avløpsnett.
- Avklare hvor langt grunneierne skal ha ansvaret for å forebygge vannskader, og hvilket ansvar kommunen skal ta for å pålegge avledning av overvannet.
- Avklare hva som er en kommunes ansvar for overvann som eier av avløpsledninger, som forurensningsmyndighet etter forurensningsloven, som vassdragsmyndighet etter vannressursloven, som plan- og bygningsmyndighet etter plan- og bygningsloven, og hva som er grunneiernes/huseiernes ansvar?
- Gi kommunen myndighet til å pålegge grunneiere/huseiere forebyggende tiltak for nybygg, ved å bestemme at overvann og drensvann skal ledes bort til vassdrag, terreng, eller helt eller delvis føres til hovedavløpsledning.
- Gi kommunen myndighet til å kunne pålegge grunneiere/huseiere (også eksisterende bygg) å avlede overvannet som et forebyggende tiltak.
- Gi kommunen hjemmel for å kunne pålegge større dimensjon på avløpsledningene enn 305 millimeter i utsatte områder.
- Gi statlige retningslinjer for å sikre at behovene for klimatilpasning ivaretas i kommuneplanens arealdel.
- Ta inn flomveg som hensynssone i plan- og bygningsloven.

Vennlig hilsen Elin Riise i Norsk Vann BA, Hamar den 27. februar 2012

5.5. KALIBRERING OG VERIFISERING

Prosjektoppgaven (3) går gjennom en del av forutsetningene for en konseptuell modell av Brøset. I EDB modeller skapes det en rekke forenklinger som påvirker modellen; numerisk tilnærming, oppløsning på tidsakse / topografi, formelverk og kvalitet / kvantitet på inngangsdata. Norsk hydrologiråds medlemmer (deriblant NTNU) har forsøksfelt blant annet for å gi bedre kvalitet og kvantitet på data, for å utvikle / verifisere formelverk og øke oppløsning på tidsavhengig data.

Stein Beldring (23) mener at nedbør – avrenningsmodeller i deres struktur har flere variabler enn bare de fysiske størrelsene på nedslagsfeltet. Vit Klemeš (24) skriver at å

skape overføringsverdi har vært modellenes mål og den vanskeligste oppgaven i hydrologisk modellering. En inndeling (24) av nedslagsfelt etter tilstand gir 2 valg; stasjonær tilstand eller ikkestasjonær tilstand. Ikkestasjonær tilstand innebærer;

- observerte verdier finnes kun for tiden før nedbørsfeltet endres / bygges ut
- observerte verdier er fra et annet felt enn det som simuleres
- simulering av klimaendring

Modellen av Brøset er troverdig når den besvarer den siste inndelingen; ikke-stasjonær tilstand med kalibrering og validering på tilsvarende felt. Dette krever ifølge Klemeš (24) at modellen består to tester: Den må bestå en topografisk test (proxy-basin) og en formelverktest (differential split-sample). I topografisk test benyttes to (A og B) nedslagsfelt med gode måledata slik at modellen kalibreres med A og valideres med B og motsatt. I formelverktesten deles datagrunnlaget i fire (1a, 1b og 2a og 2b). Simulering kalibrert med 1a / 2a skal valideres med å gi resultat 1b / 2b og motsatt. Siden oppgaven skal håndtere utbygging i nedslagsfeltet må dataserien 1a og 1b være før utbygging og 2a og 2b være etter utbyggingen. Hvis klimaforandring skal simuleres kan 1 være nedbørsfattig og 2 være nedbørsrik avhengig av klimaforandringen som skal vurderes. Chong-yu Xu (25) benyttet Klemeš tester med godt resultat på et område (areal=4000ha, årsnedbør=750mm) nordvest for Stockholm (sørlige NOPEX).



FIGUR 7 RISVOLLAN (GOOGLE STREET VIEW), SANDSLI (GOOGLE STREET VIEW), KARIHOLA (THOROLFSSON) OG SAGELVA (KILLINGTVEIT)

Thorolfsson har gjennom hele sitt vitenskapelige arbeid jobbet med å skaffe erfaringsdata. Institutt for vann og miljøteknikk (IVM) har frontet arbeidet slik at lange måleserier er etablert ved blant annet Risvollan Urbanhydrologiske stasjon, Sandsli målestasjon, Karihola målestasjon og Sagelva feltlab. De tre første er delvis eller helt utbygde bolig- og næringsarealer i byer (Trondheim, Bergen og Kristiansund). Sagelva er etablert i skogsterreng sørøst for Trondheim. Ulike modeller har vært prøvd ut

(NIVANET, MOUSE, SWMM med flere) og det foreligger kalibrering og verifisering med høyoppløste sommer- og vinterverdier. Et uavklart spørsmål er hvor generelle eller "site-specific" verdiene er blitt; hvor stor forskjell er det mellom de ulike målestasjonene, hvor stor endring er det mellom Sagelva og Risvollan som er i samme klima og har ulik utbyggingsgrad? Måleseriene fra dette arbeidet kan brukes for topografisk- og en formelverktest på Brøset bydel.

5.6. NUMERISK HYDRAULIKK

Den korte gjennomgangen i dette avsnittet er kun for å liste opp modellens forutsetninger for simulering. Hvert enkelt utsagn berører et lite fagfelt i seg selv og interesserte bør gjerne studere litt numerisk hydraulikk som blant annet undervises ved NTNU IVM. Fag om språket og strukturen i C++ undervises ved NTNU IDI.

".dfs2" fil inneholder egenskaper om celler i flere dimensjoner. Den kan derfor nyttes som rasterfil og terrengfil. "dfs0" fil inneholder to dimensjoner for eksempel egenskaper som tid og verdi. Jeg har ikke benyttet dispersjonsmulighetene (konveksjon og diffusjonsligninger) i MIKE URBAN /21.

MIKE 21 benytter ortogonalt, quadrilateralt, strukturert grid med nesting ved noder (for 2D Overland Flow) (26). Adaptivt grid (ikke mulighet for vertikalsnitt) og utblokking er ikke benyttet. "aspect ratio" og "expansion ratio" er lik 1. "shallow water equations" (integrert Navier Stokes ligning over dybde, eventuelt endimensjonal St. Venands ligning) løser en energihøyde satt i et andre ordens oppstrøms skjema som skrives til rasterformat ".dfs2" (27). "Eddy viscosity" kommer fra Boussinesq tilnærmingen av turbulensen og løses i en k-ε modell. "Wall law" er etter Schlichtings formel (27).

MIKE URBANs ligningsett er implisitt løsning av St. Venandsligninger (26) satt i et første ordens oppstrøms skjema i 1 dimensjon. Energihøyden som regnes ut med "finite difference" metode skrives til "dfs0" som en tabell.

Jeg har tre ulike maskiner som kjører programvaren. Kun den raskeste gjør oppgaven godt. Alle maskinene kjører Windows 7 SP1. Programmet har en kjøretid på ca 30 minutter for den lengste simuleringsperioden. Programmet leverer beregninger uten "blow up" eller annen instabilitet.

TABELL 3 TILGJENGELIG DATAKRAFT

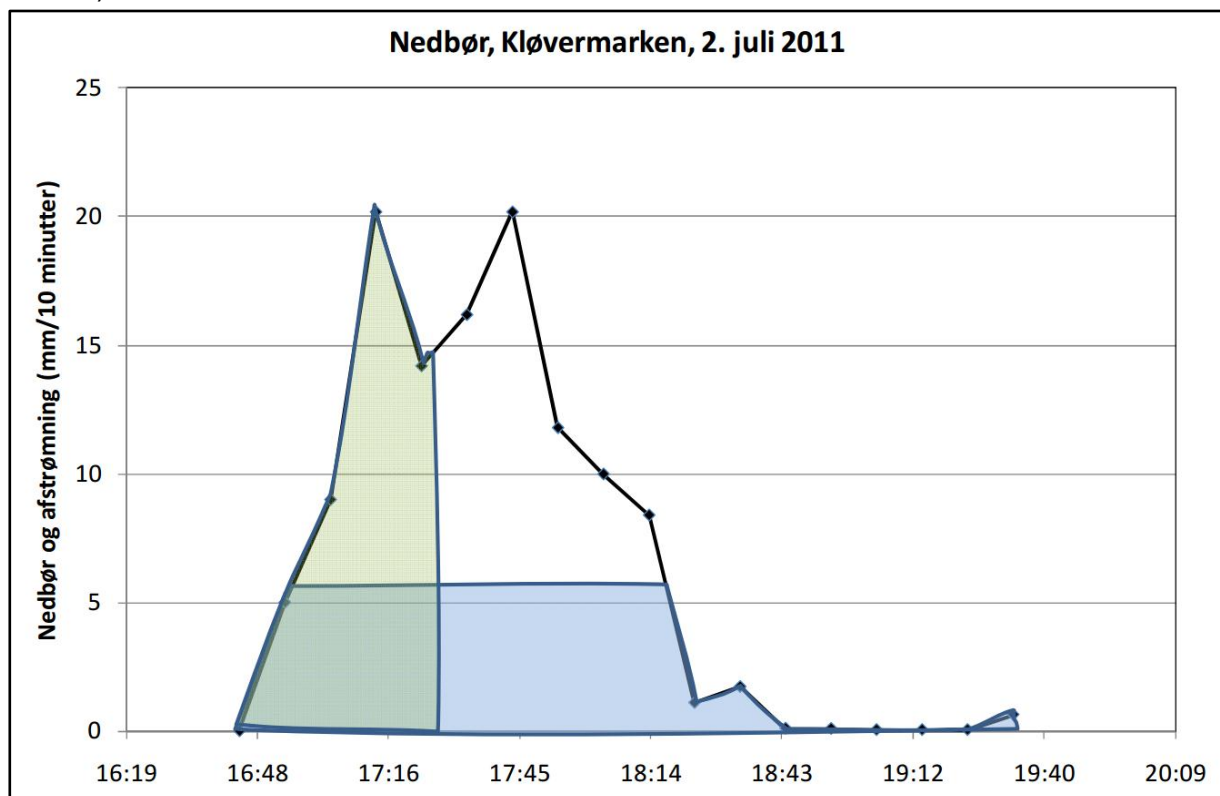
Nok datakraft?	False	True	True
Processor; Intel	Celeron M360	Core 2 Duo T5750	Core i7 2720QM
Adresselengde [bit]	32	64	64
Cache [MB]	1	2	6
Harddisk [rpm]	5400	5400	SSD
Harddiskkontakt	SATA	SATA	mSATA
RAM [GB]	2	2	16
RAM [MHz]	533	667	1333

Courantnummeret ($v = \frac{u\Delta t}{\Delta x}$) får jeg ikke rapport om. Jeg har valgt minimumstidssteg på 0,1s i simuleringen og MIKE URBAN regulerer selv beregningstidstegene.

Wallingford InfoWorks med modulene; CS, SD, 2D Module og Viewer skal ha tilsvarende egenskaper som MIKE URBAN/21/SHE/VIEW. MIKE SHE er en hydrogeologisk modell som simulerer strømning i jord og overflatevann. Denne modulen ville gitt en sterkere konseptuell modell (særlig for nedbørfeltets respons, "catchment properties", innen vannet når en node) og flere muligheter for å simulere ulike grønne tiltak. Denne modulen er ikke tilgjengelig sammen med MIKE URBAN utenfor DHIs interne system. "InfoWorks 2D Module" skal tilsvare "2D overland flow", men det er uklart om dette stemmer da forfatteren ikke har lyktes i å samle nødvendig dokumentasjon.

5.7.BESKRIVELSE AV OG HYDRAULISK FUNKSJON TIL GRØNNE TILTAK

I amerikansk tradisjon er Low Impact Development (LID) et sett av tiltak som på norsk forstås som grønne tiltak. I Danmark benyttes gjerne Lokal Afledning af Regnvand (LAR) og i Sverige Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) etter Stahres bok. Tiltakenes hydrauliske funksjon er mer identiske enn deres navn. Og det er denne funksjonen som er forsøkt simulert i MIKE URBAN.



FIGUR 8 AVLØPSSYSTEMETS FUNKSJON FRA SPILDVANDSKOMITEEN (28)

Figuren viser nedbørsmåling i København (Kløvermarken) i 2011 (28). Den grønne skravuren (grønne tiltak) viser at svært intens nedbør kan holdes igjen inntil systemet er fullt. Den lysblå skravuren viser konvensjonelt system som når en maks belastning, men kan levere denne over hele nedbørshendelsen. Den hvite feltet ga en oversvømmelse i hele København sentrum.

I Tabell 1 Fra Overvann, innspill til konkurransegrunnlag står det "Effekt på overvann" og dette må utdypes noe. Reduksjon av overvannsmengder betyr et redusert volum generert av den samme nedbøren. I simuleringen kan dette gjøres ved "initial loss", fordamning og tap fra modellen ved infiltrasjon.

"Initial loss" opptrer i blant annet porøse medier når adhesjonen er gunstig. Når relativ luftfuktighet endres kondenserer/fordamper vannet. Ved kondensering vil overflatekrefter fylle porene fra innerst mot ytterst. Overflatespenningen er ulik for ulike strukturer (vinkel på vannlinsen, porestørrelse og poreutforming styrer kreftene). Ved en fuktighet på omtrent $\frac{1}{3}$ (volum vann/volum porer) er noen materialer mettet (likevekt) slik at overflatespenningen er svak og andre mekanismer styrer vannopptaket. For å tørke ut (fordampe)vann fra et slikt materiale til mindre enn $\frac{1}{3}$ (volum vann/volum porer) fuktighet må økt temperatur, redusert luftfuktighet og ulike transportmekanismer eller tilsvarende gradienter være tilstede. Planter har også et direkteopptak av vann på bladene for sin metabolisme.

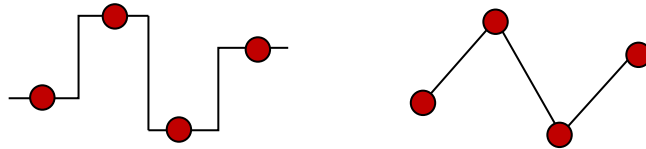
Volumet som holdes i jordarten inntil "time to ponding" er simulert med "initial loss". Dette til tross for at volumet gir en infiltrasjonsprosess som både kan gi grunnvannstilstrømming og/eller være en akvifer. En akvifer kan da være lukket eller åpen. Den lukkede blir et tap i modellen, mens den åpne blir et "oppkom" der den kommuniserer med overflaten og bidrar til vannføring i ledningsnett.

Fordrøyning simuleres blant annet ved at systemet aksepterer større trykkgradienter, terskler, økt ruhet og infiltrasjon / perkolasjon. De økte trykkgradientene gir utslag i vann på overflaten ved "2D overland flow", da vann som når topp kum spyttes ut på overflaten. Dette krever et separatsystem. Hvis det er fellessystem eller kontakt til drensledninger vil nedbørshendelser gi oversvømmelser i kjellere og fukt-/erosjonsskader på konstruksjoner. Tersklene gir redusert hastighet fordi kun den statiske høyden gir bidrag til hastigheten i faste overløp når bassengvolumet er tilstrekkelig stort. Økt ruhet gir større falltap langs ledningen / grøften og da senkes energilinjen. I modellen kan det gis ulik ruhet for hver ledning og for hver piksel i overflatemodellen i tillegg oppgis det vannhastighet på overflaten for hvert "catchment".

Infiltrasjon beskrives ved "initial loss" og ved "QH-relation" i MIKE URBAN. Dette er noe mer forklart siden.

6. RESULTATER

Valg i Novapoint er beskrevet i prosjektoppgaven (3). MIKE URBAN modellen (MOUSE) ble tegnet opp fra bunnen av. Terrengfilen fra AutoCAD / Novapoint kom i ".dem" format. Denne ble konvertert til ".dfs2" i MIKE Zero. Årsaken til dette er at MIKE 21 ikke har kode i for ".dem" filer. Denne funksjonen var i programvarepakken tidligere, men ble skrevet ut.



FIGUR 9 TRAPPETRINNEFFEKT I ".DEM"-FIL SAMMENLIGNET MED ".TIN"-FIL

".dem" betyr Digital Elevation Model (vist til venstre), mens ".tin" betyr Triangular Irregular Network (vist til høyre). Legndesnitt med datapunkt (markert med rødt) og filformatets løsning er vist på figuren over.

I 2D Overland Flow kan man også velge "rain on dem", men denne funksjonen har heller ikke programkode knyttet til seg.

I oppsettet for MIKE URBAN er det gjort tre valg; valg av grid, valg av tidssteg og valg av «Dynamic simulation». Valg av grid (MIKE 21 Single grid, rectangular cell solver) er kun basert på valg gjort i DHIs veiledninger. «MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM is based on a flexible mesh approach» (27) og kunne trolig fungert minst like bra som «rectangular cell solver» i denne simuleringen. Tidssteg er valgt på bakgrunn av prøving og feiling der 0,1s er det høyeste tidsintervallet jeg kan ha med suksessfull simulering (ingen «blow up» og konvergens inntreffer). Dette medfører at også den laveste beregningstiden er oppnådd. Valg av ligningssett for ledningsnettet er godt beskrevet av DHI manual (29):

Dynamic Wave Approximation

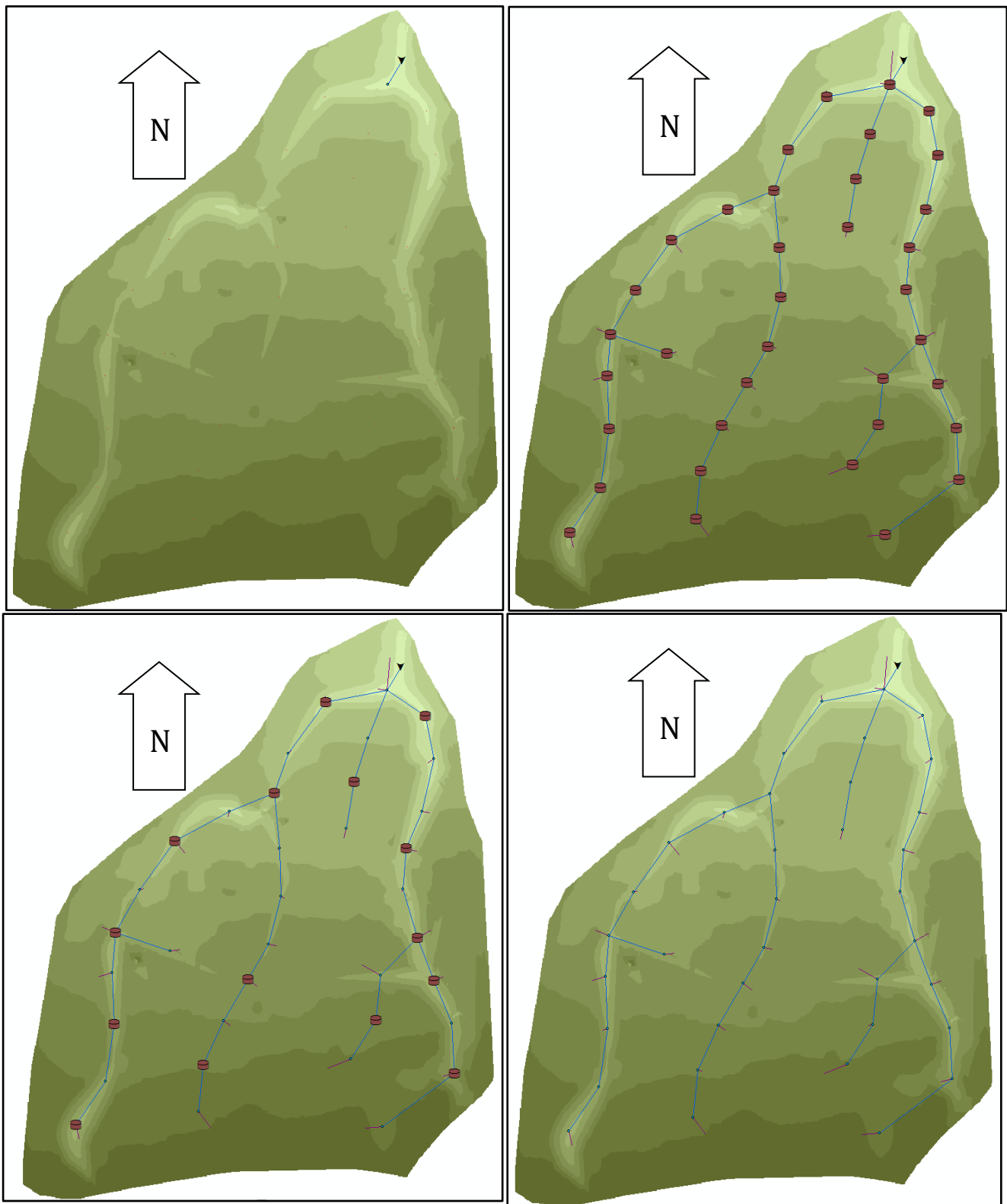
The general flow equations form the best theoretical foundation for a flow model because the full equation of momentum makes it possible to describe all forces affecting the flow conditions. However, larger computational load in comparison with the kinematic and diffusive wave approximations involves correspondingly larger CPU time for the same analysis. Additionally, difficulties are present when simulating the supercritical flow conditions. [...] In supercritical flow conditions, the equations are reduced to the diffusive wave approximation.

6.1. PROSEDYRE I MIKE URBAN

Terrenget ble lagt som et "layer" i MIKE URBAN. For de tre ulike oppsettene (grønne tiltak, ledning med fordrøyning og ledning uten fordrøyning) fulgte jeg samme prosedyre:

1. plasser noder
2. koble sammen med link
3. for catchments
 - a. catchment delineation wizard
 - b. catchment connection wizard
 - c. catchment processing wizard
4. interpolation and assignment
 - a. node diameter
 - b. node ground level
5. manuell inndata av node (invert level = ground level - 2m)
6. links → recompute
7. boundary condition
 - a. item type ".dfs0"
 - b. velger nedbørshendelse
8. simulere catchments
 - a. oppretter ny simulering
 - b. velger maks tidssteg
 - c. starter simulering
9. 2D Overland flow
 - a. MIKE 21 Single grid, rectangular cell solver
 - b. select raster → velger ".dfs2"
 - c. set as extent of raster
 - d. select data set → "msm_Node.dfs0"
10. simulere avrenning
 - a. oppretter ny simulering
 - b. velger maks tidssteg - 0.1s
 - c. velger "dynamic wave"
 - d. oppretter 2D overland parameters → "flood maps"
 - e. starter simulering

Figurene under viser hvilke plassering noder (prikker), basin (røde tønner), link (blå streker) og utfall (svart trekant) har på Brøset. Bildet øverst til venstre viser at hele nedslagsfeltet tas inn i noden, knyttes sammen med ledning til et «utfall» som i virkeligheten er den kanalen som er vist på figur 4 under *Juridisk stilling*. Nederst til venstre er slik jeg antar ledningsstrukturen vil bli på Brøset med en konvensjonell utbygging. Kun overvannsledning er vist. Det er to hovedgrener (østre og vestre bekkeløp) med tre mindre traseer tilknyttet. Hver node har ca 1 mål knyttet til seg, totalt 36 noder. De to siste variantene er med utgangspunkt i en konvensjonell utbygging der noen noder (eventuelt alle) byttes ut med «basin» for å kunne opprette fordrøyningsmagasiner og infiltrasjon.



FIGUR 10 ØVERST TIL VENSTRE VISER DAGENS SITUASJON (NULLTILSTANDEN), ØVERST TIL HØYRE VISER GRØNNE TILTAK, NEDERST TIL VENSTRE VISER KONVENSJONELL LØSNING MED FORDRØYNING OG NEDERST TIL HØYRE VISER KONVENSJONELL LØSNING

Figurene over viser modellområdet i MIKE URBAN. Sørligste punkt er høyeste punkt med 101moh. Nordligste punkt er laveste punkt med 58moh. Laveste punkt, vestre og østre kanal er resultat av terrengforandringen som er beskrevet i prosjektoppgaven (3). Symbolene som er benyttet er noder, linker og basin (røde tønnene). De korte røde strekene viser senter i nærmeste «catchment».

Alle vannføringer er fra ledningen nord på kartet. Den knytter sammen nedstrøms node og et "outfall" (verdens ende, markert med en svart trekant). Nulltilstanden er slik feltet opptrer per 10.juni 2012.

6.2. INNGANGSVERDIER I MIKE URBAN

Tabellverdiene er definert slik:

Imperviousness – andel av "catchment area" som inngår i utløpshydrogrammet fra feltet.

Mean surface velocity – hastighet for å regne tilrenningstid i utløpshydrogrammet fra feltet.

Hydraulic reduction factor – kalibreringsverdi som kan beskrive fordampning fra modellen.

Initial loss – volum av nedbør før "time for ponding". Dette er koblet til en "dry routine" som sikrer at "initial loss" opptrer ved neste regn i en langvarig simulering. I min modell beskriver "initial loss" et tap. Denne verdien er ulik ved sommer- og vintersituasjoner. verdi 0 siden nedstrøms ledning og "outfall" ikke har begrensning i vannføring.

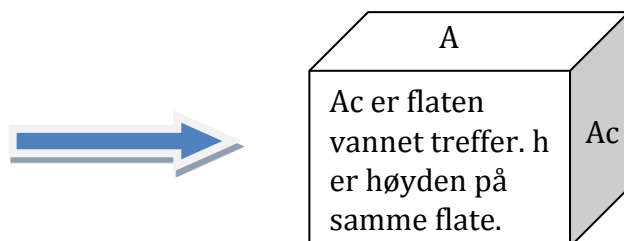
Pipe diameter – rørdimensjon. I modellen benyttes ruhet, $M = 85 \frac{m^{\frac{1}{3}}}{s}$, tilsvarende glatte betongrør.

Node diameter – sirkulære kummer.

Node type – "node" har kun diameter og "QH-relation" som variabler. "basin" har i tillegg "Storage curve" som variabel.

QH relation – graf som beskriver tap fra modellen som en funksjon av vanndybde. Egnet for å beskrive for eksempel infiltrasjon eller overløp ut av modellen.

Storage curve – graf som beskriver volumet i "basin" med en tabell ved h , A_c og A_s . Vannet inn i noden er angitt med blå pil. Jeg har benyttet intervallet $0m \leq h \leq 1,5m$ som inngangsverdi, der A_c og A_s har samme verdi i topp og bunn:



Noen forskjeller legges inn:

TABELL 4 OVERSIKT INNGANGSVERDIER I MIKE URBAN

	Nulltilstanden	Grønne tiltak	Fordrøyning	Konvensjonell
Imperviousness	50%	50%	50%	50%
Mean surface velocity [m/s]	0,1	0,1	0,3	0,3
Hydraulic reduction factor	1	1	1	1
Initial loss [mm]	5	5	1	1
Pipe diameter [mm]	Ingen	150	150	600
Node diameter [m]	1	1	1	1
Node type	noder	basin	basin + noder	noder
Storage curve [m ²]		Ac=5, As=5	Ac=40, As=40	

TABELL 5 I HOVEDOPPSETTET ER NOEN TILTAK MEDREGNET OG NOEN UTELATT (MARKERT MED *)

Kategori	Effekt på overvann	Eksempel på teknisk utforming
Tiltak nær kilden: Økt bruk av permeable flater. Fordrøyning i nærheten av kilden	Reduserer overvannsmengder. Forsinker og fordrøyer for å redusere flomtopper.	Bruk av permeable/ porøse flater. Fordrøyning i lukkede plastkassetter og steinfyllingsmagasin. Ansamling av overvann på spesielle flater for oversvømmelse. Grøfter/ forsengkninger. *Dammer. *Våtmarker. Grønne tak. Takutkast Regnbed.
Fordrøyd bortledning	Forsinker og fordrøyer for å redusere flomtopper.	Forsengkninger i terreng. Kanaler. Bekker/ grøfter
Samlet fordrøyning	Fordrøyer for å redusere flomtopper	*Dammer. *Våtmarksområder. *Tjern/ innsjøer. Lukkede fordrøyningsvolumer
Økt bruk av naturlige vannveier	Forsinker og fordrøyer for å redusere flomtopper.	Bekker/ elver. *Tjern/ innsjøer.

Dammer, våtmarker, tjern og innsjøer krever at modellen etablerer et vannspeil innen regnet begynner. Jeg har ikke lyktes i å skape disse tiltakene i MIKE URBAN / 21 samtidig som jeg har kontroll på volumet i nedbørshendelsen. En vanlig numerisk håndtering av slike tiltak er "hydrologisk routing" og kan godt simuleres i et sekvensielt program.

6.3. UTGANGSVERDIER I MIKE URBAN

maks verdi – den høyeste avleste vannføringen [m³/s].

tid_flomtopp – minuttverdi [min] som er tidspunktet da "maks verdi" avleses. Start er ved tid=0.

avvik fra nedbørstopp – minuttverdi [min] da tidspunkt for maks intensitet minus "maks verdi".

prosentvis reduksjon, maks som referanse – [%] definert slik at 0% er ikke reduksjon, mens 50% er halvparten av "maks verdi".

volum_på 60 minutter – [m³] er $\sum_{t=0}^{t=60} Q \cdot \Delta t$

volum i systemet etter 1 time – total nedbør minus "volum_på 60 minutter"

volum_til 2D Overland Flow – rapport fra MIKE URBAN for akkumulert volum ut av node til overflate gjennom hele beregningsperioden. Verdien sier ikke noe om maksimalt volum på overflaten.

Volum basin – [m³] rapport fra MIKE URBAN på totalt volum i basin. I modellen "fordrøyning" er det 129 m³ volum i noder.

Volum node+basin – [m³] Summen av "Volum basin" og volum i noder.

Nedslagsfelt*krav – Nedslagsfeltet er 32.874ha i min modell, dette er multiplisert med 3 / 6 /12 mm. Kraver er mm fordrøyning per m² tett flate slik det er vist på figuren i avsnittet *Planarbeid*. Det er verdt å merke seg at nedslagsfeltet har kun 50% bidragende areal, jamfør «imperviousness»

T= – er betegnelse på gjentaksintervall for nedbørshendelsen.

6.4. NEDBØRSHEDELSE

Formen på nedbørskurven er en kritisk inngangsparameter (30) (31). Trondheim kommune ønsket en beregning av nedbørstilfellene 29.juli og 13. august 2007 i Trondheim da det ble registrert skader på Strindheim (Brøset er en del av Strindheim). Lars Petter Risholt (på tidspunktet i SWECO, nå i MULTICONSULT) bidro i en analyse som konkluderte blant annet følgende utfordringer:

TABELL 6 SKADEÅRSAKER 2007, FRA TRONDHEIM KOMMUNE OG MULTICONSULT.

Eier	Medvirkende årsaker	# steder	Kommentar
Privat	Interne taknedløp / kapasitetssvikt på stikk	10	Trolig hovedårsak i 30-40% av skadene
Privat	Terrengskade	1	
Privat	Vann inn gjennom grunnmur / kjellerdør	5	Feil helning på terreng mot vegg
Privat	Feilkonstruert drens	1	Drens på innsiden av kjellermur
Privat	Skade på stikkledning	3	Svanker og dårlige skjøter
Privat	Innlekking av fremmedvann	1	Utett kum
Privat	Feilkobling	1	Feilkoblet stikkledning
Privat	Pumpekapasitet overskredet	2	
Privat	For liten overhøyde	6	Mindre enn +90cm.
Privat	Usikker årsak	15	
Kommunal	Overbelastet AF-ledning	16	
Kommunal	Overløp til spillvann i felleskummer	8	Spillvannsledning ligger dypest i åpne felleskummer
Kommunal	Røtter	3	
Kommunal	Strukturell svikt	3	Utette ledninger
Kommunal	Feilkonstruksjon, flaskehals	3	200 PVC rørdeler stukket inn i 225 betong
Kommunal	Drift, sedimenter	3	Antatt årsak på endeledninger
Kommunal	Annet	5	Løse pakninger, fremmedlegemer, forskjøvet rørskjøt

Disse hendelsene i 2007 er godt registrert og det er sannsynlig at tilsvarende nedbørshendelser vil gi utfordringer i fremtiden også. Min undersøkelse har ikke fanget opp andre nedbørformer enn disse som skadelige. Det er likevel stor sannsynlighet for at en annen nedbørsform også vil gi skade når forholdene ligger til rette; regn på snø, større andel tette flater, endring av vannveier eller andre urbanhydrologiske forandringer (intensitet, varighet, volum, temperatur, solinnstråling, vind, overflatetype)



FIGUR 11 VOLL MÅLESTASJON (GOOGLE STREET VIEW)

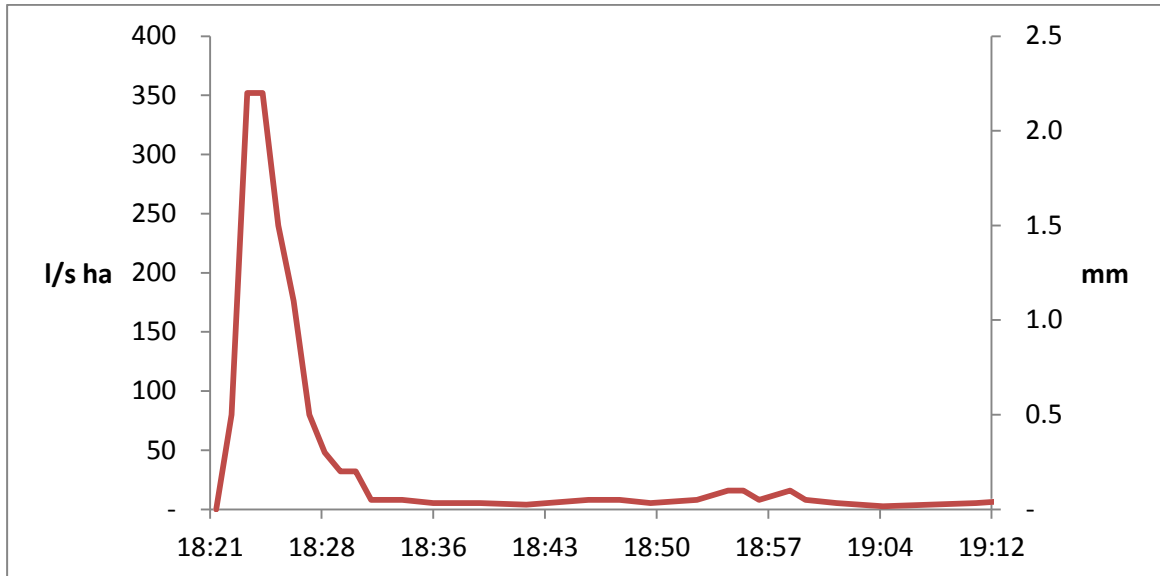
Intensitet-Varighet-Frekvens (IVF) kurve for Voll ble lagt inn i Excel og ved de ulike gjentaksintervallene ble følgende kurver laget og importert inn i MIKE URBAN som ".dfs0" fil. Metoden er en syntetisk design (31) med empiriske nedbørsformer, 29.juli 2007 og 13. august 2007, der intensiteten er hentet fra IVF kurver. Verken klimatillegg (20%) eller høydekorreksjon (10% per 100moh; Voll er på 115moh (7) og Brøset er 60-90moh gir ca 2,5% fradrag) er lagt til for å holde inngangsverdiene så enkle og tydelige som mulig. I forhold til detaljprosjektering vil fravær av klimatillegg gi et avvik. De relative verdiene mellom ulike tiltak er nyttige og disse blir i liten grad (opp mot 10%, ved grønne tiltak ved 2 års nedbørstilfelle) påvirket av et klimatillegg.

TABELL 7 IVFKURVE FRA TRONDHEIM KOMMUNENES VA-NORM.

Nedbørintensitet(l/s ha) Stasjonsnummer; 68862-VOLL MOHOLT TYHOLT										
År\min	1	2	3	5	10	15	20	30	45	60
2	163,1	130,5	115,8	94,5	69,1	56,4	47,8	37,2	29,2	24,5
20	303,7	261,1	235,1	188,2	124	93,5	76,3	56,7	45,5	39,2
100	391,7	342,8	309,8	246,9	158,4	116,7	94,1	68,8	55,8	48,4

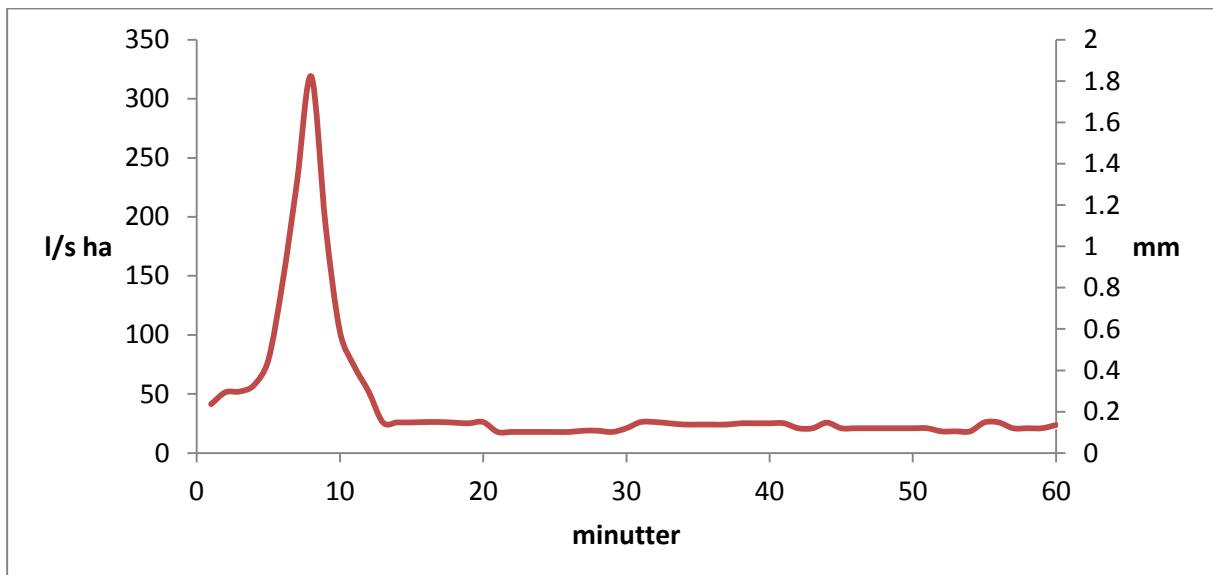
Gjentaksintervallet 2år er valgt ut fordi dette er det minste som fremgår av IVF kurven. Ved dette gjentaksintervallet er grønne tiltak og naturtilstanden særlig gunstig. Regnbed dimensjoneres gjerne på basis av (persentil av) årsnedbør eller korte gjentaksintervaller (2 eller 5 år) og derfor er dette gjentaksintervallet benyttet. Gjentaksintervallet 20 år er ifølge VA Normen (7) dimensjonerende for utbygging på Brøset etter dagens

dimensjoneringsrutine. Jeg benytter av samme grunn 20års gjentaksintervall som referanse når jeg justerer de ulike tiltakene i simuleringen. Gjentaksintervallet på 100år er også fra VA Normen (7) som maksimalt gjentaksintervall som ikke skal gi skade. Andre gjentaksintervaller har jeg funnet mindre nyttige enn de nevnte og derfor ikke simulert.



FIGUR 12 NEDBØRSHENDELSE 13. AUGUST 2007 SOM HAR GITT SKADER, REGISTRERT PÅ VOLL MÅLESTASJON (EKLIMA)

Hendelsen (13.august 2007) som er benyttet for 2års og 20 års nedbørshendelse har et gjentaksintervall på 100år (sammenlignet med dagens IVF kurve) innen 10 minutter og 10 år innen 20 minutter.



FIGUR 13 FOR 20ÅRSNEDBØRSHENDELSE. NEDBØRSTOPPEN KOMMER TIDLIG I FORLØPET, OG BAKKEN ER TØRR VED START AV HENDELSE.

Volumet for simulert nedbørshendelsen er 14,0mm. Fremgangsmåte for å lage syntetiske regn er slik:

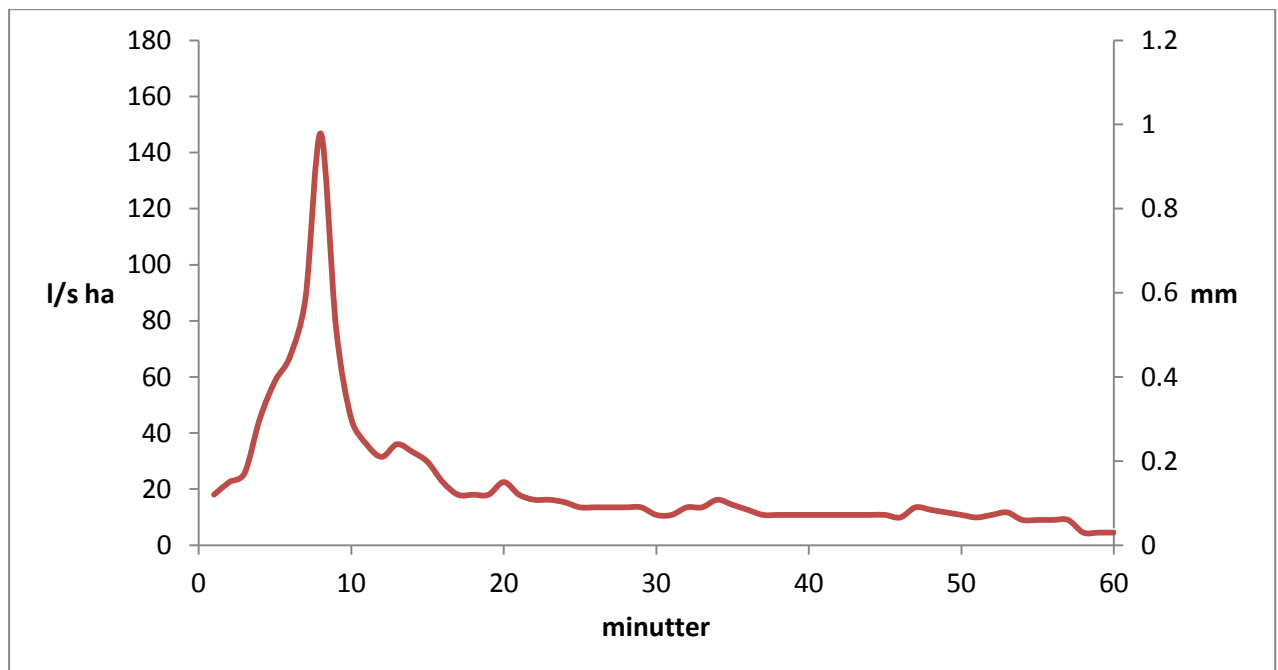
- Regneark i Excel der gjennomsnittet av verdiene (intensitet innenfor 1, 2, 3, 5, 10,.., 60 minutter) sjekkes mot IVF kurven.
- 1 minuttverdien ($I = 303,7 \frac{l}{s \cdot ha}$) fra IVF kurven plasseres ved tid=8min.
- 2 minuttverdien ($I = 2 \cdot 261,1 - 303,7 \frac{l}{s \cdot ha} = 218,5 \frac{l}{s \cdot ha}$) plasseres på tid=8-1=7min.
- 3 minuttverdien ($I = 3 \cdot 235,1 - 2 \cdot 261,1 \frac{l}{s \cdot ha} = 183,1 \frac{l}{s \cdot ha}$) plasseres på tid=8+1=9min.
- 5 minuttverdien ($I = \frac{5 \cdot 188,2 - 3 \cdot 235,1}{2} \frac{l}{s \cdot ha} = \frac{97,7 + 138}{2} \frac{l}{s \cdot ha}$) plasseres på tid=8-2=7min (138 l/s ha) og tid=8+2=10 (97,7 l/s ha).

Prosedyren fortsetter til alle tidpunkt innenfor 60 minutter har fått verdi og alle IVF verdier er oppfylt.

Verdiene 97,7 og 138l/s ha er tilfeldige og gir best mulig korrelasjon(R^2) med observert hendelser 29. juli og 13. august 2007.

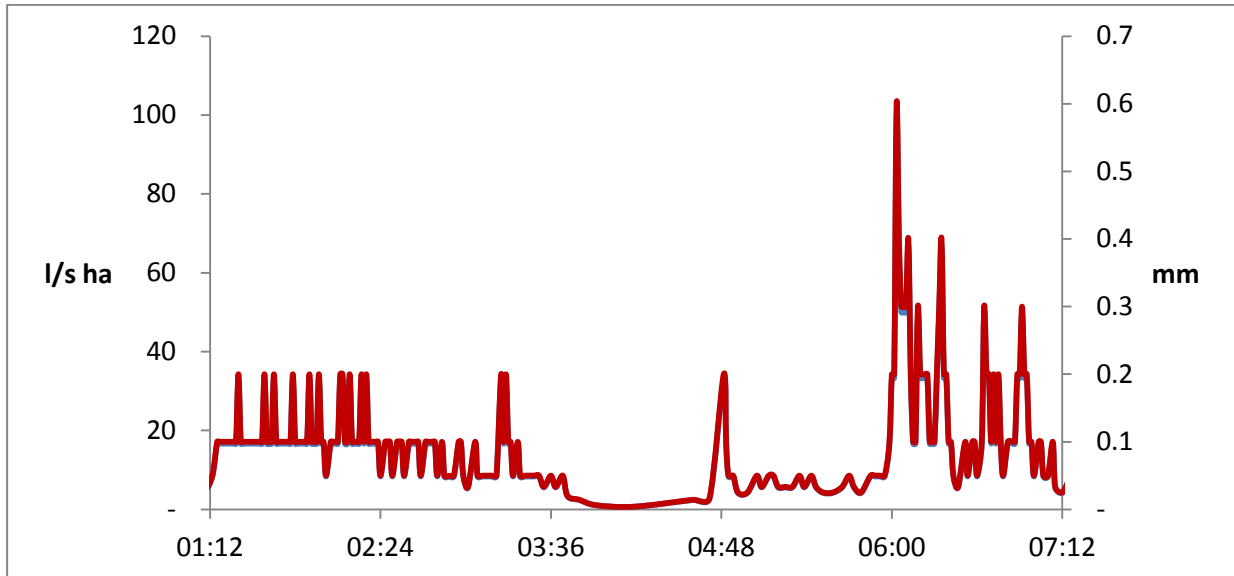
Modellen starter opp noe roligere for å tilfredsstillte verdiene i IVF kurven. Observert nedbørshendelse følger ikke IVF slik at nedbørsformen kan bli identisk med den simulerte som forholder seg til IVF kurven.

Dette regnet er benyttet som referanse i sammenligning av ulike tiltak da dette er dimensjonerende nedbørstilfelle for Brøset i dagens VA-Norm (7) (32), jamfør oversvømmelseshyppighet.



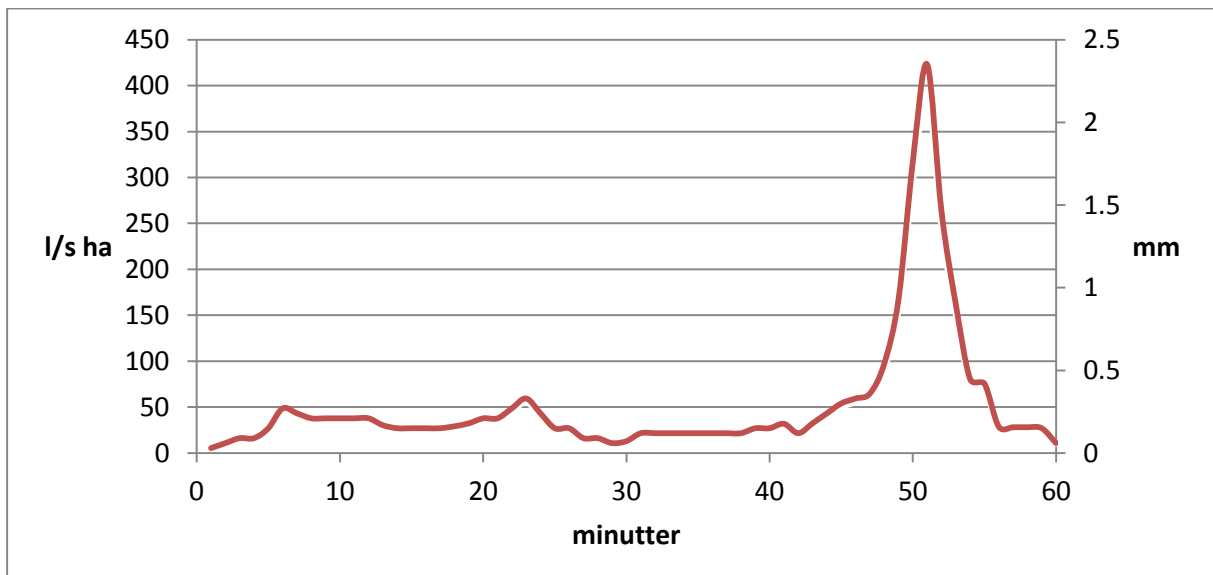
FIGUR 14 FOR 2ÅRSNEDBØRHENDELSE. NEDBØRSTOPPEN KOMMER TIDLIG I FORLØPET, OG BAKKEN ER TØRR VED START AV HENDELSE

Volumet for nedbørshendelsen er 8,7mm. Simulert hendelse er av samme grunn som 20 års nedbørshendelse noe glattet ut. Det er nyttig å merke seg at "initial loss" på 10mm ikke gir avrenning på en slik hendelse. Flomhyppighet og gjentaksintervall i IVF-kurven har dermed ikke noen direkte kobling, begge er resultat av statistisk behandling av målte verdier.



FIGUR 15 NEDBØRSHENDELSE 29.JULI 2007 SOM HAR GITT MED SKADER, REGISTRERT PÅ VOLL MÅLESTASJON (EKLIMA)

Hendelsen (29.juli 2007) som er benyttet for 100 års nedbørshendelse har et gjentaksintervall på mindre enn 2år (sammenlignet med dagens IVF kurve) innen 10 minutter og 5 år innen 20 minutter og 60 minutter, 10 år innen 100 minutter.

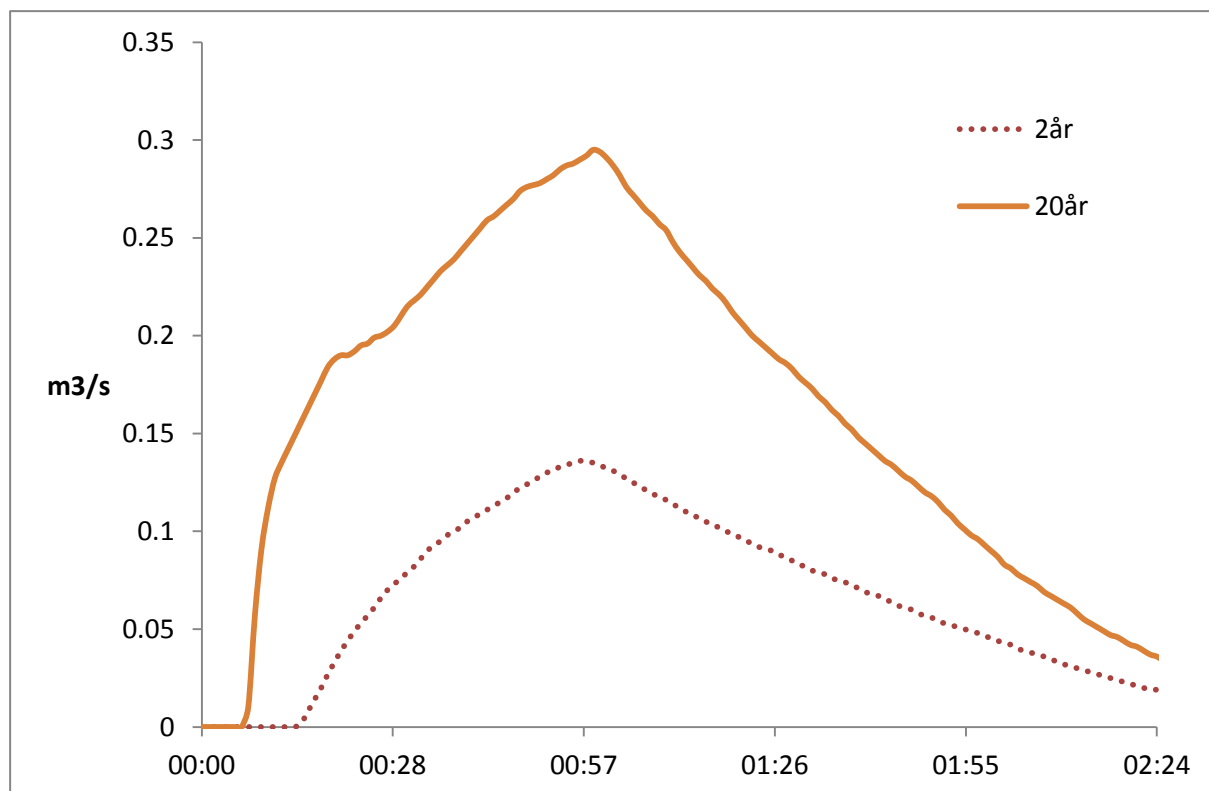


FIGUR 16 FOR 100ÅRSREGN. BAKKEN ER VÅT NÅR REGNBØREN NÅR SIN MAKSVERDI.

Volumet for hele nedbørshendelsen er 17,4mm. Formen ligner på nedbørshendelsen 13. august, avviket skyldes tilpasning til IVF kurve. Observert volum er lavere enn simulert og de observerte nedbørstoppene er flere og mindre.

6.5.NULLTILSTANDEN VED T=2ÅR OG T=20ÅR

Grafen som tegnes ut er produsert i MIKE VIEW der jeg viser "Link Discharge" med felles nedstrøms ledning. Jeg har satt tidsaksen til 02:24 da resten av simuleringstiden ikke gir mer informasjon, men tvinger grafene til å bli mer kompakte.



FIGUR 17 NULLTILSTANDEN

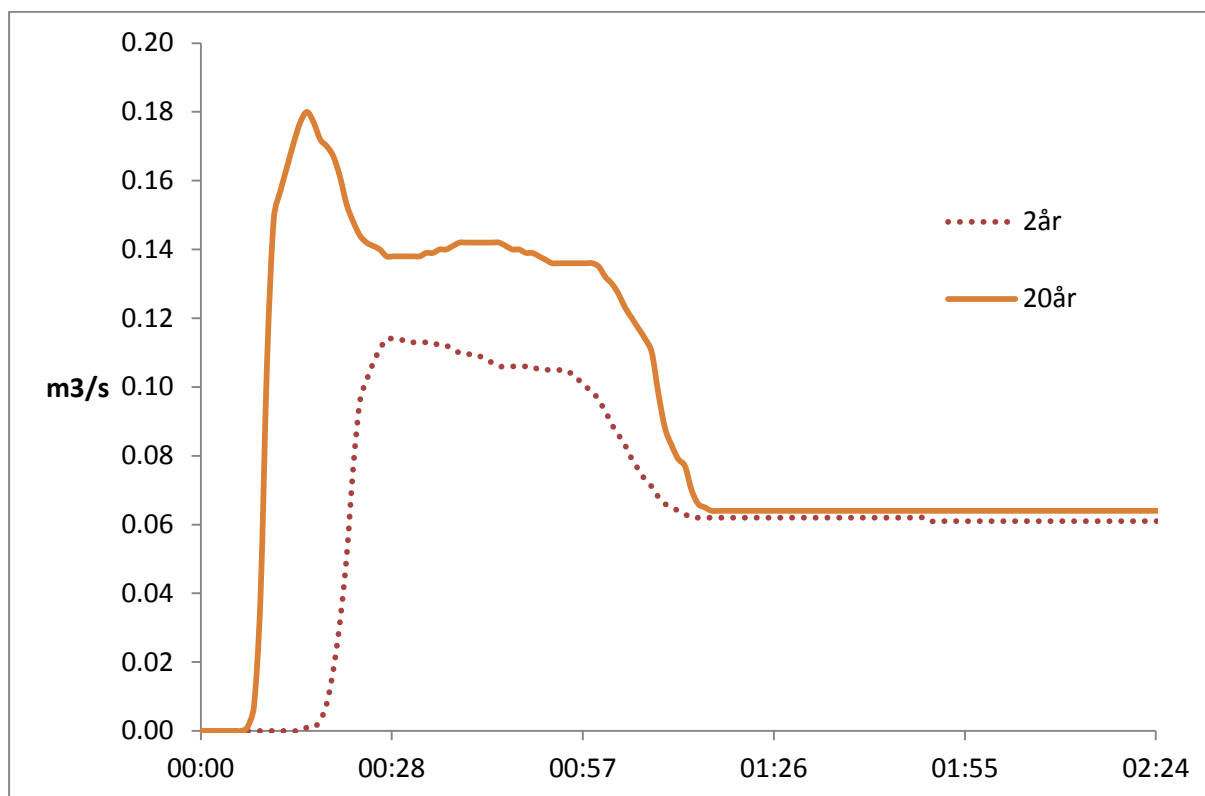
Grafene er ikke helt troverdige da utløpshydrogrammene fra feltene er koblet direkte i nedstrøms node slik at hastigheten er uavhengig vannføringen. Hadde hvert felt generert overflateavrenning (hastighet avhengig av vannføringen) ville nok responsen til feltet bli noe mer spiss, da vannføringen i bekkene hadde gitt høyere hastighet enn min inngangsverdi (0,1 m/s). Denne effekten er mindre tydelig på grunn av trappetrinnseffekten i ".dem" filen.

TABELL 8 TALLVERDIER FOR NULLTILSTANDEN

	2 år	20 år
maks verdi [m3/s]	0,14	0,30
tid_flomtopp [min]	00:57:00	00:59:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:49:00	00:51:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	54 %	0 %
volum_på 60 minutter [m3]	239	683
volumandel i systemet etter 1 time	81 %	68 %
volum_til 2D Overland Flow [m3]	0	0

6.6. GRØNNE TILTAK VED T=2ÅR OG T=20ÅR

Her er det simulert permeable flater, grønne tak, regnbed og lukkede fordrøyningsvolumer. De er kvantifisert med infiltrasjon (QH=-0,01m/h), initial loss (5mm) og lav vannhastighet (0,3m/s).



FIGUR 18 GRØNNE TILTAK

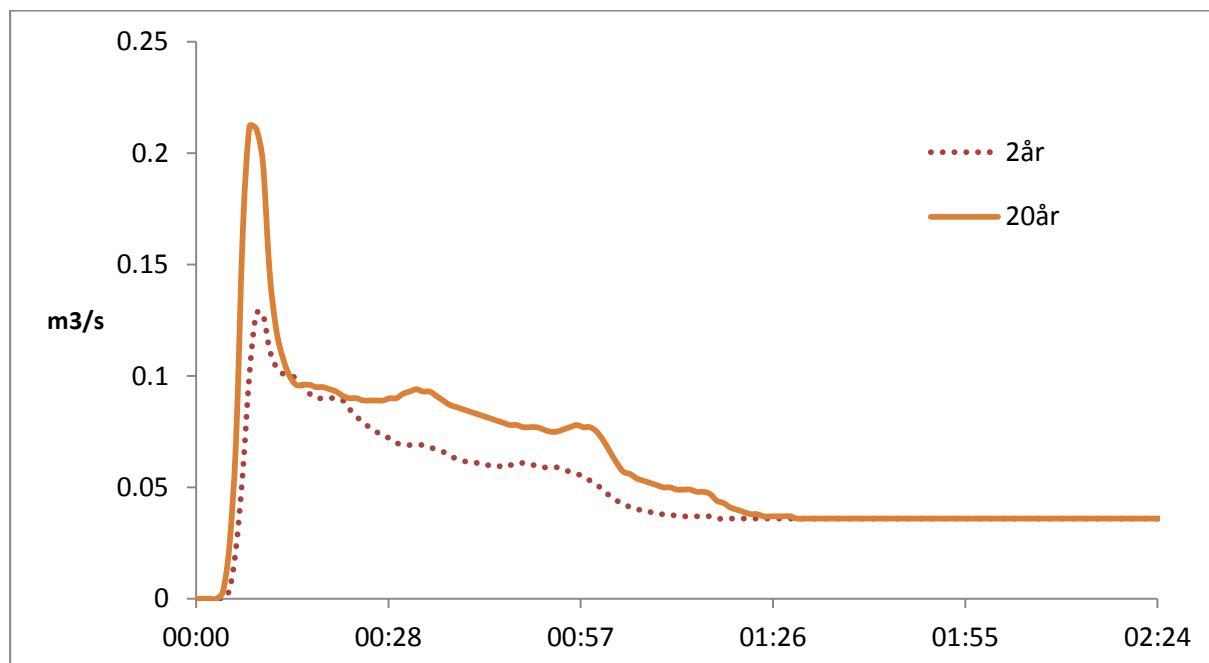
Siden tiltakene tar opp 5mm nedbør så genereres noe av høyintensitetsregnet til avrenning. I forhold til nulltilstanden og konvensjonelle tiltak viser grønne tiltak en svært stabil vannføring og systemet har lavvannsføring på 75 l/s som er en bekk verdig.

TABELL 9 TALLVERDIER FOR GRØNNE TILTAK

	2 år	20år
maks verdi [m ³ /s]	0,11	0,18
tid_flomtopp [min]	00:28:00	00:16:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:20:00	00:08:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	38 %	0 %
volum_på 60 minutter [m ³]	244	439
volumandel i systemet etter 1 time	81 %	79 %
volum_til 2D Overland Flow [m ³]	0	0

6.7.FORDRØYNING VED T=2ÅR OG T=20ÅR

Her er det simulert responsen til et konvensjonelt system med noen fordrøyningsmagasiner. Slik vil trolig utløpshydrogrammet bli ved et fordrøyningskrav på 6mm åpr m² tette flater slik VA Normen krever (7). Simulert system har trolig for liten struping av vannmengde.



FIGUR 19 KONVENSJONELL LØSNING MED FORDRØYNING

Avrenningen viser at maks videreført vannmengde er omtrent 200 l/s. Det volmet som da ikke videreføres renner på overflaten i magasiner og kanaler (18 og 148m³ for de to nedbørstilfellene). Dette oppsettet gir en forutsigbar oppførsel, men systemet bruker lengre tid enn konvensjonell løsning på å gjenopprette full kapasitet.

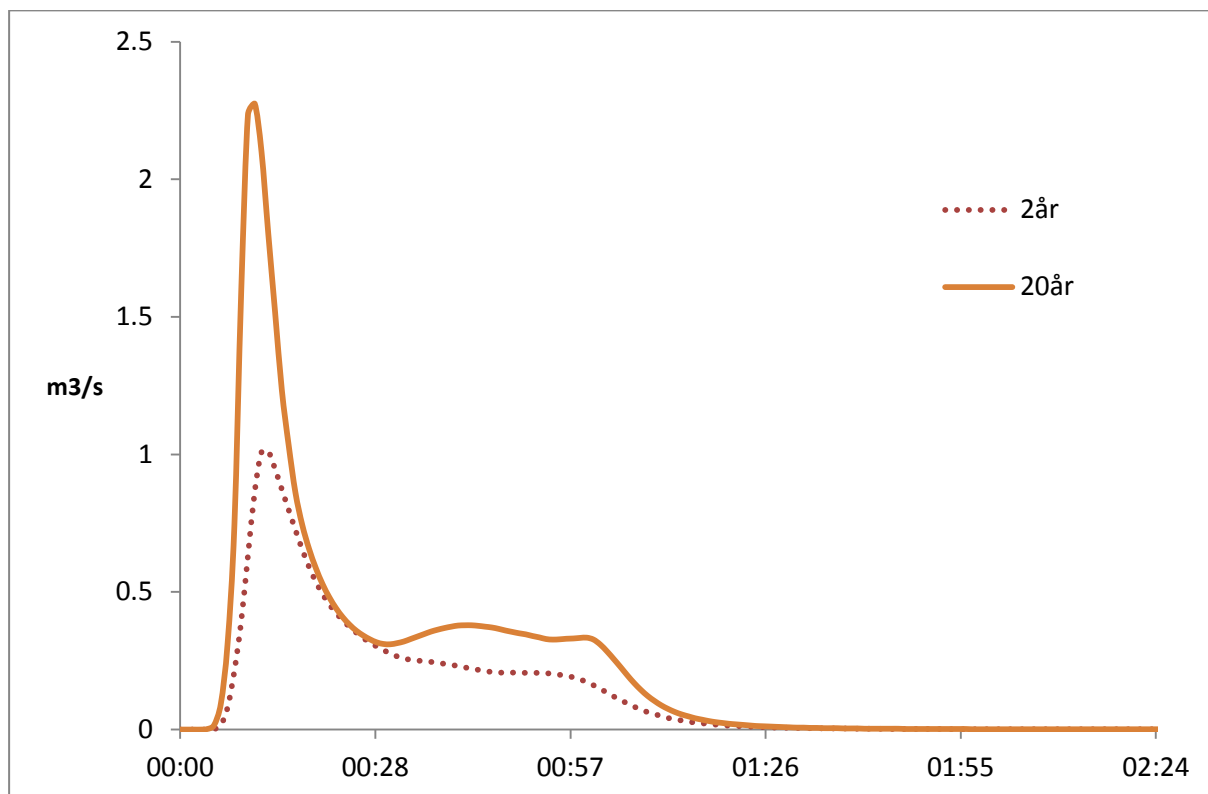
MIKE URBAN tillater regulering av vannføring i ledningene gjennom "Regulation". Da benyttes en "Regulation Qmax (H)" kurve som defineres på samme måte som "QH relation". I praktisk bruk er dette en vannføringsregulator, men jeg har benyttet rørtverrsnitt og helning som begrensning i vannføringen i stedet.

TABELL 10 TALLVERDIER FOR FORDRØYNING

	2år	20år
maks verdi [m ³ /s]	0,128	0,212
tid_flomtopp [min]	00:09:00	00:08:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:01:00	00:00:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	40 %	0 %
volum_på 60 minutter [m ³]	239	313
volumandel i systemet etter 1 time	81 %	85 %
volum_til 2D Overland Flow [m ³]	18	148

6.8.KONVENSJONELL LØSNING VED T=2ÅR OG T=20ÅR

Her er det simulert responsen til et konvensjonelt system. Da benyttes sluk, sandfang, kummer og rør/kulvert.



FIGUR 20 KONVENSJONELL LØSNING

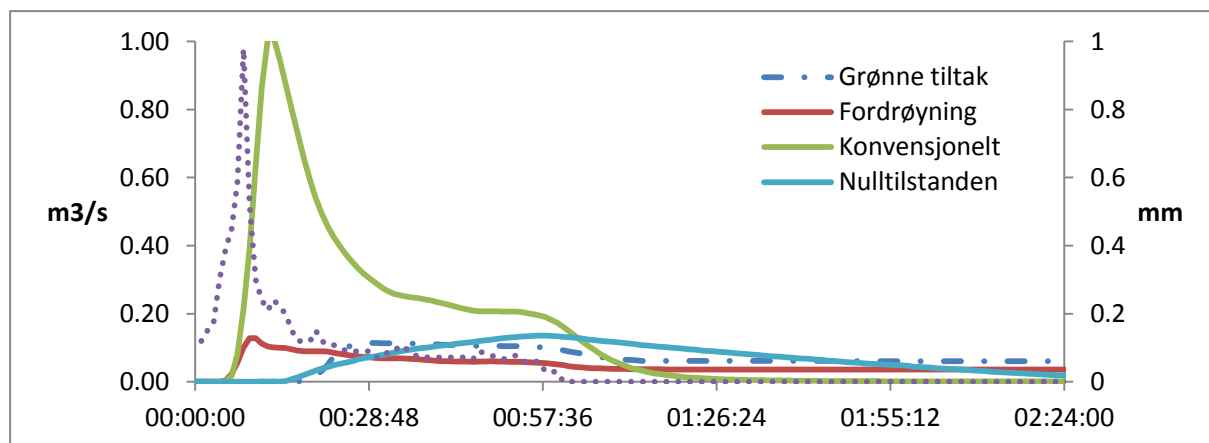
Ved en konvensjonell løsning er den designet (diameter og helning) slik røret ikke går fullt ved 20 års nedbørstilfelle, slik at det beholdes en sikkerhetsfaktor opp til kjellergulv (+90 cm over topp rør) jamfør oversvømmelseshyppighet (7) for åpent boligområde. Ledningsnettet er i normal driftsituasjon etter 30 minutter fra nedbørstopp. Grafen viser at maksimal vannføring ved konvensjonell løsning er ganske lik for 20 og 100 års nedbørshendelse sammenlignet med naturtilstanden.

TABELL 11 TALLVERDIER FOR KONVENSJONELL LØSNING

	2år	20år
maks verdi [m3/s]	1,011	2,275
tid_flomtopp [min]	00:13:00	00:11:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:05:00	00:03:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	56 %	0 %
volum_på 60 minutter [m3]	1172	1909
volumandel i systemet etter 1 time	7 %	10 %
volum_til 2D Overland Flow [m3]	0	28

6.9.ULIKE OPPSETT (T=2 ÅR)

Tabellen viser hvordan systemene responderer på den minste nedbørshendelsen etter IVF kurven og den viser at kun konvensjonell løsning med rør og kummer gir høy vannføring.



FIGUR 21 VANNFØRING 2ÅRSREGN

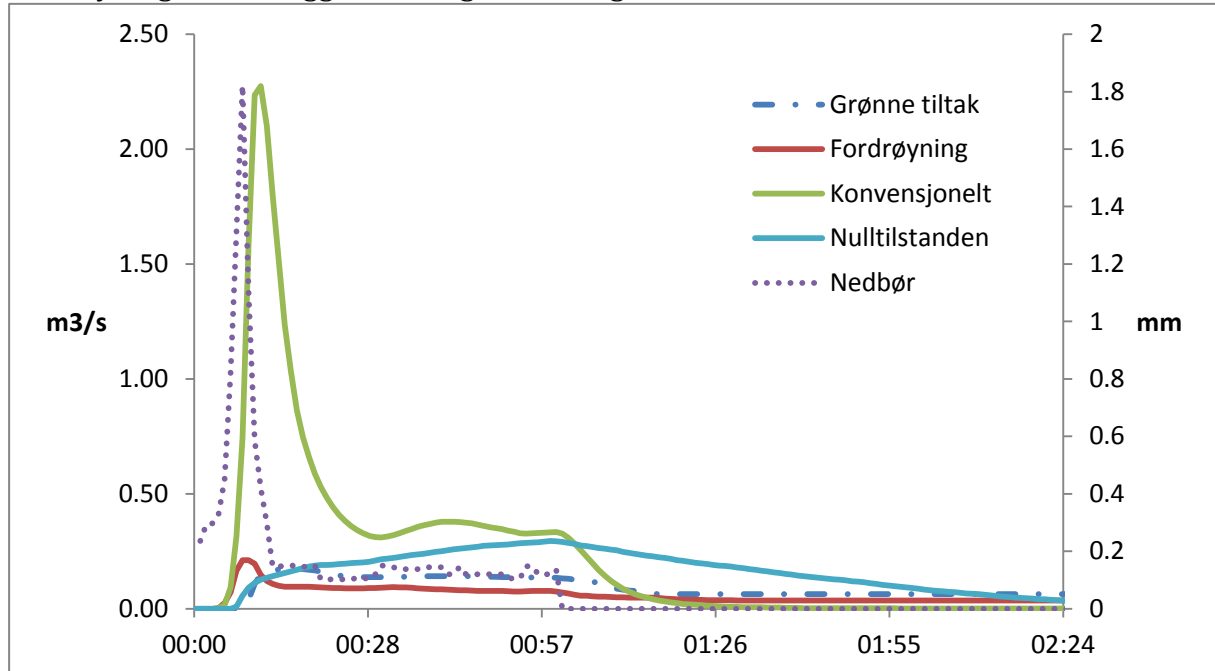
Fra grafen ses "initial loss" tydelig på nulltilstanden og grønne tiltak. Vannføringen er fordelt over mye lengre tidsrom slik tabellen under viser. For fordrøyning lagres vann på overflaten. Volumet som lagres på overflaten er større for 100 års nedbørstilfelle (398m³) sammenlignet med 2 års nedbørstilfelle (19m³). For konvensjonelle tiltak håndterer anlegget et 2 års (28m³) nedbørstilfelle, men et betydelig magasin i overflaten er nødvendig ved 100 års nedbørstilfelle (136m³). Dette skyldes at det er dimensjonert for 20 års nedbørshendelse. Både grønne tiltak og fordrøyning holder vannføringen på samme nivå som nulltilstanden. Imidlertid så er flomtøppen senere i forløpet for nulltilstanden og grønne tiltak, nesten 30 minutter etter fordrøyning- altså dobbelt så lang tid etter. En kan merke seg hvordan fordrøyningen blir håndtert i MIKE URBAN da vannføringen "kuttet" ved en viss vannføring. Dette gir en svært tidlig topp, mens grafen viser at vannføringen er tilnærmet stabil i mer enn 1 times tid.

TABELL 12 NØKKELTALL 2 ÅRSREGN

	Nulltilstanden	Grønne tiltak	Fordrøyning	Konvensjonelt
maks verdi [m ³ /s]	0,14	0,11	0,128	1,011
tid_flomtopp [min]	00:57:00	00:28:00	00:09:00	00:13:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:49:00	00:20:00	00:01:00	00:05:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	87 %	89 %	88 %	0 %
volum_på 60 minutter [m ³]	239	244	239	1172
volumandel i systemet etter 1 time	81 %	81 %	81 %	7 %
volum_til 2D Overland Flow [m ³]	0	0	18	0

6.10. ULIKE OPPSETT (T=20 ÅR)

Tabellen viser responsen ved antatt dimensjonerende nedbørstilfelle. Nulltilstanden er uten rør og kummer, grønne tiltak viser effekt av regnbed, grønne tak, swales og permeable flater. Konvensjonell utbygging med sandfang, rør og kummer, mens fordrøyning har i tillegg noen magasiner langs traséen.



FIGUR 22 VANNFØRING AV 20ÅRSREGN

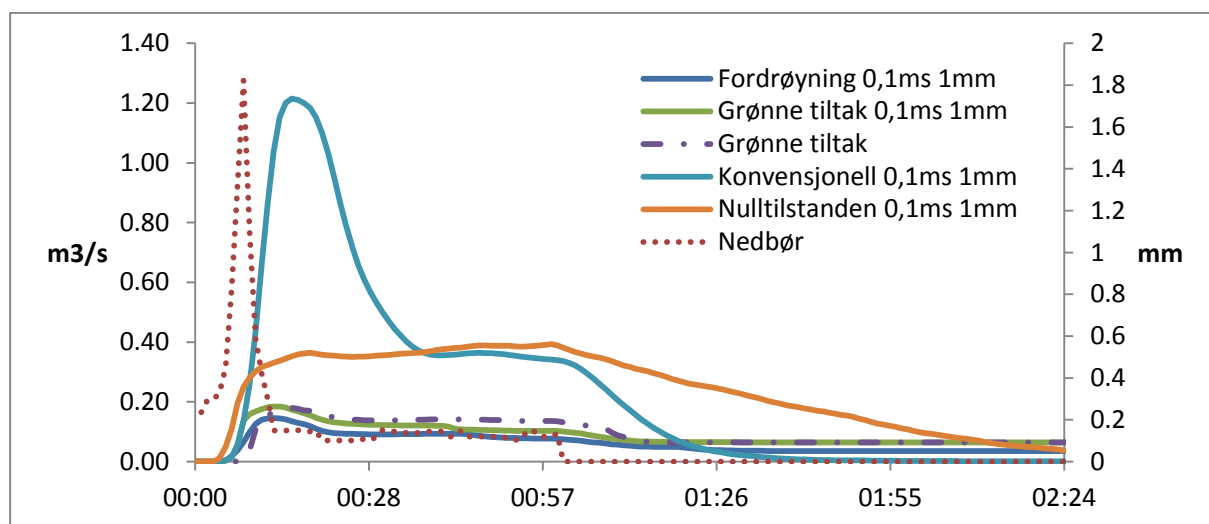
Nøkkeltall viser en flomreduksjon på omtrent 90 % for alle forsinkende løsninger, eventuelt en 10x økning ved å benytte ledninger uten flaskehalser. Både nulltilstanden og konvensjonell løsning har doblett vannføringen fra 2 til 20 års nedbørshendelse. Denne trenden blir ytterligere forsterket for nulltilstanden ved 100 års nedbørshendelse. Ved å velge 10mm "initial loss" er det ingen markant nedbørstopp på grønne tiltak. Dette kan trolig forklares med at kun 4mm (14,0mm – 10 mm) nedbør skaper vannføringen.

TABELL 13 NØKKELTALL 20 ÅRSREGN

	Null-tilstanden	Grønne tiltak	For-drøyning	Konven-sjonell
maks verdi [m3/s]	0,30	0,18	0,212	2,275
tid_flomtopp [min]	00:59:00	00:16:00	00:08:00	00:11:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:51:00	00:08:00	00:00:00	00:03:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	87 %	92 %	91 %	0 %
volum_på 60 minutter [m3]	683	439	313	1909
volumandel i systemet etter 1 time	68 %	79 %	85 %	10 %
volum_til 2D Overland Flow [m3]	0	0	148	28

6.11. ULIKE OPPSETT (0,1M/S, 1MM TAP, T=20ÅR)

Grafen viser feltet der hastigheten på overflaten er lav og en ikke får redusert vannmengdene med «initial loss». Grønne tiltak bør dimensjoneres slik at lav vannhastighet oppnås med hjelp av permeable flater, swales, grøfter, regnbed og infiltrasjonsmagasin.



FIGUR 23 ULIKE OPPSETT MED 1M/S, 1MM INITIAL LOSS OG 20 ÅRS NEDBØRSTILFELLE

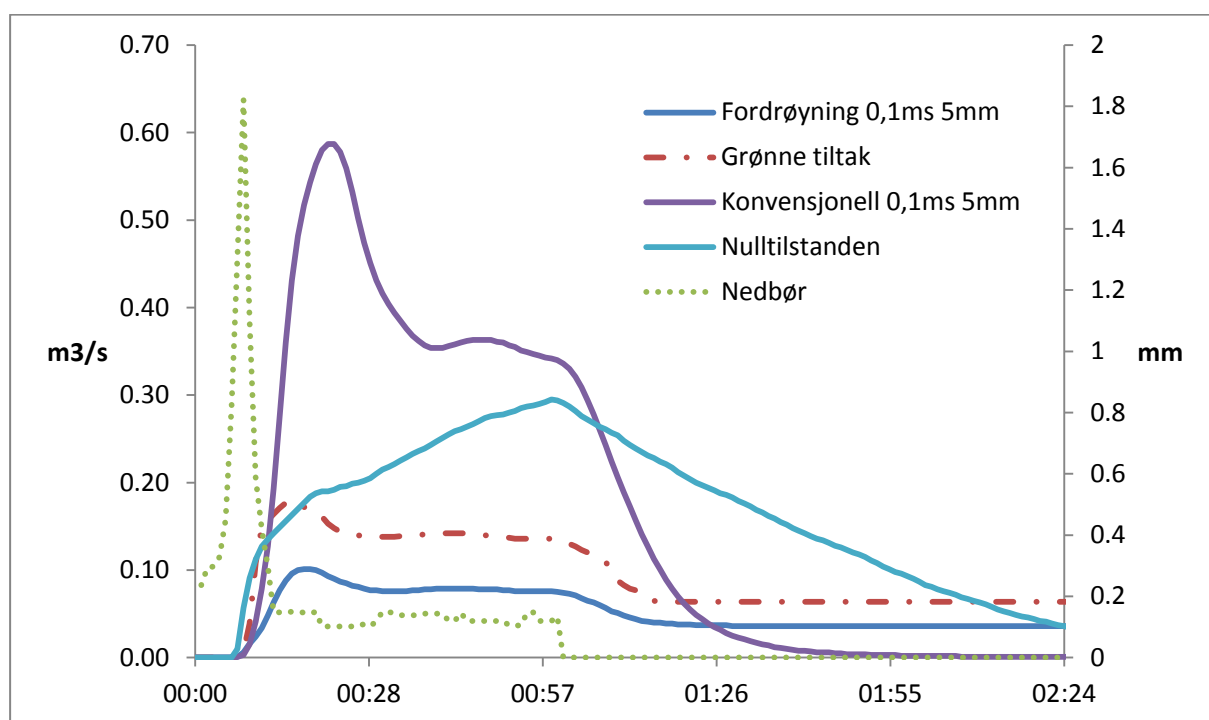
Nulltilstanden oppnår en vannføring på 400l/s som er dobbelt så høyt som systemet med regnbed / grøfter / grønne tak / infiltrasjonsmagasin og systemet med fordrøyningsmagasin.

TABELL 14 NØKKELTALL FOR OPPSETT MED 0,1M/S, 1MM TAP VED 20 ÅRS NEDBØRSTILFELLE

	Fordrøyning 0,1ms 1mm	Grønne tiltak 0,1ms 1mm	Grønne tiltak	Konvensjonell 0,1ms 1mm	Null- tilstanden 0,1ms 1mm
maks verdi [m3/s]	0,146	0,184	0,18	1,215	0,393
tid_flomtopp [min]	00:13:00	00:13:00	00:16:00	00:16:00	00:59:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:05:00	00:05:00	00:08:00	00:08:00	00:51:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	51 %	85 %	85 %	0 %	68 %
volum_på 60 minutter [m3]	309	407	439	1827	1149
volumandel i systemet etter 1 time	85 %	81 %	79 %	14 %	46 %
volum_til 2D Overland Flow [m3]	49	0	0	0	0

6.12. ULIKE OPPSETT (0,1M/S, 5MM TAP, T=20ÅR)

Grafen viser samme oppsettet som forrige, men ved høyere «initial loss».



FIGUR 24 ULIKE OPPSETT MED 0,1M/S, 5MM INITIAL LOSS OG 20 ÅRS NEDBØRSTILFELLE

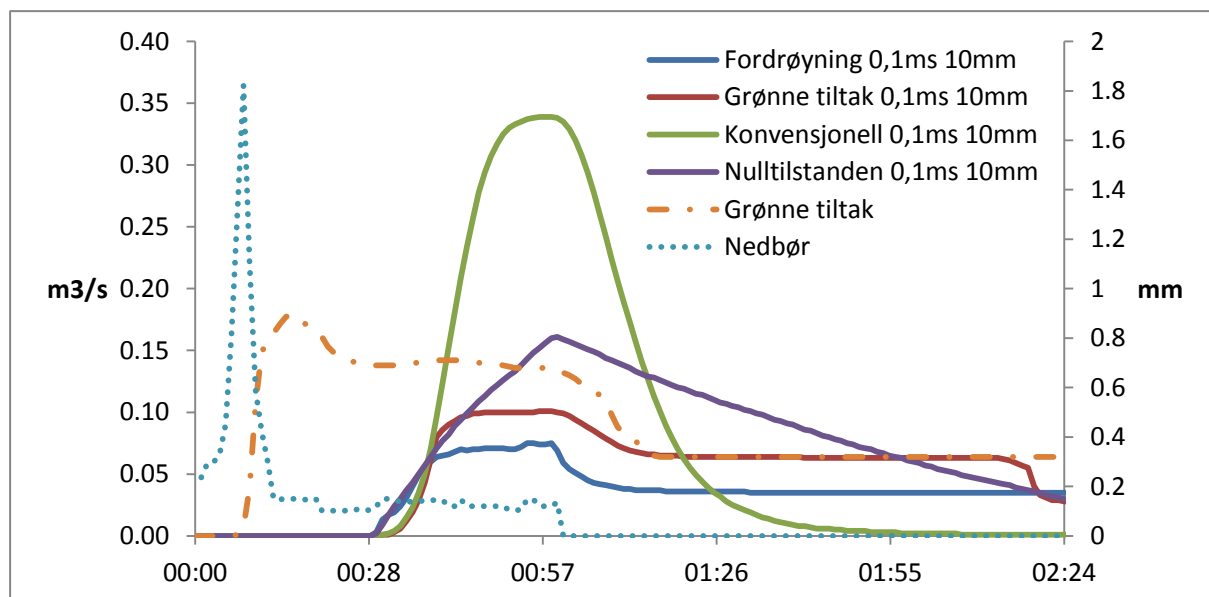
Grafen viser at maksimal vannføring er omtrent halvert for det konvensjonelle systemet kun ved endring i «initial loss» der 1mm ga 1215 l/s og 5mm ga 587l/s. Nedbørshendelsen er på 8 mm og da vil vannføringen som gir bidrag endres fra (14-1)mm=13mm til (14-5)mm=9mm. Vannføringen for de andre tiltakene gir ikke utslag og viser at «initial loss» er kun et av mange bidrag i den lave maksimalvannføringen.

TABELL 15 NØKKELVERDIER FOR 0,1M/S, 5 MM TAP VED 20 ÅRS NEDBØRSTILFELLE

	Fordrøyning 0,1ms 5mm	Grønne tiltak	Konvensjonell 0,1ms 5mm	Nulltilstanden
maks verdi [m3/s]	0,101	0,18	0,587	0,30
tid_flomtopp [min]	00:18:00	00:16:00	00:22:00	00:59:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:10:00	00:08:00	00:14:00	00:51:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	83 %	69 %	0 %	49 %
volum_på 60 minutter [m3]	237	439	1166	683
volumandel i systemet etter 1 time	89 %	79 %	45 %	68 %
volum_til 2D Overland Flow [m3]	0	0	0	0

6.13. ULIKE OPPSETT (0,1M/S, 10MM TAP, T=20ÅR)

Grafen viser et system utnytter på mange måter det beste av bidragene. Ledningsnettets er rask tømte for og klar for mer, det meste av vannet holdes igjen i systemet og erosjonsfaren er liten på grunn av lav hastighet.



FIGUR 25 ULIKE OPPSETT MED 0,1M/S, 10 MM INTIAL LOSS OG 20 ÅRS NEDBØRSTILFELLE

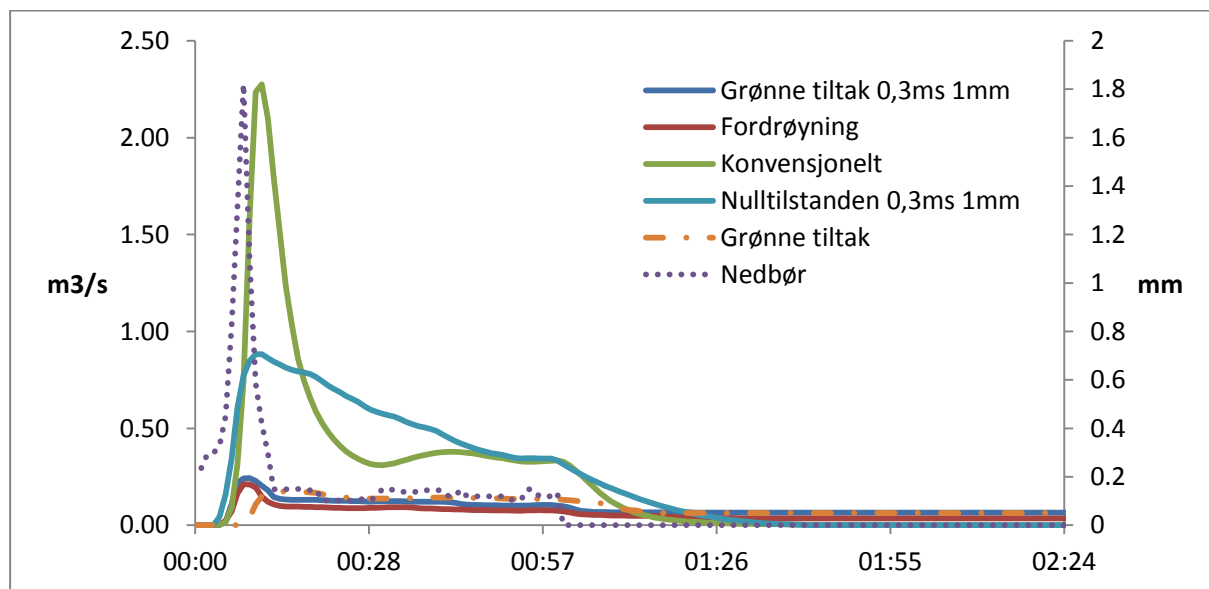
Forsinkelsene med så høyt «initial loss» og lav tilrenningstid gir en formidabel forsinkelse av flomtoppen på omtrent 1 time. For det konvensjonelle systemet så er flomtoppen mindre spiss slik at en ny økning i tilrenningstid ikke gir like stor reduksjon i maksimal vannføring.

TABELL 16 NØKKELVERDIER FOR 0,1M/S OG 10MM TAP VED 20 ÅRS NEDBØRSTILFELLE.

	Fordrøyning 0,1ms 10mm	Grønne tiltak	Grønne tiltak 0,1ms 10mm	Konvensjonell 0,1ms 10mm	Null-tilstanden 0,1ms 10mm
maks verdi [m3/s]	0,075	0,18	0,101	0,339	0,161
tid_flomtopp [min]	00:55:00	00:16:00	00:57:00	00:57:00	01:00:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:47:00	00:08:00	00:49:00	00:49:00	00:52:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	78 %	47 %	70 %	0 %	53 %
volum_på 60 minutter [m3]	103	439	127	340	162
volumandel i systemet etter 1 time	95 %	79 %	94 %	84 %	92 %
volum_til 2D Overland Flow [m3]	0	0	0	0	0

6.14. ULIKE OPPSETT (0,3M/S, 1MM TAP, T=20ÅR)

Grafen viser hvordan systemene responderer med en høyere tilrenningshastighet og lav konsentrasjonstid. Verdien (0,3m/s) er standardverdi i MIKE URBAN. Jeg opplever at hastigheten (0,1m/s) er naturtro, men ved høye vannstander vil trolig hastigheten overstige 1m/s i bekker og grøfter.



FIGUR 26 ULIKE OPPSETT MED 0,3M/S 1 MM INITIAL LOSS OG 20 ÅRS NEDBØRSTILFELLE

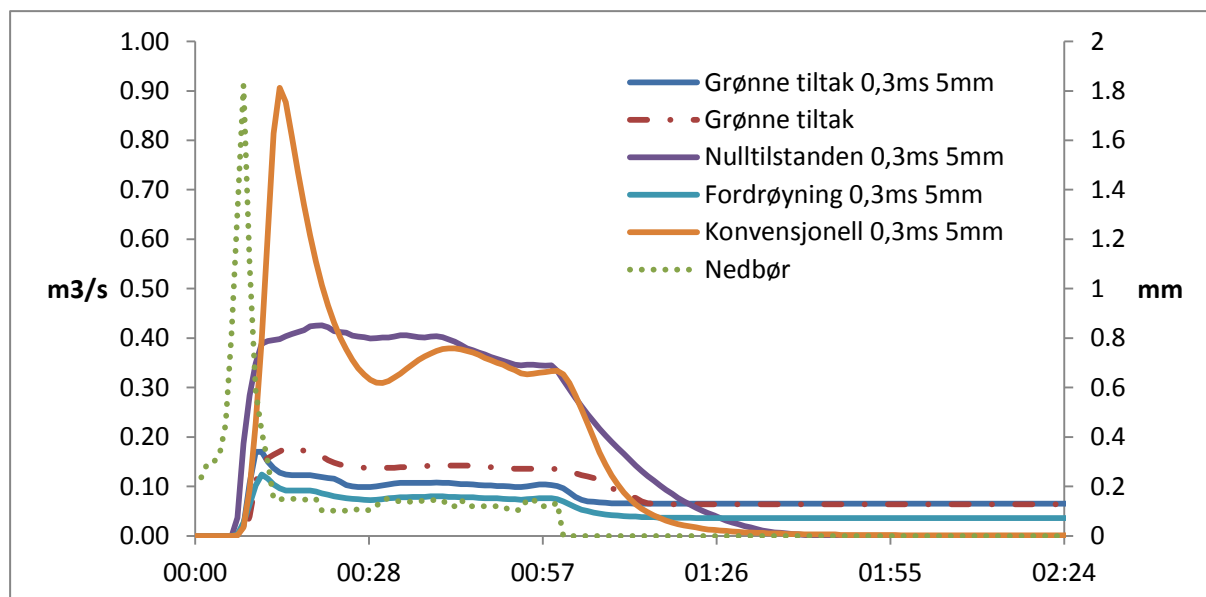
Maksimal vannføring for alle fire oppsettene er doblet sammenlignet med tilrenningshastighet på 0,1m/s. Legge gjerne merke til at hvis denne hastigheten er representativ for nulltilstanden så vil kanskje alle fordrøyende tiltak sikre mindre maksimalvannføring enn nulltilstanden.

TABELL 17 NØKKELVERDIER FOR 0,3M/S, 1MM TAP VED 20 ÅRS NEDBØSHENDELSE

	For- drøyning	Grønne tiltak	Grønne tiltak 0,3ms 1mm	Kon- vensjonell	Nulltilstanden 0,3ms 1mm
maks verdi [m3/s]	0,212	0,18	0,243	2,275	0,883
tid_flomtopp [min]	00:08:00	00:16:00	00:09:00	00:11:00	00:10:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:00:00	00:08:00	00:01:00	00:03:00	00:02:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	91 %	92 %	89 %	0 %	61 %
volum_på 60 minutter [m3]	313	439	74	1909	1858
volumandel i systemet etter 1 time	85 %	79 %	97 %	10 %	12 %
volum_til 2D Overland Flow [m3]	148	0	0	28	0

6.15. ULIKE OPPSETT (0,3M/S, 5MM TAP, T=20ÅR)

Grafen viser en sannsynlig utbyggingsløsning der det ikke lykkes med mange hastighetsreducerende tiltak og flomtoppen er fremdeles stor. Her vises en høy tilrenningshastighet og et rimelig «initial loss».



FIGUR 27 ULIKE OPPSETT MED 0,3 M/S 5 MM INITIAL LOSS OG 20 ÅRS NEDBØRSTILFELLE

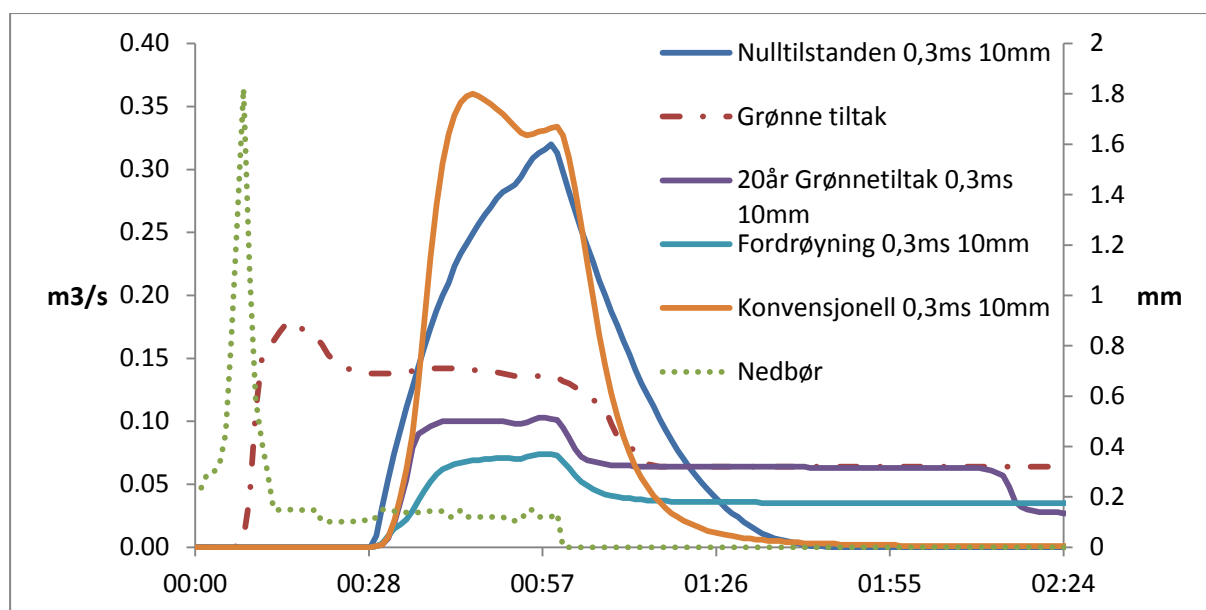
Grafen viser blant annet at grønne tiltak (0,1m/s, 5mm tap) ikke gir gunstigere videreført vannmengde enn grønne tiltak med 0,3m/s og 5mm tap. Det betyr hastighet ikke er like kritisk for grønne tiltak som for konvensjonelle tiltak.

TABELL 18 NØKKELVERDIER FOR 0,3M/S, 5MM TAP VED 20 ÅRS NEDBØRSTILFELLE

	Fordrøyning 0,3ms 5mm	Grønne tiltak	Grønne tiltak 0,3ms 5mm	Konvensjonell 0,3ms 5mm	Null- tilstanden 0,3ms 5mm
maks verdi [m3/s]	0,124	0,18	0,17	0,906	0,426
tid_flomtopp [min]	00:11:00	00:16:00	00:10:00	00:14:00	00:21:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:03:00	00:08:00	00:02:00	00:06:00	00:13:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	86 %	80 %	81 %	0 %	53 %
volum_på 60 minutter [m3]	251	439	342	1276	1198
volumandel i systemet etter 1 time	88 %	79 %	84 %	40 %	43 %
volum_til 2D Overland Flow [m3]	12	0	0	0	0

6.16. ULIKE OPPSETT (0,3M/S, 10MM TAP, T=20ÅR)

Grafen viser en rask avrenning, men med et stort tap i starten av nedbørshendelsen. På denne måten «ufarliggjøres» de intense sommerregnene.



FIGUR 28 ULIKE OPPSETT MED 0,3 M/S 10 MM INITIAL LOSS OG 20 ÅRS NEDBØRSTILFELLE

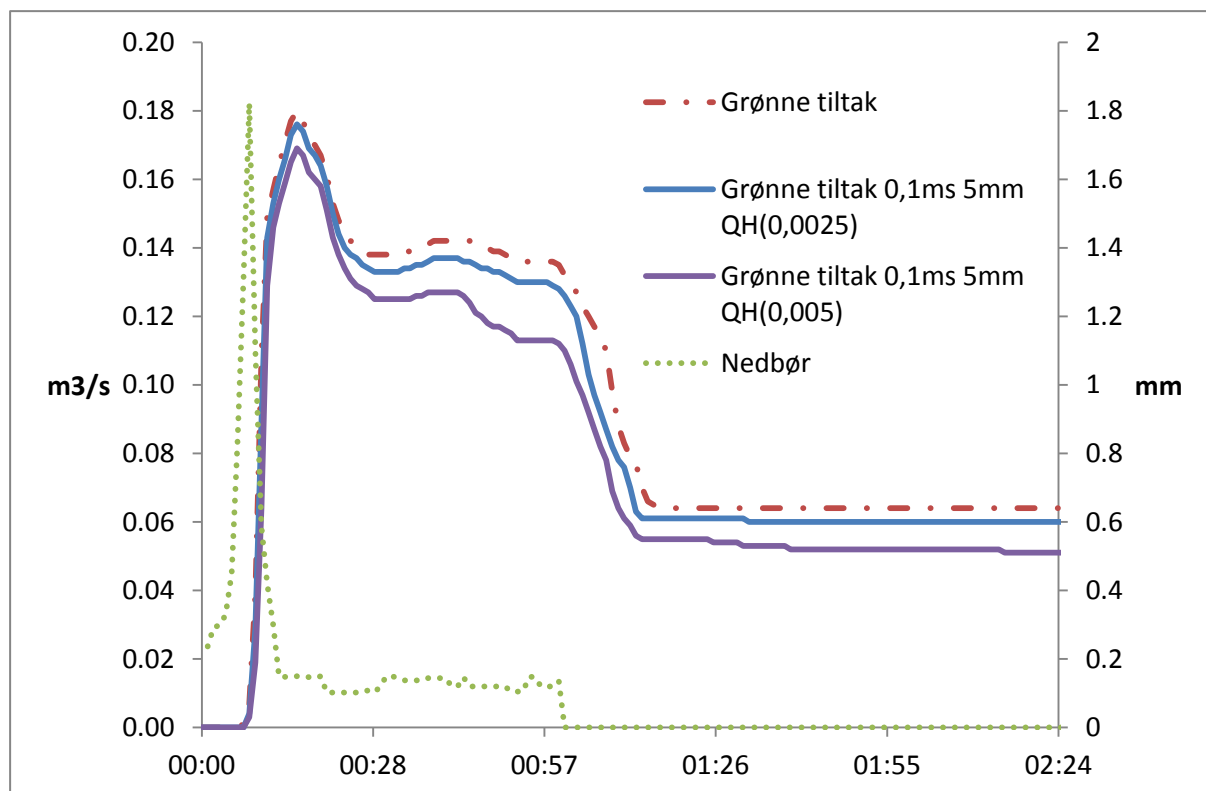
Grafen viser godt at nedbørstoppen mangler og det gjenværende nedbørsvolumet håndteres godt av alle systemene. Det er snedig at konvensjonell og nulltilstanden kan respondere så likt med så ulike utgangspunkt.

TABELL 19 NØKKELTALL FOR 0,3M/S, 10MM TAP VED 20 ÅRS NEDBØRSTILFELLE

	Fordrøyning 0,3ms 10mm	Grønne tiltak	Grønne tiltak 0,3ms 10mm	Konvensjonell 0,3ms 10mm	Null- tilstanden 0,3ms 10mm
maks verdi [m3/s]	0,074	0,18	0,103	0,36	0,32
tid_flomtopp [min]	00:57:00	00:16:00	00:57:00	00:46:00	00:59:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:49:00	00:08:00	00:49:00	00:38:00	00:51:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	79 %	50 %	72 %	0 %	11 %
volum_på 60 minutter [m3]	97	439	149	449	378
volumandel i systemet etter 1 time	95 %	79 %	93 %	79 %	82 %
volum_til 2D Overland Flow [m3]	0	0	0	0	0

6.17. ULIK INFILTRASJON MED GRØNNE TILTAK (T=20ÅR)

Grafen viser hvordan endring i infiltrasjonsverdier påvirker responsen. Den høyeste infiltrasjonsverdien er 5 ganger høyere enn anbefalt. Den laveste verdien er innenfor anbefalte grenser og den mellomste er i overkant av anbefalt grense for K_{sat} verdier.



FIGUR 29 INFILTRASJON SOM GRØNT TILTAK

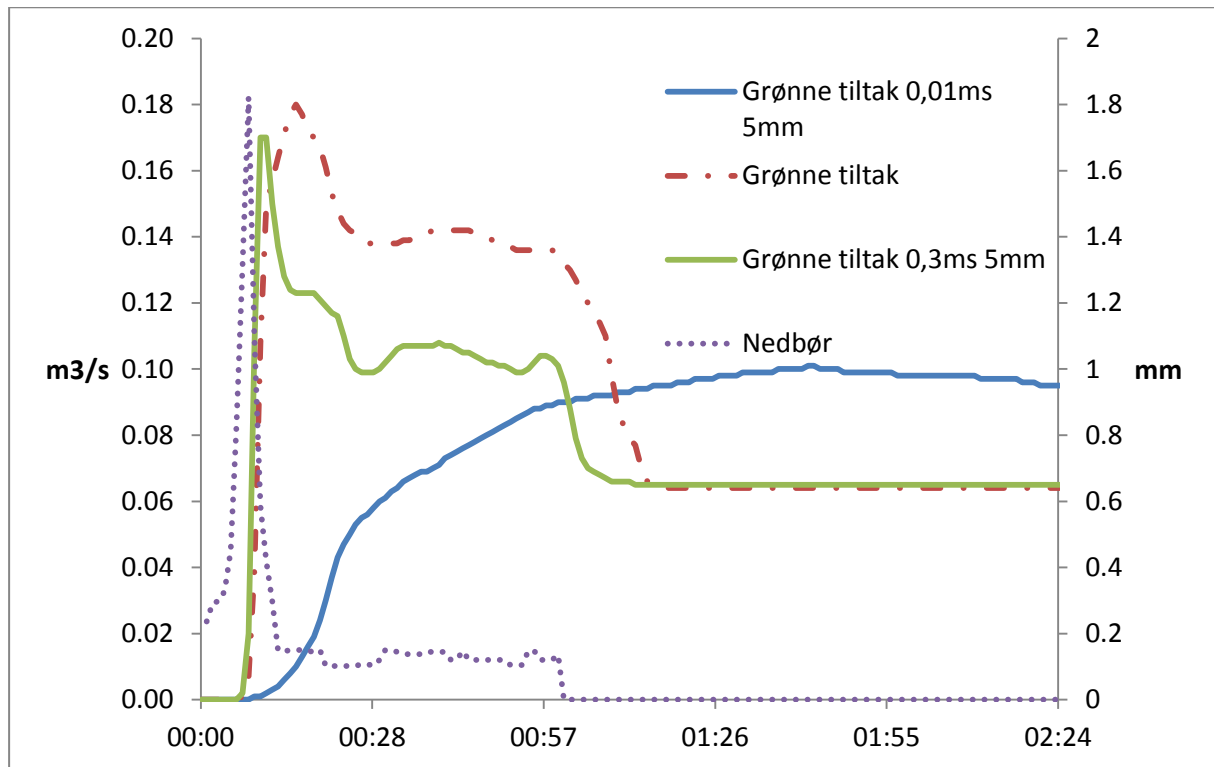
En høy infiltrasjonsevne gir lite bidrag til reduksjon i spissbelastningen. På en annen side så vil en rekke små nedbørshendelser håndteres bedre ved høy enn lav infiltrasjonskapasitet (K_{sat}) siden anlegget kan "gå fullt". Infiltrasjonskapasitet er beskrevet i drøftingen. Tabellverdien "volumandel i systemet etter 1 time" stemmer ikke for denne simuleringen siden vannmengden som "fjernes" fra modellen ikke kan tallfestes ved tidspunkt 1 time.

TABELL 20 NØKKELTALL VED INFILTRASJON

	Grønne tiltak	QH= - 0,0025	QH= -0,005
maks verdi [m3/s]	0,18	0,176	0,169
tid_flomtopp [min]	00:16:00	00:16:00	00:16:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:08:00	00:08:00	00:08:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	0 %	0,5 %	6 %
volum_på 60 minutter [m3]	439	422	389
volumandel i systemet etter 1 time	79 %	80 %	82 %
volum_til 2D Overland Flow [m3]	0	0	0

6.18. ULIK VANNHASTIGHET MED GRØNNE TILTAK (T=20ÅR)

Grafen viser hvor avhengig en er av hastigheten på overflaten når slik system skal simuleres. Utfordringen for MIKE URBAN er koblingen til MIKE SHE som har en avrenningsberegning for tilrenningstid. I min programutgave har jeg valgt disse verdiene, de er kontante og de har trolig ulik hastighet for hver kvadratmeter, jamfør Manningsformel der blant annet helning, våt omkrets og friksjon inngår.



FIGUR 30 ENDRET VANNHASTIGHET VED GRØNNE TILTAK OG 20 ÅRS NEDBØRSTILFELLE

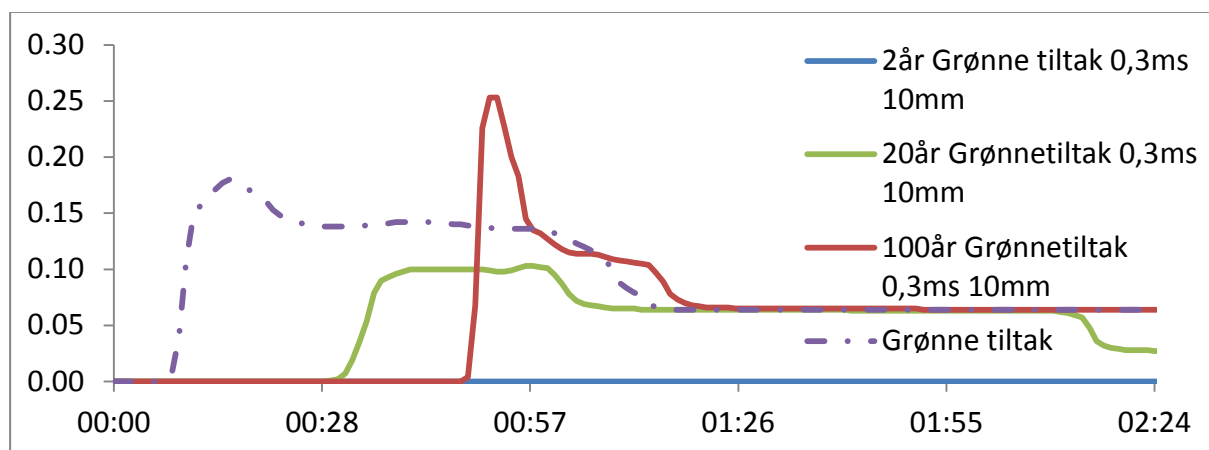
Grafen viser at hastighetsendringen fra 0,1m/s til 0,3m/s ikke gir utslag da andre faktorer er begrensende i dette oppsettet. Samtidig viser grafen av en hastighet på 0,01m/s kan gi en bred og lav vannføringstopp.

TABELL 21 NØKKELTALL VED ULIKE HASTIGHET VED GRØNNE TILTAK OG 20 ÅRS NEDBØRSTILFELLE

	Grønne tiltak	Grønne tiltak 0,01ms 5mm	Grønne tiltak 0,3ms 5mm
maks verdi [m3/s]	0,18	0,101	0,17
tid_flomtopp [min]	00:16:00	01:42:00	00:10:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:08:00	01:34:00	00:02:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	0 %	52 %	19 %
volum_på 60 minutter [m3]	439	169	342
volumandel i systemet etter 1 time	79 %	92 %	84 %
volum_til 2D Overland Flow [m3]	0	0	0

6.19. INITIAL LOSS FOR GRØNNE TILTAK MED ULIKE GJENTAKSINTERVALL

Grafen viser to ulike nedbørstilfeller, men med fellestrekk i tiltak, «initial loss» og lav vannhastighet. Håpet var å vise hvor sårbar et grønt system er når «initial loss» ikke klarer å redusere vannføringen ytterligere. Slik brå respons som grafen viser er nok ofte konsekvensen av oppsett/utbygninger som baseres på høye initielle tap.



FIGUR 31 ULIKE NEDBØRSTILFELLER MED GRØNNE TILTAK OG INITAL LOSS PÅ 10MM

Grafen viser at valgt nedbørsituasjon for 100års nedbørstilfelle gir en høy spissbelastning som skyldes at hele feltet bidrar når toppen kommer. Denne enorme økningen i vannføring bekrefter hvorfor langvarig regn gir store oversvømmelser i naturlige nedbørsfelt. Holtålen (stor del naturlig nedbørsfelt) som er nevnt i prosjektoppgaven (3) opplevde en 1000års nedbørshendelse som forårsaket flomskader uten sidestykke i tettstedets historie.

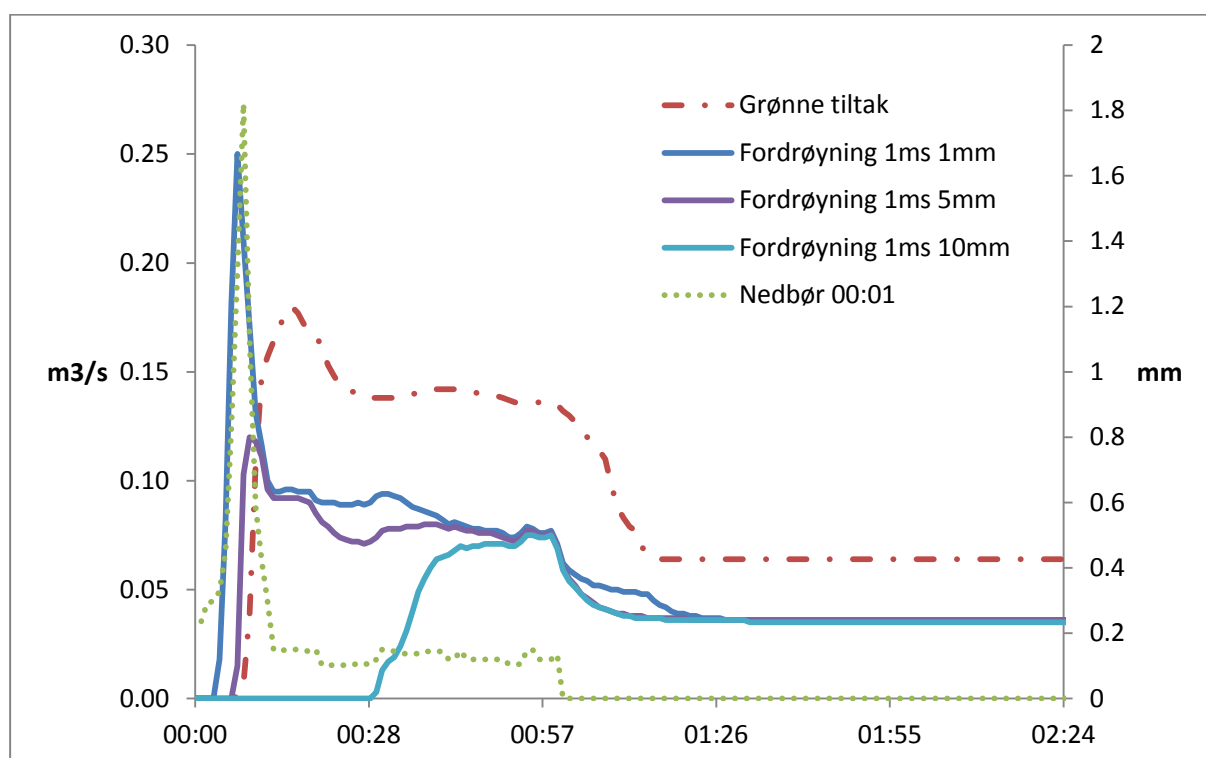
Ved å bygge slik at "initial loss"=10mm er det kun 100 års nedbørstilfelle som har en tydelig maksverdi i min simulering.

TABELL 22 NØKKELTALL VED 0,3M/S OG 10MM TAP.

	2år Grønne tiltak 0,3ms 10mm	20år Grønne tiltak 0,3ms 10mm	100år Grønne tiltak 0,3ms 10mm	Grønne tiltak
maks verdi [m ³ /s]	0	0,103	0,253	0,18
tid_flomtopp [min]	-	00:57:00	00:52:00	00:16:00
avvik fra nedbørstopp [min]		00:49:00	00:02:00	00:08:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	100 %	59 %	0 %	29 %
volum_på 60 minutter [m ³]		149	110	439
volumandel i systemet etter 1 time	100 %	93 %	96 %	79 %
volum_til 2D Overland Flow [m ³]	0	0	0	0

6.20. ULIKT INITIAL LOSS VED FORDRØYNING (T=20ÅR)

Grafen viser effekten av «initial loss» på fordrøyningsanlegg i et konvensjonelt system.



FIGUR 32 ULIKE INITIAL LOSS VED FORDRØYNING OG 20 ÅRS NEDBØRSTILFELLE

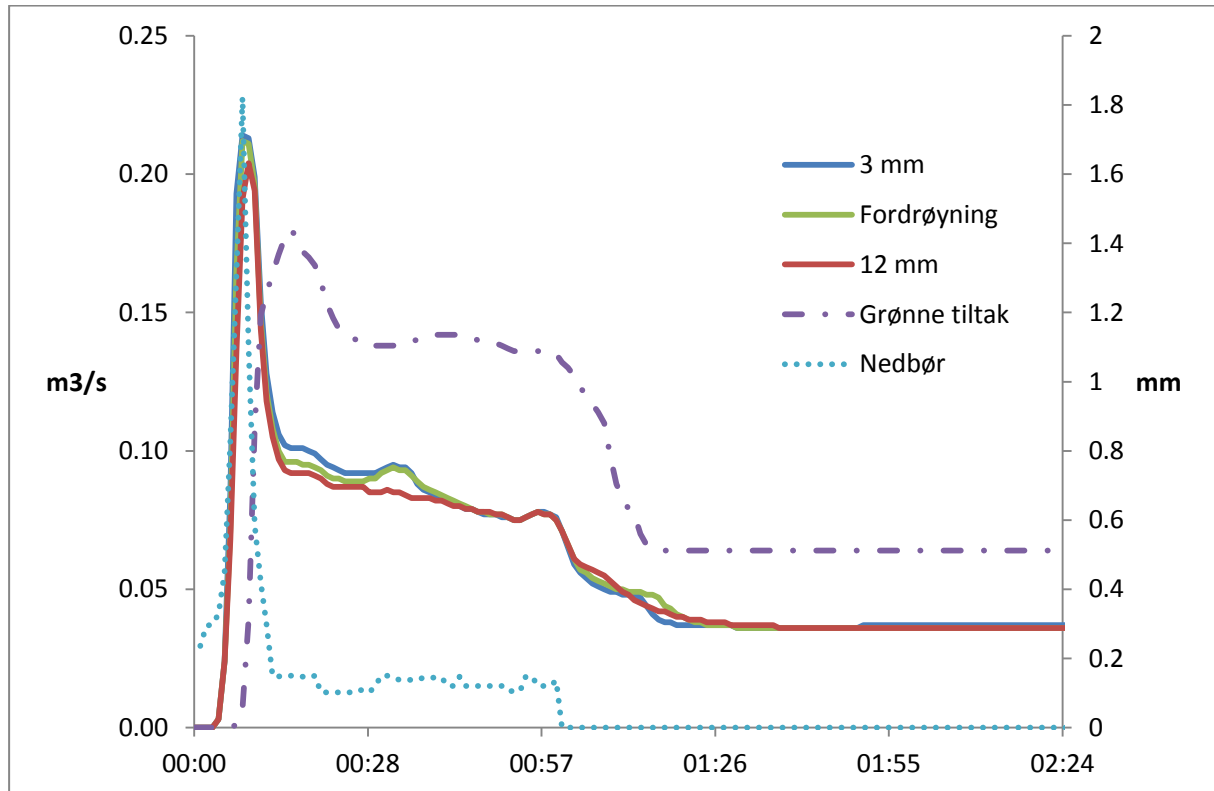
Videreført vannmengde ved 10 mm «initial loss» viser en optimal respons i systemet der vannføringen er forsinket og det finnes ikke tydelig flomtopp siden den høye vannføringen er fordelt i tid. Systemet er som nevnt i påfølgende kapittel trolig utilstrekkelig strupet og det gir disse høye spissbelastningene.

TABELL 23 NØKKELTALL FOR FORDRØYNING MED INITIAL LOSS VED 20 ÅRS NEDBØRSTILFELLE.

	Fordrøyning 1ms 1mm	Fordrøyning 1ms 5mm	Fordrøyning 1ms 10mm	Grønne tiltak
maks verdi [m ³ /s]	0,146	0,12	0,075	0,18
tid_flomtopp [min]	00:13:00	00:09:00	00:55:00	00:16:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:05:00	00:01:00	00:47:00	00:08:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	19 %	33 %	58 %	0 %
volum_på 60 minutter [m ³]	309	256	103	439
volumandel i systemet etter 1 time	85 %	88 %	95 %	79 %
volum_til 2D Overland Flow [m ³]	182	28	0	0

6.21. ULIK FORDRØYNINGSVOLUM (T=20ÅR)

Fordrøyning med 3mm, 6mm eller 12mm per m² tette flater med 20 års nedbørshendelse. Den er laget for å se om fordrøyningsvolumet kan optimaliseres på noe vis.



FIGUR 33 ULIKE FORDRØYNINGSKRAV

Grafen viser liten forskjell mellom de ulike fordrøyningsvolumene. Dette skyldes trolig at vannføringen ikke strupes nok til at hele fordrøyningsvolumet blir nyttet. Mindre diameter enn 150mm er ikke realistisk. Oppsettet for fordrøyning utnytter ikke fullt ut mulighetene da noen av fordrøyningsvolumene kommer i seriekobling og ikke er parallellkoblet. Dette er en planlagt «konstruksjonsfeil» for å ha så like oppsett som mulig.

Det er verdt å merke seg at grønne tiltak er parallellkoblet, slik at hvert "catchment" havner i hvert sitt fordrøyningsvolum. Volumet som sendes ut av noden til 2D Overland Flow er doblet fra 3mm (244m³) til 12mm (143m³). Samtidig er tilgjengelig volum i konstruksjonen økt 4x fra 493m³ (3mm) til 1927m³ (12mm).

TABELL 24 NØKKELTALL VED 3, 6 OG 12 MM FORDRØYNING

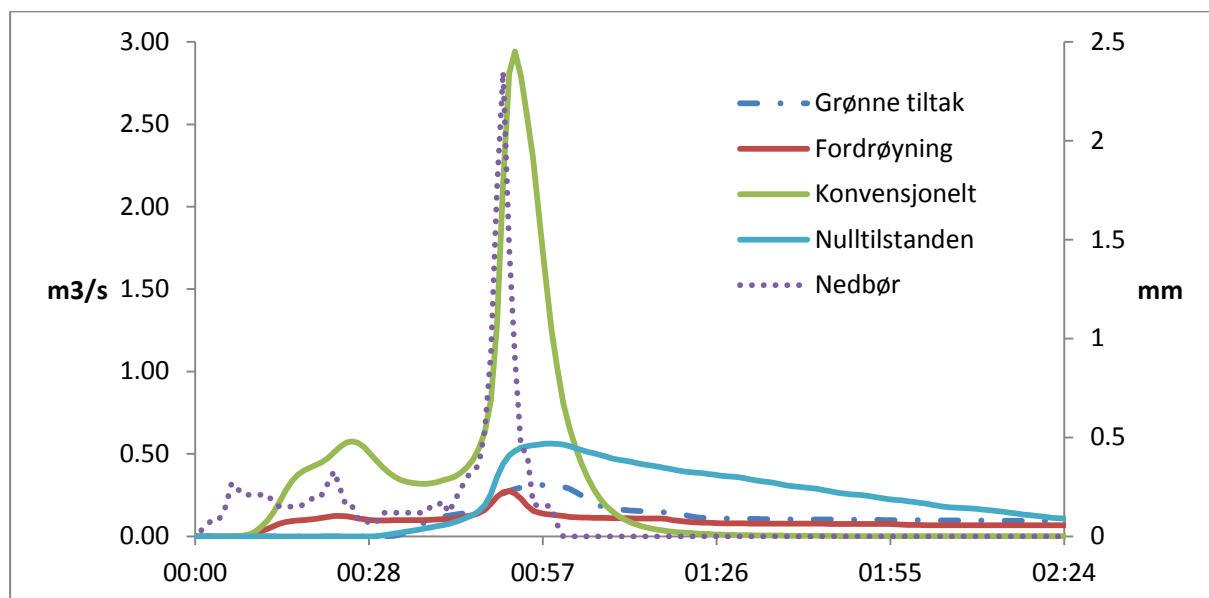
	Grønne tiltak	3 mm	Fordrøyning	12 mm
maks verdi [m ³ /s]	0,18	0,214	0,212	0,204
tid_flomtopp [min]	00:16:00	00:08:00	00:08:00	00:09:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:08:00	00:00:00	00:00:00	00:01:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	15 %	0 %	0,9 %	4,7 %
volum_på 60 minutter [m ³]	439	321	313	302
volumandel i systemet etter 1 time	79 %	85 %	85 %	86 %
volum_til 2D Overland Flow [m ³]	0	158	148	141

TABELL 25 INNGANGSVERDIER FOR ULIKE FORDRØYNINGSVOLUMER

Krav [mm]	3	6	12	Grønne tiltak
Ac [m ²]	20	40	80	5
As [m ²]	20	40	80	5
Volum basin [m ³]	450	900	1800	270
Volum node+basin [m ³]	580	1030	1930	270
Nedslagsfelt * krav [m ³]	493	986	1927	

6.22. ULIKE OPPSETT (T=100 ÅR)

Grafen viser systemenes respons på de høyeste nedbørsmengdene. Håndtering av flomveier er gjerne uavklart da anleggene er kostbare for kommunen å bygge, samtidig har ikke kommunen erstatningsansvar ved skade ved slike hendelser da enhver må dekke opp for sine egne tap. Med andre ord så koster det kommunen mer enn det smaker å ekspropriere areal til flomveier med mindre kommunen selv er skadelidende ved flom.



FIGUR 34 VANNFØRING 100ÅRSREGN

Nøkkeltall viser en flomreduksjon på 50% mellom nulltilstanden og grønne tiltak / fordrøyning. Men konvensjonell løsning vil gi 5x økning av vannføringen ved nulltilstanden. Alle løsningene gir overflatevann, men et område på 50x50m² vil få en vannstand på 15cm som kanskje er akseptabel risiko for sikring av 3.person. Vannføringen for grønne tiltak økte med 25% fra 20 års nedbørshendelse og har lik vannføring som fordrøyning. Det er lurt å merke seg hvor liten forsinkelse anleggene klarer å gi. Blant annet er nulltilstanden forsinket med 50 minutter ved 20 års nedbørshendelse redusert til 9 minutter.

TABELL 26 NØKKELTALL 100ÅRSREGN

	Null-tilstanden	Grønne tiltak	For-drøyning	Konvensjonell
maks verdi [m3/s]	0,56	0,21	0,245	2,942
tid_flomtopp [min]	00:59:00	00:55:00	00:52:00	00:53:00
avvik fra nedbørstopp [min]	00:09:00	00:05:00	00:02:00	00:03:00
prosentvis reduksjon, maks som referanse	81 %	93 %	92 %	0 %
volum_på 60 minutter [m3]	397	176	295	2240
volumandel i systemet etter 1 time	85 %	93 %	89 %	17 %
volum_til 2D Overland Flow [m3]	0	1737	307	136

7. DRØFTING

Troverdigheten til simuleringen blir vurdert og her ønsker jeg å løfte frem de forhold som jeg kjenner til som svekker og styrker simuleringen.

7.1. ER KALIBRERING OG VERIFISERING BENYTTET?

Modellen er ikke kalibrert eller verifisert slik Klemeš angir som minimum for en troverdig metode. Masteroppgaver utført ved NTNU IVM siden rundt 1960 har brukt en stor del av oppgavetiden på å innhente, kvalitetssikre og velge nedbørsdata. For å begrense oppgaven er dette arbeidet ikke utført. Målestasjonene ved Karihola, Sandsli og Risvolla har vært behandlet i en rekke oppgaver. De aller fleste oppgavene har vært begrenset til én målestasjon og mine undersøkelser avdekker spredning i kalibreringsverdiene slik at feltparametre for A trolig vil gi en lav korrelasjonsverdi (R^2) verdi på B. "Split sample" tester som er basis i Klemeš metode er sjelden benyttet. Noen oppgaver, blant annet masteroppgave til Dr.ing Bernt Viggo Matheussen på Risvolla, har benyttet "spilt sample" test og har oppnådd korrelasjon $R^2 = 0,5 \pm 0,1$ i verifiseringskjøringen. Utfordringen for disse er tilsvarende som vist for snøsmeltingen at topper blir mindre godt beskrevet enn tørrværsperioder. Så for mitt formål har jeg ikke funnet tilstrekkelige kalibrering / verifiseringsparametere som kunne benyttes i en topografisk- og en formelverktest.

7.2. DATATILNÆRMINGSFEIL

MIKE URBAN er et kommersielt program med stor supportavdeling og mange års drift. Dette er en fordel for troverdigheten til modellen (33). En av modulene i 2D Overland Flow "rain on dem" er blant annet blitt deaktivert etter brukermeldinger.

Europeisk forskningsforum innen strømming, turbulens og forbrenning har gitt liste (33) over de feil som finnes i numerisk strømningsmekanikk (CFD). Kommentar ved Nils Reidar Olsen (*) og mine (^);

- Modelleringsfeil på grunn av avvik fra teori til praksis.

^Særlig innen turbulensmodellering. Blant kriteriene (23) for evaluering av nedbør – avrenningsmodell nevnes spørsmål om transportmekanismene er korrekt beskrevet, er skalering / utvidelse håndtert riktig (1D / 2D / 3D eller tynt / tykt sjikt) og om modellen har minimalt avvik fra kalkulerede til målte data? Dette er mer diskutert under modellkonseptet.

- Numerisk feil

*Avvik på grunn av naturens uendelige utstrekning og datamaskinens "endelige" arbeidsmåte. ^Særlig valg av grid påvirker resultatet (34). I MIKE URBAN / 21 velges ikke grid, men oppløsningen på gridet. Jeg har valgt 2m² oppløsning, mens 10 m² oppløsning ikke endret avrenningen i MIKE 21 / 2D Overland Flow. I ".tin" fil foreligger høydedata som 3 dimensjonal linje, mens i ".dem" fil er høydedata kun én verdi (z=) for en celle (diskutert under innledning til kapittel 5). Dette betyr at overgang mellom to høyder blir som ett trappetrinn, i tillegg at vannet mister gradienten (terrengoverflaten)

som påvirker energilinjen. Denne effekten er lik ved 2m² som 10m², men gradienten får flere (5) småsteg for hver høydekote. Hvis jeg hadde kjørt simuleringen med ".tin" fil hadde resultatene blitt bedre med finere oppløsning.

- Mangel på konvergens.

*Datamaskinen behøver en begrensning i nøyaktighet og dette gir et avvik. ^I noen simuleringer er variasjonen mellom beregningssteg så stor at tidsskrittet (endte opp med 0,1s) må økes / større avvik for å nå konvergenzkriteriet. Jeg har ikke hatt mulighet for å endre konvergenzkriteriet. Jeg får ikke rapport om Courantnummeret under pågående simulering.

- Avrundingsfeil.

^Datamaskinens gjeldende siffer begrenser nøyaktigheten særlig ved addisjon / subtraksjon. Økning fra 32 bit til 64 bit minsker denne feilen. Jeg har benyttet 64 bit system.

- Grensebetingelser og inndata har avvik fra virkeligheten.

^En skapt feilkilde i MOUSE er når jeg velger vannivå (høyde) for overgang fra stillestående til rennende vann da bunnfriksjonen styres av Manningstall. Gode naturlige kritiske punkt er nyttig, for eksempel overløpsterskel. Kvalitet på inndata er sentralt. Jeg har ikke lagt inn noen overløpsterskler, MIKE URBAN gir ikke mulighet for dette. I behandlingen av terrenget i prosjektoppgaven har jeg lagt inn kulper for å holde vannet igjen i bekkeløpet. Jeg har benyttet programmets forslag for Manningstall $\left(M = 32 \frac{m^{\frac{1}{3}}}{s}\right)$ som tilsvarer en grunn kanal med grus i bunn. Overgang fra stille til rennende vann ved dybde (d=0,003m).

- Brukerfeil.

*Programvare er designet for flere formål og over lang tid, med ulik forståelse mellom designer og bruker. De største feilene finnes trolig på dette punktet.

^DHI har en rekke brukere utenfor organisasjonen, samtidig utføres mye av konsulentarbeidet av DHI selv. Kalibrering og befaring i modellen gir gode forutsetninger for kvalitetssjekk. Min modell kan ikke befares (annet enn nulltilstanden) da løsningene kun eksisterer på papiret. Inngangsverdier i "Storage curve", stedlig plassering av "noder" og "basin", "initial loss" og valg av ledningsmateriale har kanskje gale verdier. Det kan være valg i modellen, bruk av ".dfs0" og ".dfs2" fil som er ugunstig. En erfaren MIKE URBAN bruker ville hatt mer tyngde og kunnskap bak disse valgene. I diskusjon med MIKE URBAN brukere på "Urban Flooding" konferanse i Malmö og i diskusjon med DHI (avdeling i Trondheim) har det kommet frem at MIKE URBAN ikke er benyttet til slike vurderinger som masteroppgaven har gjort. DHI Support har laget demonstrasjoner for kundene, men jeg har ikke funnet dokumentasjon på at simuleringene har blitt verifisert gjennom fysiske målinger. Siden all informasjon om nedslagsfeltet er lagret under "catchment properties" (der de benyttes for å lage utløpshydrogrammer) kobles de ikke til overflaten i terrengfilen med de unøyaktighetene som dette medfører.

For ordens skyld, så ville en modellering av lokal overvannshåndtering kreve en annen type modelloppsett, blant annet grunnvannsmodellering. Det brukte oppsettet beregner en ren overflateavrenning for overskytende vann, bare basert på gradient og overflatens ruhet. Generering av avrenning som inkluderer fordampning, infiltrasjon og magasinering er foretatt i en annen, hydrologisk modul.

Med vennlig hilsen, Axel König i DHI AS, 16.april 2012

- Kodefeil.

*Opptrer feil i omtrent 1% av kodelinjene i ett program. ^Feil trenger ikke å påvirke resultatet, mange kodelinjer brukes bare i noen sekvenser. Koden knyttet til ".dem" filer er skrevet bort da denne trolig ga feilmeldinger eller gale resultater.

7.3.USIKKERHETSVURDERING

Burde modellen vært en behandlingstog /sekvensiell i stedet for en arealbasert modell? Jeg tror dette ville vært konseptuelt bedre da man har bedre kontroll på inngangsverdier og flere mekanismer blir beskrevet. I SWMM 5 ligger det et bibliotek for "Low impact development" som inneholder mange grønne tiltak. Modellen bygges med noder og pipes, men så kobler man grønne tiltak til hver struktur. En naturlig flomavledning oppnås bedre i arealbaserte modeller som håndterer terrenginformasjon. Men som nevnt tidligere med dataformatet og trappetrinnseffekten så er dette en betydelig feilkilde i vurdering av flombevegelsen i min modell. Kommunalteknikk ønsket en modell som var tydelig knyttet til Brøset. I tillegg sier VA- Normen (7) at "for urbane områder kan benyttes avløpsmodeller som MOUSE eller tilsvarende". I utviklingen av krav og dimensjonering for grønne tiltak er det nyttig å benytte behandlingstog / sekvensiell modeller for å finne optimale forholdstall.

Ved å sette "QH relation" til $Q = 0,001 \frac{m^3}{s} = 1 \frac{l}{s}$ ville det tilsvart $K_{sat} = 14 \frac{cm}{h}$ i hvert "basin" (25m²) og dreneringstid 8 timer (standard regnbed; jorddybde=75cm, uten drensledning). Funksjonen til regnbed i kaldt klima er fremdeles heftet med usikkerhet.

TABELL 27 GRENSEVERDI DER MINDRE ENN NEDRE VERDI BEHØVER DRENSLEDNING OG OVER ØVRE VERDI IKKE BØR HA DRENSLEDNING. VERIDER FOR INFILTRASJONSRATE I REGNBED

Kilde	Nedre verdi	Øvre verdi
Virginia Storm Tech Manual (35)	$K_{sat} = 1,5 \frac{cm}{h}$	$K_{sat} = 21 \frac{cm}{h}$
Low Impact Development Center (36)	$K_{sat} = 12,5 \frac{cm}{h}$	$K_{sat} = 25 \frac{cm}{h}$
Pennsylvania Stormwater Manual (37)	$K_{sat} = 0,25 \frac{cm}{h}$	$K_{sat} = 25 \frac{cm}{h}$
New York Stormwater Manual (38)	$K_{sat} = 1,5 \frac{cm}{h}$	
Benyttet i modellen	$K_{sat} = 14 \frac{cm}{h}$	$K_{sat} = 70 \frac{cm}{h}$

K_{sat} er mettet vannledningsevne drevet av gradient, ofte gravitasjonen, i tråd med Darcy og Bazins infiltrasjonsforsøk på 1850 tallet. Det betyr at matrikspotensialet ikke inngår selv om denne verdien er stor bidragsyter i "initial loss".

7.4.HVOR STORE TILTAK BØR MAN KREVE?

Tilrenningstid er beregnet (L=950m, H=43) til 12 minutter etter vegvesenets H018 (18), som tilsvarer tilrenningstiden benyttet i konvensjonelt oppsett med ledninger, sandfang og kummer. Jeg opplever dette som en bekreftelse på at tilrenningshastigheten er i nærheten av riktig verdi. Ved å øke tilrenningstiden til 20 minutter reduseres spissbelastningen for dimensjonerende situasjon (20 års nedbørstilfelle). For å lykkes med dette må vannet passere flere barrierer som grønne tak, regnbed, fordrøyningsmagasin og avrenning på overflaten hvis det er mulig.

Kommunens VA-Norm sier

Når ledningssystemet blir overbelastet eller inntakene tette, skal det finnes et avrenningssystem på overflaten der overvannet kan renne bort uten å gjøre større skader. Veger, gater, grøntområder og lignende kan inngå som del av flomvegen. Flomvegen bør ha kapasitet minst lik 100-års flom. (7)

Hvor mye "initial loss" kan en forutsette?

- Trær – dette ønskes avklart av blant annet Örjan Stål i VIOS AB som har meldt dette som et masteroppgaveforslag. Trolig 10mm nedbør kan forsinkes i trekronen når tettheten og bladstørrelsen er stor. Grønn overflatefaktor gir 0,3 – 0,7 i økologisk effektivt areal (3).
- Grønne tak holder igjen 5-10mm (39) for ekstensive tak og mer for intensive tak.
- Regnbed både fuktes, infiltrerer og har et volum slik at "initial loss" er nok vesentlig høyere enn 10mm.
- Permeable/ porøse flater/ grøfter/ forsengkninger har noe infiltrasjon, men noen av disse har opplevd gjentetting av spalter/bunnen slik at infiltrasjonen skjer nedstrøms/opp langs grøftesidene.

Hvor store volumer / arealer kan en bruke til overvannshåndtering?

- mm – dette kravet benytter kommunen; 6mm eventuelt 12mm fordrøyes (7). Simulering tilsier at det er viktigere at vannføringen strupes enn om totalvolumet er 270, 580, 1030 eller 1930 m³. I simuleringen er nok ikke strupingen tilstrekkelig, likevel er vannføringen redusert med ca 90 %.
- l/s ha – dette kravet har andre kommuner valgt i stedet for mm. Jeg foretrekker mm – kravet da jeg opplever det som mer intuitivt logisk.
- areal av tomt – mer intuitiv enn de andre og krever forhåndsgodkjente løsninger. Regnbedarealet kan gjerne settes til 5 % av bidragende areal

Kostnadsaspektet har gitt kravene til gjentaksintervall. Da foretar man en økonomisk optimalisering av samfunnsutgiftene; investering og vedlikehold (40). I Trondheim er det gunstig at det ikke er skade ved 100års flommen (7). Alternativkostnaden ved store overvannsløsninger er betydelig i et område som Trondheim med stort press på arealer og mange kjøpere. Denne arealbruken kan ha gitt utslag i mindre overvannsareal fra "det åpne parallelle oppdraget" frem til dagens forslag til reguleringsplan.

Se for øvrig Torstein Dalens masteroppgave for ulike aktuelle dimensjoneringskriterier for regnbed (41), blant annet fra Danmark, England, USA og Kanada.

7.5. IVF KURVE FOR VINTER OG SOMMER?

IVF kurvene for Voll tar ikke hensyn til årstiden. Erfaringen fra Trondheim kommune er likevel at nedbørens intensitet er ulik på vinter og sommer. Burde også IVF kurvene avspeile forandringen slik at dimensjoneringen blir gjort på bedre grunnlag? IVF kurven for vinter er trolig lavere enn for sommer da nedbør om sommeren kan være svært intens og kortvarig.

Det er ønskelig å se forskjellene på IVF kurver med følgende datafilter;

- sommerregn (mai til september)
- vinterregn (oktober til april)
- fravær av regn minst 12 timer før regnhendelse
- våt mark før regnhendelse

Meteorologisk institutt kan kanskje levere IVF kurver med snøbrettobservasjoner som grunnlag for vinterperioden.

Dette er resultatene fra simulering med rasjonell formel der vannføring i nedstrøms node er benyttet. Konsentrasjonstid er antatt å være fra nedbørstopp til flomtopp når nedstrøms node.

Differansen fra den rasjonelle formel til modelloppsettet viser at på moderat store områder (33ha) med faktisk regn er antagelsene grove i den rasjonelle formel. Fordrøyning tas ikke hensyn til i rasjonell formel.

TABELL 28 AVRENNINGSKOEFFISIENTER MED ALLE FOR DE ULIKE OPPSETTENE.

Oppsett	Gjentaksintervall, [år]	Tilrenningstid, [min]	Avrenningskoeffisient
fodrøyning_0,3m/s_1mm	2	1	0,05
grønne tiltak_0,1m/s_5mm	2	20	0,14
grønne tiltak_0,3m/s_10mm	2		0
konvensjonell_0,3m/s_1mm	2	5	0,73
naturlilstanden_0,1m/s_5mm	2	49	0,30
fodrøyning_0,1m/s_10mm	20	47	0,10
fodrøyning_0,1m/s_1mm	20	10	0,07
fodrøyning_0,1m/s_5mm	20	3	0,03
fodrøyning_0,3m/s_10mm	20	49	0,10
fodrøyning_0,3m/s_1mm	20	1	0,04
fodrøyning_0,3m/s_5mm	20	3	0,03
fodrøyning_0,3m/s_1mm_12mm	20	1	0,04
fodrøyning_0,3m/s_1mm_3mm	20	1	0,04
fodrøyning_1m/s_10mm	20	47	0,10
fodrøyning_1m/s_1mm	20	5	0,05

fordrøyning_1m/s_5mm	20	1	0,03
grønne tiltak_0,01m/s_5mm	20	106	0,25
grønne tiltak_0,1m/s_10mm	20	49	0,15
grønne tiltak_0,1m/s_1mm	20	5	0,06
grønne tiltak_0,1m/s_5mm	20	8	0,09
grønne tiltak_0,1m/s_5mm_QH 0,0025	20	8	0,09
grønne tiltak_0,1m/s_5mm_QH 0,005	20	8	0,09
grønne tiltak_0,3m/s_10mm	20	49	0,14
grønne tiltak_0,3m/s_1mm	20	1	0,05
grønne tiltak_0,3m/s_5mm	20	2	0,04
konvensjonell_0,1m/s_10mm	20	49	0,47
konvensjonell_0,1m/s_1mm	20	8	0,61
konvensjonell_0,1m/s_5mm	20	14	0,39
konvensjonell_0,3m/s_10mm	20	48	0,5
konvensjonell_0,3m/s_1mm	20	3	0,61
konvensjonell_0,3m/s_5mm	20	4	0,28
naturtilstanden_0,1m/s_1mm	20	51	0,54
naturtilstanden_0,1m/s_5mm	20	51	0,42
naturtilstanden_0,3m/s_1mm	20	10	0,44
naturtilstanden_0,3m/s_5mm	20	13	0,27
naturtilstanden_0,1m/s_10mm	20	82	0,33
naturtilstanden_0,3m/s_10mm	20	51	0,51
fordrøyning_0,3m/s_1mm	100	2	0,05
grønne tiltak_0,1m/s_5mm	100	5	0,04
grønne tiltak_0,3m/s_10mm	100	2	0,05
konvensjonell_0,3m/s_1mm	100	3	0,59
naturtilstanden_0,1m/s_5mm	100	9	0,22

7.6. ER MODELLKONSEPTET GODT NOK?

Vurderingen for en konseptuell modell er om den i tilstrekkelig grad beskriver virkeligheten. Infiltrasjon er ikke mulig uten MIKE SHE når MIKE URBAN benytter MOUSE algoritmer, jamfør kommentar fra Axel König ved DHI. Men ved å legge inn et "QH-relation" vil en forhåndsbestemt vannmengde "fjernes" fra modellen som tap, tilsvarende effekt som infiltrasjon kan gi for et lite område.

Bioforsk forskningsinstitutt har gjennom ExFLOOD satt opp en liste med tiltak for overvannshåndtering. Utdrag av en slik liste er gjengitt her og lagt til en kolonne med hvordan inngangsverdier kan gis til MIKE URBAN.

TABELL 29 DELER AV EXFLOODS LISTE OVER MULIGE SKADEREDUSERENDE TILTAK.

Navn på tiltak	Underkategori	Prosess	Modellering
Grønne tak	Ekstensive	Infiltrasjon, Fordampning	Initial loss
Grønne tak	Intensive	Infiltrasjon, Fordampning	Initial loss
Grønne vegger	Klatreplanter	Fordampning	Initial loss
Tak basseng		Fordrøyning	Storage curve
Regnhøsting	Takvann/regnvannstønner	Fordrøyning	Storage curve
Infiltrasjonsbassenger	Regnbed	Fordrøyning, Infiltrasjon, Fordampning	QH relation
Terskler med strupet utløp		Fordrøyning	Storage curve
Dam	Sedimentasjonsdammer	Fordrøyning	Storage curve
Beholde infiltrerbare flater	Spare naturlige areal	Fordrøyning, Forsinke, Infiltrasjon, Fordampning	QH relation, 2D Overland Flow
Infiltrasjonsflater	Gruset plass	Infiltrasjon	Initial loss
Infiltrasjonsflater	Porøs asfalt	Infiltrasjon	Initial loss
Underjordisk vannlagring	Steinkiste / faksine	Fordrøyning	Storage curve
Oversvømmnings areal	Parker	Fordrøyning, Infiltrasjon	Storage curve
Wadi (vannveg som normalt er tørr)	Åpne grøfter	Fordrøyning, Infiltrasjon, Forsinke	2D Overland Flow
Flomveg	Tørrbekk, stor wadi	Fordrøyning	2D Overland Flow
Gatelagring	Blende eller redusere nedløp	Fordrøyning	2D Overland Flow
Smalere bilveg	Sykkel-/gangveg	Infiltrasjon, Fordrøyning	2D Overland Flow
Redusert bruk av kantstein	Sikringssone mellom harde og myke trafikkanter	Fordrøyning, Infiltrasjon	2D Overland Flow
Stikkrenner med begrenset vannføringsevne		Fordrøyning	Storage curve
Permeable terskler	Tre, jord, steindammer	Fordrøyning	Storage curve
Økt rørkapasitet	Økt rørdimensjon	-	MOUSE
Økt rørkapasitet	Separere	-	MOUSE

Regnbed, faksiner (fordrøyningskasser ala Q-bic fra Wavin, STORMBOX fra PIPELIFE, kassetsystem fra Uponor) kan modelleres med å legge inn et "Storage curve" som beskriver bredde/lengde mot dybde / høyde av noden.

7.7. ER SLIK SIMULERING ET VERKTØY FOR FRAMTIDENS BYER?

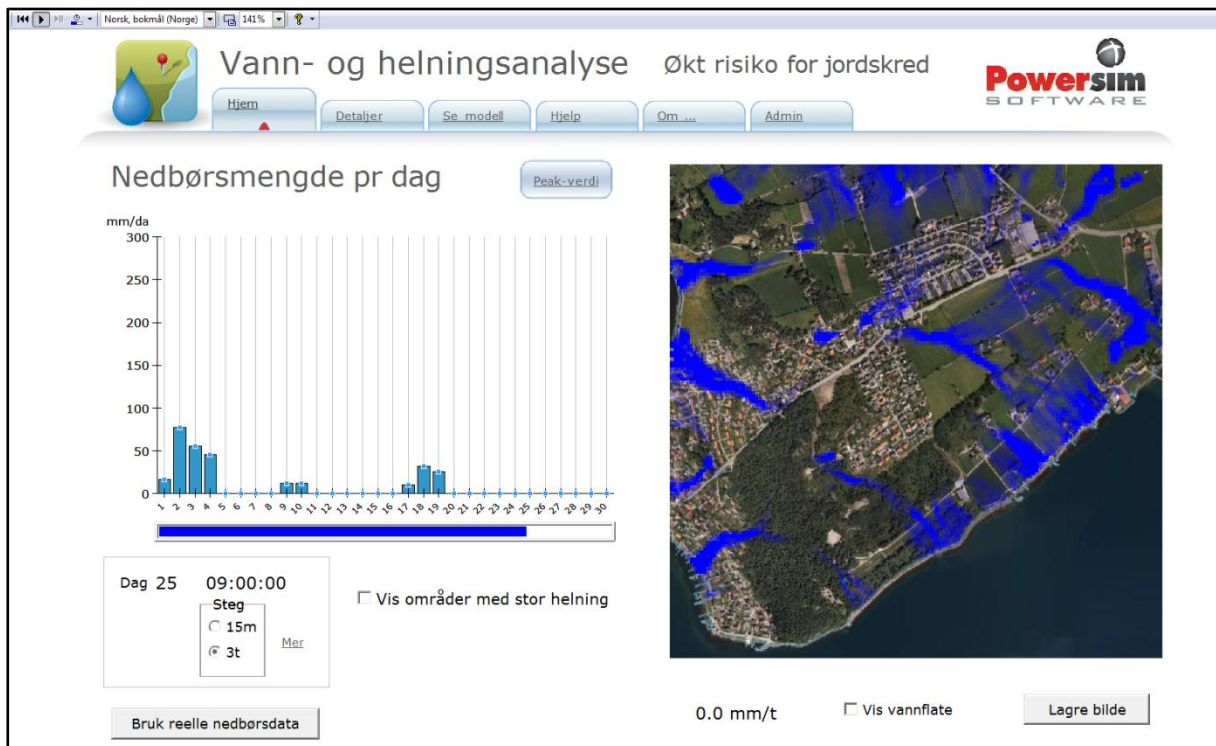
"Programmet Framtidens byer skal hjelpe bykommunene med å dele sine gode ideer til klimavennlig byutvikling med hverandre." (2) Oppgaven inneholder oversikt over gode idéer og en metode for å visualisere og kvantifisere en del av disse idéene. Tekst og bilder er forsøkt fremlagt med stor vekt på lesbarhet. De kapitlene med tekniske beskrivelser er forsøkt visualisert med figurer og presise ord. Men unntak av planprogrammet for Brøset, oppsettet på Brøset i MIKE URBAN og nedbørsformen burde oppgaven være like gyldig for alle de 13 byene som er med i prosjektet. Sluttproduktet skal være et sett med verktøy som tettsteder og byer kan bruke for å skape mer klimavennlig utvikling og dette kan simulering i MIKE URBAN bidra med.

Simulering i MIKE URBAN krever trolig noe overvannskompetanse i kombinasjon med noe numerisk hydraulikkompetanse. Det å bruke programpakken MIKE URBAN til overvannsberegninger krever trolig minst 1 uke med kurs, eksempler, tilbakemelding og prøving / feiling. Bearbeiding av terreng i AutoCAD Civil 3D og Novapoint veg – utvidet modul krever nok enda mer tid for å mestre. Detaljnivået i MIKE URBAN er ikke stort når MIKE SHE ikke er benyttet. Det er derfor mulig å få gode data med en planskisse, der detaljer faller på plass mye senere i prosjekteringen. Nøyaktigheten til modellen er uavklart inntil den kan verifiseres mot en dataserie. Jeg opplever likevel at verdiene er godt innenfor beregningene som gjøres med rasjonell metode, tilrenningstid fra H018 og erfaringstall fra Risvollanfeltet og Sandslifeltet.

Fordi datamaskiner benyttes til å lage en konseptuell modell er selve jobben mindre arbeidskrevende enn tidligere arbeider på papir. Presisjonen i simulering er trolig lav ved snøsmelting og hvis det er etablerte vannspeil i modellen med frispelsoverløp. Simulering kan kalibreres med stor nøyaktighet (unntatt nevnte forhold) hvis det foreligger en representativ måleserie. Masteroppgaven til Petter Reinemo (2012) ved NTNU IVM viser hvordan MIKE URBAN kan benyttes til sanntidssimulering. Dette gjøres ved hjelp av radarbilder som gir nedbørsdata i MIKE URBAN med ca 15 minutters oppløsning og opptil flere timer før nedbørshendelsen treffer nedslagsfeltet.

7.8. HVA MED KLIMAGIS?

Et annet verktøy som byene Sandnes og Stavanger har jobbet med kalles KlimaGIS og er produsert av Norkart Geoservice (GISLINE) og Powersim Software (Numerisk modell – Vann- og helningsanalyse). KlimaGIS henter terrenget fra GISLINE som ".SOSI"-fil og visualiserer dette med ortofoto lagt inn som raster i GISLINE. I GISLINE velger man utsnittet som skal beregnes og velger da "Vannansamling" for overvannsmodule, alternativt velges "Gassutslipp" eller "Havnivå".



FIGUR 35 SKJERMBILDE FRA KLIMAGIS

Programmet KlimaGIS vises da med flere ark og det første arket kan en velge nedbørsform. Ved å trykke "play" starter tidsserien der nedbøren påføres utsnittet slik det er angitt i stolpediagrammet. Feltet responderer på nedbøren og blåfargen angir et fuktighetsnivå i hver celle. Det kan velges tidsoppløsning og terrengoppløsning.

Det unike med utviklingen KlimaGIS er at verktøyet bruker såkalt dynamisk simulering. Det gir gode muligheter til å simulere fram i tid.

- GIS-verktøy kunne tidligere eksempelvis beregne hvor store reelle nedbørsmengder man har hatt i etterkant av ekstremvær. Nå kan vi simulere skadevirkninger i et område fram i tid ved valgte nedbørsmengder, minutt for minutt. Det blir som å se inn i glasskula, sier beredskapssjef Torstein Nielsen til Teknisk Ukeblad.

Et eksempel er modellen for vannansamling eller flomveier, som kjenner til hvilken vei vann renner i et område og hvor det samler seg. Deretter hentes det inn data til modellen om regn i en periode. Når simuleringen kjøres, vil den vise hvordan vannet beveger seg i terrenget, i hvilken grad det dreneres eller om det

blir ansamlinger for det utvalgte kartområdet. Slike simuleringer kan da kjøre scenario med ekstremvær for å få analysert i hvilken grad området er sårbart. (42)

Som en del av min masteroppgave har jeg benyttet KlimaGIS på Brøset og finner en del utfordringer som jeg har diskutert med Steinar Moen i Powersim. Behandling av vannlinje (for eksempel Bernoulli, St. Venand eller Navier Stokes), ruhet/friksjon (for eksempel Manning, turbulens eller absolutt ruhet (k)) og grensebetingelser (for eksempel energilinje=helning, Froudetall; $F=1$, hastighet eller vannføring) har blitt løftet frem og svar er gjengitt i følgende avsnitt:

[...] En kombinasjon av helning i det aktuelle punktet og høydeforskjell til omliggende områder ble så brukt til å lage en referanseverdi for mengde vann som forflytter seg til hvert av de omliggende områdene. [...] Ved kjøring av modellen så vi at sistnevnte informasjon ofte manglet i kartgrunlaget. Derfor ble denne verdien [...] satt til å være konstant, altså at vannet forskyver seg like raskt i myr som på glatt fjell. Det er selvfølgelig ikke riktig, men ved å kjøre modellen med forskjellige typer nedbørsprofiler og peak-verdier så vi at selv om tidspunktet ble forskjøvet grunnet denne feilen, så ble ikke den maksimale mengden vann i hvert rutepunkt lenger fra en akseptabel verdi enn den antatte usikkerheten og feilen i antatt nedbørsmengde og profil. [...] I tillegg til at vannet forflyttes mellom rutene, vil også noe av vannet gå ut av modellen, f eks til grunnvann.

Verken blokkade (demning) eller overmetning vil danne en vannlinje, men overmetning vil justere høydeforskjell mellom rutene, som vil balansere fordelingen av vann på flatt område. Dette vil ligne en vannlinje hvis det er høy gjennomflyt av vann. Det å danne en vannlinje samt behandle overvann ønsker vi å implementere som en utvidelse av modellen.

Vennlig hilsen Steinar Moen.

MIKE URBAN har vannlinjeberegning, mulighet for å legge inn ruhet (Manningstall) som raster (".dfs2"-fil) og programmet produserer rapporter der en kan delvis kontrollere modellen med håndberegning. Fagfeltet for "å danne en vannlinje samt behandle overvann" er i numerisk hydraulikk ofte referert til som "Shallow water equations". Det er fleksibiliteten på denne implementasjonen som jeg har forsøkt å utfordre i MIKE URBAN med min masteroppgave. Jeg håper at beredskapssjef Torstein Nielsen ser i glasskula med bakgrunn i "engineering confidence".

8. KONKLUSJON

Problemstilling: Vurdere kvantitativ effekt av ulike overvannstiltak for utbyggingen på Brøset.

Jordbruksområdet Brøset har i dag en forventet vannføring på 300l/s ved 20 års nedbørshendelse. Fordrøyningen er betydelig og forsinkelsen fra 8 minutter (nedbørstopp) til 59 minutter flomtopp er enorm.

Konvensjonell utbygging av Brøset vil gi videreført vannmengde er omtrent 2500 l/s og en neglisjerbar forsinkelse på 3 minutter fra 8 minutter (nedbørstopp) til 11 minutter flomtopp. Alle tiltak for å fordrøye gir effekt slik at videreført vannmengde er omtrent 200 l/s. Forsinkelsen i flomtopper varierer, men det forekommer ikke noen tydelig spissbelastning på systemet.

Tiltak med stor effekt er

- fordrøyningsmagasiner – videreført vannmengde blir omtrent 200 l/s
- "initial loss" - mindre regnhendelser gir ikke videreført vannføring og de store og intense regnbygene kan få videreført vannmengde på 100l/s. I tillegg blir vannbalansen mer naturlig.
- lav vannhastighet – det er nyttig inntil hele feltet bidrar. Utfordringen er å finne hva som er verst av rask avrenning eller stort bidragende areal. Når hele feltet bidrar økes videreført vannmengde fra 300 l/s til 600 l/s ved 20 kontra 100 års nedbørstilfelle, jamfør naturtilstanden.

Tiltak med mindre effekt er

- stor størrelse på fordrøyningsmagasin gir lite reduksjon i videreført vannmengde (3mm – 230 l/s, 6mm - 220 l/s og 12mm – 216 l/s) i modellen fordi dette trolig ikke er begrensende faktor. Her må det tas forbehold om at fordrøyningsmagasinene ikke er parallellkoblet og systemet trolig ikke strupes nok.
- høy infiltrasjonskapasitet gir liten reduksjon i videreført vannmengde sammenlignet med de andre tiltakene.

MIKE URBAN er på mange måter godt egnet for å simulere urbanisering. Min modell er ikke kalibrert/verifisert og den konseptuelle modellen ville blitt sterkere med MIKE SHE i tillegg. Nedbørshendelsene er trolig dimensjonerende for feltet, men intensitetene for sommer og vinter er ikke avklart.

9. VIDERE ARBEIDER

Kan vi sikre en bærekraftig utvikling hvis vi simulerer, kalibrer og validerer før utbyggingen starter? Masteroppgaver ved NTNU IVM tyder på at en slik form for kvantifisering er mulig og har vært under utvikling siden etableringen av målestasjoner som Sandsli, Karihola, Sagelva og Risvollan. Modellene har svakheter og særlig tilgang på måledata med høy oppløsning og kvalitet er kritisk. Simulering av snøsmelting er ikke troverdig på spissbelastning. Likevel indikerer modellene at grønne tiltak er robuste og gir en mer naturlig vannbalanse.

Problemet med å dimensjonere etter amerikansk standard eventuelt dansk standard er utfordringen med overføring til norske forhold. En nasjonalt utvalg er egnet for å løfte problemet opp og sette noen krav. Kravene må trolig revideres etter hvert som kunnskapen foreligger. Trondheim kommune ønsker ikke å sette krav uten noen nasjonal forankring.

Hvis de grønne tiltakene (som grønne tak) ikke bidrar i flomreduksjon (ved gjentakintervall på 20 år ifølge VA-Norm) er de da nyttige for VA sektoren? Og bør utbyggere få mindre fordrøyningskrav siden de tilbyr å bygge grønne tak?

Under «Urban Flooding» konferanse i Malmö ble det forelest om utfordringer om vinteren av Markus Antener (Zurich) og Tom Lipton (Portland). Hvis det er slik at tiltak med «vann i dagen» fryser til og mister sin funksjon om vinteren slik det er i Zurich og Portland så blir dette en kostbar utbygging på grunn av behov for dobbelt system. Hvilke løsninger klarer helårsdrift og har en flomdempende effekt? Ønsker innbyggerne stående vann i dagen, eller er blå-grønne løsninger ikke ønsket av befolkningen?

Modellen for Brøset bør kalibreres og verifiseres. Etablering av vannføringsmåler på egnet sted gir den beste muligheten for justering av parametre i modellen. Ved bruk av "proxy basin, differential split sample test" kan kalibreringsverdier gjøres tilgjengelig for lignende utbygginger innenfor "Framtidens byer".

Er dette fremtiden? Jo, hvis rådgivere bruker mer av sin tid på kompetanseheving, utbyggere og entreprenører får strengere krav til vannbalanse på tomten og beskrivelse/utførelse kan få en standard slik at arbeidsoppgaver og kvalitet er tydeligere definert.

10. LITTERATURLISTE

1. **Refsgaard, Jens Christian og Henriksen, Hans Jørgen.** Modelling guidelines - terminology and guiding principles. *Advances on Water Resources*. 2004, Vol. 71-82, 27.
2. **Framtidens byer.** Om Framtidens byer. *Framtiden byer*. [Online] Miljøverndepartementet, januar 01, 2012. [Cited: mai 16, 2012.] <http://www.regjeringen.no/nb/sub/framtidensbyer/om-framtidensbyer.html?id=548028>.
3. **Huurnink, Jon Egenberg.** *Kvantifisering av overvannsmengder, CASE: Brøset*. Trondheim : NTNU, 2011.
4. **Vannportalen.** Regelverk. *Vannforskriften*. [Online] Miljøverndepartementet, 05 25, 2011. [Cited: 04 05, 2012.] <http://www.vannportalen.no/hovedEnkel.aspx?m=31941>.
5. **Matheussen, Bernt Viggo.** *Effects of anthropogenic activities on snow distribution, and melt in an urban environment*. Trondheim : NTNU, 2004. 82-471-6346-2.
6. **Fiskaa, Helge and Skjeggedal, Terje.** *Planelgging og bærekraftig utvikling*. Trondheim : Tapir Akademisk Forlag, 2000. 82-519-1605-4.
7. **Trondheim kommune.** Norsk VA-Norm. *Trondheim*. [Online] Norsk Vann, November 16, 2011. [Cited: Mars 5, 2012.] <http://va-norm.no/VA-norm/Generelle-bestemmelser/7-Transportsystem-overvann/7.0-Generelle-bestemmelser>.
8. **Trondheim byteknikk.** *Hovedplan for vannforsyning*. Trondheim : Trondheim Kommune, 2004.
9. **Lundli, Hans-Erik and Johannessen, Birgitte.** Klimatilpasningstiltak og revisjon av planer. *Framtidens byer: Statusrapport fra Trondheim*. [Online] Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap, August 23, 2011. [Cited: Februar 20, 2012.] <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/kampanjer/klimatilpasning-norge-2/bibliotek/erfaringer/klimatilpasningstiltak-og-revisjon-av-pl.html?id=651318>.
10. **Jakobsen, Guttorm.** *Vann- og avløpsrett*. Hamar : Norsk Vann, 2010. 9788241403170.
11. **Europaparlamentet og rådet for den Eurpoeriske Union.** *Fastsettelse av rammer for fellesskaptiltak for vannpolitikk*. Brussel : Europaparlamentet, 2000. 2000/60/EC.
12. **Miljøverndepartementet.** *Forskrift om rammer for vannforvaltningen*. Oslo : Lovdata, 2006. FOR 2006-12-15 nr 1446.
13. **Vannportalen:Trøndelag.** Vannportalen Trøndelag. *Plandokumenter*. [Online] Miljøverndepartementet, 02 21, 2012. [Cited: 05 04, 2012.] <http://www.vannportalen.no/enkel.aspx?m=66117>.
14. **Stahre, Peter.** *Sustainability in Urban Storm Drainage*. Malmö : Svenskt Vatten, 2006. 2006-01-10.

15. **the World Commission on Environment and Development.** *Our Common Future.* New York : UN Documents, 1987. A-42-427.
16. **Lindholm, Oddvar, et al., et al.** *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering.* Hamar : Norsk Vann BA, 2008. 978-82-414-0298-2.
17. **Lindholm, Oddvar, et al., et al.** *Veiledning i overvannshåndtering.* Hamar : NORVAR, 2005. 144-2005.
18. **Statens Vegvesen.** *Vegbygging.* Oslo : Statens Vegvesen, 2011. H018.
19. **Fluge, Finn.** *Vann- og frostsikring i tunneler, Temperaturmålinger.* Trondheim : Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologivdelingen, 2008. 2509.
20. **Utvalg for frost i jord.** *Sikring mot teleskader.* Oslo : Statens Vegvesen, 1976. nr 17-1976.
21. **Pedersen, Øystein.** Våtere og villere vær mot år 2050. *Artikler på forskning.no.* [Online] forskning.no, November 27, 2002. [Cited: April 11, 2012.] <http://www.forskning.no/artikler/2002/november/1037968987.7>.
22. **Johannessen, Ola M.** Varmere, våtere og villere. *Kronikk på forskning.no.* [Online] forskning.no, mars 4, 2005. [Cited: april 11, 2012.] <http://www.forskning.no/artikler/2005/mars/1109681565.21>.
23. **Beldring, Stein.** Multi-criteria validation of a precipitation-runoff model. *Journal of Hydrology.* 2002, Vols. 189-211, 257.
24. **Klemeš, Vit.** Operational testing of hydrological simulation models. *Hydrological Sciences Journal.* 1986, Vol. 31, 1.
25. **Xu, Chong-yu.** Operational testing of a water balance model for predicting climate change impacts. *Agricultural and Forest Meteorology.* 1999, Vols. 295-304, 98-99.
26. **DHI.** *MIKE 21 FLOW MODEL.* Hørsholm : DHI, 2011.
27. —. *MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM; Hydrodynamic and Transport Module.* Hørsholm : DHI, 2011.
28. **Spildevandskomiteen.** Spildevandskomiteen. *Energi, miljø og uland.* [Online] januar 2012, 01. [Cited: mai 23, 2012.] http://ida.dk/netvaerk/fagtekniskenetvaerk/energimiljooguland/spildevandskomiteen/Documents/SVK_LAR-Dimensionering_v1_0.pdf.
29. **DHI.** *Pipe Flow Reference Manual.* Hørsholm : DHI, 2011.
30. **Kristoffersen, Hans Vebjørn.** *Analyse av overvannssystem; Forus Næringspark.* Trondheim : NTNU, 2010.
31. **Butler, David and Davies, John.** *Urban Drainage.* Abingdon : Spon Press, 2011. 978-0415455268.

32. **Trondheim Kommune.** Trondheim. *Norsk VA-norm*. [Online] Norsk Vann, November 16, 2011. [Cited: Februar 20, 2012.] <http://va-norm.no/content/view/full/48350>. Vedlegg 5.
33. **Olsen, Nils Reidar B.** *Numerical Modelling and Hydraulics*. Trondheim : NTNU, 2011. 82-7598-074-7.
34. **DHI.** *MIKE 11; A Modelling System for Rivers and Channels*. Hørsholm : DHI, 2011.
35. **Virginia Department of Conservation and Recreation.** *Virginia Stormwater Management Handbook*. Richmond : Virginia Department of Conservation and Recreation, 1999. Volume 1.
36. **Low Impact Development Center.** Stormwater Technical Guidance. *Raingarden Design Templates*. [Online] januar 01, 2007. [Cited: mai 06, 2012.] www.lowimpactdevelopment.org/raingarden_design/downloads/6_Bioretention_Area_Technical_Guidance.pdf.
37. **Planning & Environmental Services Division.** *Stormwater Management Guidance Manual*. City of Philadelphia : Philadelphia Water Department, 2011.
38. **Center for Watershed Protection.** *New Yrk State Stormwater Management Design Manual*. Albany : Department of Environmental Conservation, 2010.
39. **Bengtsson, Lars.** Avrinning från gröna tak. *Vatten*. 2002, Vol. 4, side 245-250.
40. **Endresen, Svein.** *Overvann. Valg av dimensjonerende gjentaksintervall*. Hamar : Stiftelsen VA/Miljø-blad, 2008. 85.
41. **Dalen, Torstein.** *Hydrologisk ytelse til regnbed i kaldt klima*. Trondheim : NTNU, 2012.
42. **Framtidens byer.** Verktøyet KlimaGIS. *Nyheter 2011*. [Online] Miljøverndepartementet, januar 01, 2012. [Cited: mai 20, 2012.] <http://www.regjeringen.no/nb/sub/framtidensbyer/aktuelt-2/nyhetsarkiv/nyheter-2011/verktoyet-klimagis.html?id=654476>.
43. **Risholt, Lars Petter, et al., et al.** *Kjelleroversvømmelser i Trondheim sommeren 2007*. Trondheim : Trondheim kommune Kommunalteknikk, 2007.

11. TABELLISTE

Tabell 1 Fra Overvann, innspill til konkurransegrunnlag	9
Tabell 2 Mulig inndeling av tiltak etter Stahre (14), jamfør notat om overvann	15
Tabell 3 Tilgjengelig datakraft	20
Tabell 4 Oversikt inngangsverdier i MIKE URBAN.....	27
Tabell 5 I hovedoppsettet er noen tiltak medregnet og noen utelatt (markert med *)	27
Tabell 6 Skadeårsaker 2007, fra Trondheim kommune og Multiconsult.....	29
Tabell 7 IVFkurve Fra Trondheim kommunenes va-norm.	30
Tabell 8 Tallverdier for nulltilstanden.....	34
Tabell 9 Tallverdier for grønne tiltak.....	35
Tabell 10 Tallverdier for fordrøyning.....	36
Tabell 11 Tallverdier for konvensjonell løsning	37
Tabell 12 Nøkkeltall 2 årsregn	38
Tabell 13 Nøkkeltall 20 årsregn	39
Tabell 14 Nøkkeltall for oppsett med 0,1m/s, 1mm tap ved 20 års nedbørstilfelle	40
Tabell 15 Nøkkelverdier for 0,1M/s, 5 mm tap ved 20 års nedbørstilfelle	41
Tabell 16 Nøkkelverdier for 0,1M/s og 10mm tap ved 20 års nedbørstilfelle.....	42
Tabell 17 Nøkkelverdier for 0,3m/s, 1mm tap ved 20 års nedbørshendelse	43
Tabell 18 Nøkkelverdier for 0,3m/s, 5mm tap ved 20 års nedbørstilfelle	44
Tabell 19 Nøkkeltall for 0,3m/s, 10mm tap ved 20 års nedbørstilfelle	45
Tabell 20 Nøkkeltall ved infiltrasjon.....	46
Tabell 21 Nøkkeltall ved ulike hastighet ved grønne tiltak og 20 års nedbørstilfelle	47
Tabell 22 Nøkkeltall ved 0,3m/s og 10mm tap.....	48
Tabell 23 Nøkkeltall for fordrøyning med inital loss ved 20 års nedbørstilfelle.....	49
Tabell 24 Nøkkeltall ved 3, 6 og 12 mm fordrøyning.....	51
Tabell 25 Inngangsverdier for ulike fordrøyningsvolumer	51
Tabell 26 Nøkkeltall 100årsregn.....	52
Tabell 27 Grenseverdi der mindre enn nedre verdi behøver drensledning og over øvre verdi ikke bør ha drensledning. Verider for infiltrasjonsrate i regnbed	56
Tabell 28 avrenningskoeffisienter med alle for de ulike oppsettene.....	58
Tabell 29 Deler av ExFLOODs liste over mulige skadereduserende tiltak.....	60

12. FIGURLISTE

Figur 1 Planskisse for Brøset	7
Figur 2 Avvik i simulert og målt avrenning (5)	10
Figur 3 Fordrøyningskrav fra Kommunens VANorm	11
Figur 4 Foto nord for Brøset der bekken blir ledet under en nybygget fotballbane og videre under Leangen travbane. Fra Gulesider-kart-skråfoto	13
Figur 5 Inndeling etter Stahre (14)	15
Figur 6 Kanaler i Augustenborg 15.mars 2012. I Bakgrunnen skimtes utløpet fra bydelen. Foto av Jon Huurnink	16
Figur 7 Risvollan (Google street view), Sandsli (Google street view), Karihola (Thorolfsson) og Sagelva (Killingtveit)	19
Figur 8 Avløpssystemets funksjon Fra Spildvandskomiteen (28)	21
Figur 9 Trappetrinneffekt i ".dem"-fil sammenlignet med ".tin"-fil	23
Figur 10 Øverst til venstre viser dagens situasjon (nulltilstanden), øverst til høyre viser grønne tiltak, nederst til venstre viser konvensjonell løsning med fordrøyning og nederst til høyre viser konvensjonell løsning	25
Figur 11 Voll målestasjon (Google street view)	30
Figur 12 Nedbørshendelse 13. august 2007 som har gitt skader, registrert på Voll målestasjon (eklima)	31
Figur 13 For 20årsnedbørshendelse. Nedbørstoppen kommer tidlig i forløpet, og bakken er tørr ved start av hendelse	31
Figur 14 For 2årsnedbørshendelse. Nedbørstoppen kommer tidlig i forløpet, og bakken er tørr ved start av hendelse	32
Figur 15 NEDBØRSHENDELSE 29.juli 2007 som har gitt MED SKADER, REGISTRERT på VOLL MÅLESTASJON (eklima)	33
Figur 16 For 100årsregn. Bakken er våt når regnbøren når sin maksverdi	33
Figur 17 Nulltilstanden	34
Figur 18 Grønne tiltak	35
Figur 19 Konvensjonell løsning med fordrøyning	36
Figur 20 Konvensjonell løsning	37
Figur 21 Vannføring 2årsregn	38
Figur 22 Vannføring av 20årsregn	39
Figur 23 Ulike oppsett med 1m/s, 1mm initial loss og 20 års nedbørstilfelle	40
Figur 24 Ulike oppsett med 0,1m/s, 5mm initial loss og 20 års nedbørstilfelle	41
Figur 25 Ulike oppsett med 0,1m/s, 10 mm initial loss og 20 års nedbørstilfelle	42
Figur 26 Ulike oppsett med 0,3m/s 1 mm initial loss og 20 års nedbørstilfelle	43
Figur 27 Ulike oppsett med 0,3 m/s 5 mm initial loss og 20 års nedbørstilfelle	44
Figur 28 Ulike oppsett med 0,3 m/s 10 mm initial loss og 20 års nedbørstilfelle	45
Figur 29 Infiltrasjon som grønt tiltak	46
Figur 30 Endret vannhastighet ved grønne tiltak og 20 års nedbørstilfelle	47
Figur 31 Ulike nedbørstifeller med grønne tiltak og initial loss på 10mm	48
Figur 32 Ulike initial loss ved fordrøyning og 20 års nedbørstilfelle	49
Figur 33 Ulike fordrøyningskrav	50
Figur 34 Vannføring 100årsregn	52
Figur 35 Skjerm bilde fra KlimaGIS	62

13. VEDLEGG

13.1. OPPGAVETEKST FOR MASTEROPPGAVEN

13.2. OPPGAVETEKST FOR PROSJEKTOPPGAVEN

13.3. PROSJEKTOPPGAVEN

MASTEROPPGAVE I OVERVANNSTEKNOLOGI – TVM 4905, 2012

Stud. Tech Jon Egenberg Huurnink

Oppgavetittel: Kvantifisering av overvannsmengder, Case: Brøset

1. BAKGRUNN

Prosjektet *Fremtidens byer*, klimatilpasset overvannshåndtering og behov for bærekraftig utvikling har gitt muligheter og utfordringer. Brøset bydel skal reguleres og bebygges. I planarbeidet er det satt høye mål knyttet til utslippsreduksjoner, klimatilpasning og et godt bomiljø. Planarbeidet baseres på god håndtering av overvann. Trondheim kommune har benyttet anledningen til å gjøre en banebrytende jobb..

2. MÅLET MED OPPGAVE

Vurderer kvantitativ effekt av ulike overvannstiltak for utbyggingen på Brøset. Foreslå et sett av tiltak som ivaretar målsetningene fra notat *Overvann. Innspill til konkurransegrunnlag for Brøset* datert 19. april 2010 av Anne Kristine Misund og Birgitte Johannessen, Trondheim Kommune.

3. GRUNNLAGSMATERIALE

Kartdata, reglement og områdeplan fra Trondheim kommune. Dataprogrammet Mike Urban og en avløpsmodell for Strindheim avløpszone fra DHI. ESRI dataprogram og Bibsys bibliotekdatabase fra NTNU. Autodesk CAD dataprogram, Novapoint dataprogram og VA Miljøblad fra arbeidsstedet. Ulike Norsk Vann rapporter fra Norsk Vann. Rettskilder fra Lovdata.

4. ARBEIDSSTED, TILRETTELEGGING OG ASSISTANSE

Arbeidet med oppgavebesvarelsen vil foregå i Trondheim der kandidaten får kontorplass ved ViaNova Trondheim AS.

Veileder er professor Sveinn Torfi Thorolfsson.

Trondheim kommunes kontakt er siv. ing Birgitte Johannessen ved Kommunalteknikk.

5. SPESIFISERT OPPGAVETEKST

Oppgaven utformes av kandidaten i samråd med veilederne:

1. Problemdefinisjon
2. Litteratur
3. Undersøkelse
4. Resultater
5. Drøfting
6. Konklusjon

Kandidaten utarbeider rammen for oppgaven, fremdriftsplan og forslag til disposisjon for besvarelsen innen 1. mars. Denne godkjennes av veileder. Oppfølging av fremdriftsplan rapporteres ukentlig til sveinn.thorolfsson@ntnu.no.

Oppgaven skal vurdere effekten av ulike overvannstiltak for utbyggingen på Brøset. Både konvensjonelle tiltak (her nevnes ledninger og fordrøyningsbasseng) og overflatebaserte tiltak (her nevnes grønne tak, permeable flater og vegetasjonskledde grøfter) forventes benyttet. Studenten skal diskutere fordeler/ ulemper/ effekter ved de ulike tiltakene med hensyn på flomtopp, årsavrenning, sommerforhold og vinterforhold. Videre ønskes en anbefaling med de beste tiltakene.

Oppgaven skal bidra til utvikling av verktøy for kvantifisering av overvannstiltak, og da spesielt de overflatebaserte tiltak.

I følge Norsk Vanns *Vann og avløpsrett* har kommunen muligheter for å pålegge krav til overvannshåndtering så lenge «pålegget må kunne gjennomføres uten urimelige kostnader. Ved rimelighetsvurderingen må man ifølge forarbeidene se hen til merkostnad, både isolert og i forhold til de samlede utgiftene ved tiltaket.»

6. PRESENTASJON AV OPPGAVEN

Besvarelsen redigeres i samråd med veileder. Tekstdelen med innholdsfortegnelse, tekst, tabeller og figurer skal ikke overstige 70 sider.

Det vektlegges at rapporten er oversiktlig, strukturert og leselig. Det skal innleveres minst 4 eksemplarer til instituttet, innbundet i A4 format. Originalen innleveres uinnbundet og også på lagringsmedium. Det leveres også lagringsmedium med filer som inneholder inngangsdata og resultater. Kandidaten skal sammenfatte resultatene i besvarelsen i et sammendrag a 1-3 sider (fortrinnsvis 1 side). Sammendraget skal være av en slik art at det kan publiseres i blad som Norsk Vann Bulletin.

Litteraturhenvisningene skal være presise (fortrinnsvis etter ISO 690 – Vancouverstil). Alle kilder, korrespondanse også faglige input fra fagautoriteter skal oppgis. Besvarelsen er NTNUs eiendom. Kandidaten skal legge ved en erklæring om at NTNUs reglement for Hovedoppgaven er fulgt (Veiledende retningslinjer for hovedoppgaver (masteroppgaver) innen studiet Bygg- og Miljøteknikk).

Utlevering (DAIM): 15. januar 2012

Innlevering (DAIM): 10. juni 2012

Institutt for vann og miljøteknikk, 15. januar 2012

Sveinn Torfi Thorolfsson

PROSJEKTOPPGAVE I OVERVANNSTEKNOLOGI HØSTEN 2011

Stud. Tech Jon Egenberg Huurnink

Oppgavetittel: Kvantifisering av overvannsmengder, Case: Brøset,

Oppgavetittelforslag: SUDS-konseptet i urbane områder

Overvannshåndtering i urbane områder

Case Brøset i Trondheim

http://tekna.no/portal/page/portal/kurs/vis_arrangement?p_kp_id=21261

1. INNLEDNING

Den sisten tiden har det blitt:

- Økende fokus på strategi for overvannshåndtering
- Bytransformasjon, fortetting og klimaendringer-hva med overvannet?
- Dimensjonering og planlegging
- Eksempler på «grønne» og tekniske løsningsmuligheter

I mange byområder foregår det en sterk fortetting, der grønne områder og gamle industriområder transformeres til åpne bolig- og forretningsbydeler. Mange steder skjer dette i sjø/vassdragsnære områder. Dette gir nye krav til vannkvalitet i fjord og vassdrag. Samtidig kommer vannforskriften med nye strengere krav til vannkvalitet. Avløpssektoren blir en viktig sektor i forhold til å innfri disse kravene.

Klimaendringene gir økt intensitet og større belastning på overvannssystemene, og uten tiltak får vi mer overløpsutslipp og forurensning. Og byutvikling gir mer tette overflater og raskere avrenning. I økende grad ønskes også overvannet brukt som et positivt element i byplanleggingen.

Samtidig er det mange kommuner som står fremfor store investeringer i utvidelse på avløpsrensning, hvor tilrenning av overvann utgjør en betydelig andel av belastningen på disse anleggene.

Og når overvannssystemene er fulle og det fortsatt regner må vi ha forhåndsplanlagt flomveier som reduserer skadeomfanget. Hvem har ansvaret for tilrettelegge dette og hvem skal betale?

Hvordan skal vi planlegge og få vedtatt strategier for overvannshåndtering som møter disse utfordringene, og hvordan gjennomføre slike strategier.

Det gjelder å dele erfaringer med praktiske løsninger, både «grønne» og tekniske.

Aktuelle tiltak er bruk av åpne overvannssystemer. Disse består gjerne av:

- a. infiltrasjonsanlegg
- b. swales (gresskledde forsengkninger)
- c. kanaler

- d. vegeterte filter striper
- e. grønne tak
- f. dammer
- g. våtmarker
- h. oppsamling av regn

Stikkord: Brøset i Trondhei, Fremtiden byer, Fra tradisjonell mot mer bærekraftig overvannshåndtering, SUDS-hva er det, Urridaholt <http://www.rudi.net/books/19472>

2. MÅLET MED PROSJEKTET

Skrives av studenten selv. Hva vil man oppnå med oppgaven?

3. GRUNNLAGSMATERIALE

Studenten må hente.

4. ARBEIDSSTED, TILRETTELEGGING OG ASSISTANSE

Arbeidet med oppgavebesvarelsen vil foregå ved Institutt for vann og miljøteknikk, NTNU i Trondheim. Kandidaten får kontor plass ved Institutt for vann og miljøteknikk, NTNU.

Veileder er professor Sveinn Torfi Thorolfsson.

Trondheim kommunes kontakt er siv. ing Birgitte Johannessen ved Kommunalteknikk.

5. SPESIFISERT OPPGAVETEKST

Oppgaven utformes av kandidaten i samråd med veileder:

1. Problembeskrivelse
2. Målet med oppgaven
3. Fremgangsmåte (metode)
4. Grunnlagsmateriale – data etc.
5. Gjennomføring. Valg av metoder og case?
6. Systematisering
7. Oppsummering og konklusjon
8. Rapportering (gis minst 2 uker)

Kandidaten utarbeider rammen for oppgaven innen 20.oktober. Fremdriftsplan og forslag til disposisjon for besvarelsen innen 1. november. Denne godkjennes av veileder. Oppfølging av fremdriftsplan rapporteres ukentlig til sveinn.thorolfsson@ntnu.no.

6. PRESENTASJON AV OPPGAVEN

Besvarelsen redigeres i samråd med veileder. Tekstdelen med innholdsfortegnelse, tekst, tabeller og figurer skal ikke overstige 40 sider.

Det vektlegges at rapporten er oversikt, strukturert og leselig. Det skal innleveres minst 3 eksemplarer til instituttet, innbundet i A4 format. Originalen innleveres uinnbundet og også på lagringsmedium. Det leveres også lagringsmedium med filer som inneholder inngangsdata og

resultater. Kandidaten skal sammenfatte resultatene i besvarelsen i et sammendrag a 1-3 sider (fortrinnsvis 1 side). Sammendraget skal være av en slik art at det kan publiseres i blad som Norsk Vann Bulletin.

Litteraturhenvisningene skal være presise (fortrinnsvis etter ISO 690 – Vancouverstil). Alle kilder, korrespondanse også faglige input fra fagautoriteter skal oppgis. Besvarelsen er NTNUs eiendom. Kandidaten skal legge ved en erklæring om at NTNUs reglement for Hovedoppgaven er fulgt (Veiledende retningslinjer for hovedoppgaver (masteroppgaver) innen studiet Bygg- og Miljøteknikk).

Utlevering: 16. august 2011

Innlevering: 20. desember 2011

Institutt for vann og miljøteknikk, august 2011

Sveinn Torfi Thorolfsson

Veileder

2011

Fakultet for
ingeniørvitenskap og
teknologi

TVM 4510
Vannforsynings- og
avløpsteknikk,
fordypningsprosjekt

Jon Egenberg Huurnink
Studentnummer 696987



TRONDHEIM
KOMMUNE



Institutt for vann- og miljøteknikk

[KVANTIFISERING AV OVERVANNSTMENGDER CASE:BRØSET]

Rapporten inneholder dokumentasjon for dimensjonerende flom, hvilken kvantitativ effekt som oppnås ved infiltrasjon, fordrøyning og flomveier

1. FORORD

Rapporten er produktet av TVM 4510 Vannforsynings- og avløpsteknikk, fordypningsprosjekt. Jeg har fått hjelp, programvare og kartgrunnlag fra DHI i Trondheim ved daglig leder Tomas Eidsmo. Trondheim kommune Ledningskartverket har hjulpet til med terreng og kartgrunnlag. NTNUs avtale med ESRI om ArcGIS har vært til stor hjelp. Parallelt med prosjektoppgaven har det vært undervist i ledningsteknologi ved Sveinung Sægrov og overvannteknologi ved Sveinn Torfi Thorolfsson. Dette kurset har bidratt til mer kunnskap rundt dimensjonering av store anlegg slik Brøset skal bli.

Takk for støtte, engasjement og tankekraft;

- Sveinn Torfi Thorolfsson, veileder og professor ved NTNU IVM
- Birgitte Johannessen, oppdragsgiver og sivilingeniør
- Tomas Eidsmo, programvareleverandør og sivilingeniør
- Gunnar Mosevoll, doktor ingeniør
- Bernt Noodt, sivilingeniør
- Lars Petter Risholt, doktor ingeniør

2. SAMMENDRAG

Fremtidens byer er et prosjekt som Trondheim kommune deltar i. Bidraget fra kommunen er å bygge ut Brøset bydel på en fremtidsrettet måte (1). Det har vært en åpen parallell konkurranse blant med fire team som stammer fra arkitekt- / ingeniørkontorer (2). Overvannshåndtering etter treleddsstrategien (3) er ivaretatt på ulikt vis og oppgaven har forsøkt å kvantifisere de ulike bidragene.

Regnenvelopmetoden (4) er benyttet for grafisk støtte av volumene som håndteres. Grønne tiltak er gunstig på håndtering av volum på grunn av evne til å holde vann, samtidig er vannhastigheten ofte lav på grunn av friksjon og lav helning. Dette medfører at grønne tiltak en begrenset effekt ved langvarige nedbørstilfeller, vintersituasjoner og ved kort tidsrom mellom regnhendelser.

For Trondheim er det kritisk å håndtere både vinter- og sommersituasjonen. Vintersituasjoner kjennetegnes med store volumer og utfordringer med å holde vannveiene åpne. Dette krever planlegging av snørydding og tiltak ved værromslag. Sommersituasjonen er trolig dimensjonerende for feltet. Ved høy Grønn OverflateFaktor (GOF) øker tilrenningstiden og dermed oppnås en bedre avledning av nedbøren.

For å finne verdier på grøftetverrsnitt, fordrøyning, kulverter og inntak er det behov for en EDB modell. Oppgaven benytter Mike Urban som trolig er "beste tilgjengelige teknologi" i denne sammenhengen.

Treleddsstrategien (3) med infiltrasjon, fordrøy og trygg avledning har utfordring på Brøset. Infiltrasjon gir ikke bidrag siden eksisterende masser er tørrskorpeleire med mektighet større enn 12 meter utenom kanalene. Fordrøyning er noe begrenset da det er etablert vannspeil med frispelsoverløp. Det er dermed lite fordrøyningsvolum. Trygg avledning er godt ivaretatt gjennom Brøset, men hvordan løses dette nedstrøms?

INNHALDSFORTEGNELSE

1.	Forord	3
2.	Sammendrag.....	4
3.	Innledning.....	6
3.1.	Problemstilling	6
3.2.	Det åpne parallelle oppdraget.....	7
3.3.	Team Asplan	8
3.4.	Team Code	9
3.5.	Team COWI.....	10
3.6.	Team SLA.....	11
3.7.	Grønn overflate faktor	12
4.	Litteratur og erfaringskunnskap.....	13
4.1.	Vær.....	13
4.2.	Blågrønne tiltak.....	16
4.3.	Infiltrasjonskapasitet.....	16
4.4.	Grønne tak	17
4.5.	Grøfter.....	18
4.6.	Regnbed	18
4.7.	Områder som settes under vann.....	18
4.8.	Avrenningskoeffisient.....	18
4.9.	Valg av datamodell	19
4.10.	Dimensjoneringsprinsipper	20
5.	Simulering.....	23
5.1.	Tid-areal metode eller summasjonskurve	23
5.2.	Mike Urban.....	23
5.3.	HEC-RAS.....	23
5.4.	Kartmanipulering.....	24
6.	Drøfting.....	27
6.1.	Sommer eller vintersituasjon?	27
6.2.	Simulering.....	28
6.3.	Datakvaliteten.....	28
6.4.	Veien videre	28
7.	Konklusjon.....	29
8.	Bibliografi.....	30
9.	Tabelloversikt	32
10.	Figuroversikt.....	32

3. INNLEDNING

Framtidens byer er et samarbeid mellom staten og de 13 største byene i Norge om å redusere klimagassutslippene–og gjøre byene bedre å bo i (5). Programmet Framtidens byer skal hjelpe bykommunene med å dele sine gode ideer til klimavennlig byutvikling med hverandre – og til å samarbeide med næringsliv, region og stat. Sluttproduktet skal være et sett med verktøy som tettsteder og byer kan bruke for å skape mer klimavennlig utvikling. Brøset bydel er Trondheims bidrag i programmet. Det er valgt å ha fokus på infrastruktur for å møte klimaendringer som høyere temperatur, mer nedbør og økt hyppighet av ekstremvær. Så langt har kommunen avholdt arkitektskonkurranse for bydelen og politisk arbeid med regulering pågår nå. De innkomne forslagene er utgangspunktet for mitt bidrag i utviklingen av Brøset.

Feltet er 35ha og har en varierende helning slik at datasimulering ved bruk av "Overland flow" benyttes. Dagens terreng forandres i Autodesk Civil3D med Novapoint Veg-utvidetmodul. Terrengoverflaten importeres inn i Mike Urban der "2D Overland Flow" er simuleringsmåten. Frontnedbør om sommeren og temperaturomslag med langvarig regn på snø for vintersituasjon. HEC RAS benyttes for å etterprøve vannlinjen i grøftene. Fysiske størrelser på infiltrasjonsløsningene er ikke angitt i tilstrekkelig grad, slik at antagelser må gjøres. Spørsmålet er om de grønne tiltakene vil bidra med annet enn forsinkning og trygg avledning ved store nedbørstilfeller? Ved en konservativ regnemetode er trolig svaret nei.

Det har vært skrevet prosjekt-, bachelor- og masteroppgaver på Brøset bydel innen trafikkplanlegging, landskaps- og bygningsarkitektur.

3.1. PROBLEMSTILLING

Prosjektoppgave og masteroppgave vil arbeide med Brøset. For prosjektoppgaven er problemstillingen; Hvor store er overvannsmengdene på Brøset? Og med underproblemstilling; Hvordan skal vi kvantifisere de grønne tiltakene? For masteroppgaven blir det simulering av overvannsmengdene med de forutsetningene som prosjektoppgaven setter opp. Blå-grønn tilnærming inneholder kvantitet, kvalitet og attraktivt utseende. Prosjektoppgaven fokuserer på kvantitet.

Noen begreper:

Overvannsmengder er den delen av nedbøren som gir avrenning.

Fremtidens byer er et prosjekt for å lage en verktøykasse med tiltak for tettsteder og byer i Norge for å møte og forhindre klimaforandringer.

Klimaforandringer gir et villere vær og kan skyldes menneskelig aktivitet, da særlig utslipp av karbondioksid.

Brøset bydel skal ha utslipp av karbondioksid fra 3 (i dag 8-11) tonn karbondioksidekvivalenter per person og år.

Kvantifisere menes da å finne dimensjonerende vannføring. Denne vannføringen bestemmer størrelse og utforming av alle innretninger i overvannsteknikken, kort nevnes; grøfter, ledninger, arrangement rundt innløp/utløp, erosjonssikring og høyeste tillatte trykkehøyde mot eiendommene.

De grønne tiltakene er et nytt tankesett innen overvannsteknikken. Grønt henspiller på både grønn overflate og en miljøvennlig løsning der biotoper har bedre forutsetninger enn i konvensjonell overvannsteknikk. Grønne tiltak inneholder infiltrasjon, bekker og vassdrag i overflaten, rensedammer / våtmarker og beplantet overflate av konstruksjoner.

Oppgaven presenterer en arkitektkonkurranse som Trondheim kommune arrangerte, noe kjent litteratur om grønne tiltak, vær og datamodeller.

3.2.DET ÅPNE PARALLELLE OPPDRAGET

Området for utbygging er i dag et jordbruksområde. Inne på feltet ligger Brøset Psykiatriske sykehus som er en del av Helse Midt HF. Kultivering av landskapet er dokumentert på kart tilbake til 1870, men det har vært fast bosetting på Strinda siden yngre steinalder (6). Trondheim har innført markagrensener for eiendomsutvikling og Brøset en av de få gjenværende utviklingsområdene i bynære strøk. Fra rapporten om nasjonens tilstand står det: "Lokal håndtering av avrenning fra regn og snøsmelting bør brukes i større grad for å redusere belastningen på ledninger og renseanlegg (7)." Alle forslagene benytter separatsystem. Strindheim avløpsbane ligger innenfor Ladehammeren renseanlegg. Avledet overvann ledes til Leangenbekken, mens det tidligere ble drenert til Ladebekken.

Forslagene inneholder en grad av livsstilsendring. "Dette stod i kontrast til en kommentar fra Miljøverndepartementet som nettopp etterlyste fokus på teknologiske løsninger i forhold til det store fokuset på livsstil." (2) Det er fokus på utslipp av karbondioksidekvivalenter som er måltallet for miljøvennlighet. I dag har Norge et utslipp på 8-11 tonn karbondioksidekvivalenter per person og år. (1) Brøset bydel vil oppnå 3 tonn karbondioksidekvivalenter per år og person. De andre miljøparametre er ikke tillagt stor vekt.

3.3. TEAM ASPLAN

Team Asplan beskriver to veier for å lykkes med en mer karbondioksidnøytral bydel; ytre og



FIGUR 3-1 TEAM ASPLAN

indre forhold. De ytre forholdene gjelder boforhold, transport, natur og eiendeler. Boforholdene skal være nøkterne og moderne. Transport skal foregå med buss og sykkel der lokalområdet (Trondheim) er ytterste reiseområde. Naturen skal benyttes som rensanlegg, som livsgrunnlag og søke å skape et lokalt klima. Det er et uttalt mål at eiendeler skal byttes mellom beboerne. Overvannshåndtering følger treddsstrategi (3) der det benyttes; ekstensive tak, regnbed, beplantet våtmark, perkolasjonsmagasin ned i drenggrøfter og harde flater med en viss permeabilitet. Flomsikring nedstrøms og håndtering av snø / is er ikke diskutert.

3.4. TEAM CODE



FIGUR 3-2 TEAM CODE

Team Code mener de største bidragene til en mer karbondioksidnøytral bydel ligger utenfor bydelen. Energibruken skal reduseres til 0,3 (i dag 3,4) tonn karbondioksidekvivalenter per person og år. Tilsvarende tall for transport er 1 (0,4), forbruk 2,5 (4), bolig 0,3 (1,6) og fritid 0,3 (0,6) tonn karbondioksidekvivalenter per person og år. Løsningene i bydelen innen vann og miljø er intensive tak og ulike fordrøyningsløsninger, sentralt plassert. Vannveien er preget av forsinkelser på grunn av konstruerte svanker, kanaler og terskler. Flere av bassengene er beplantet og skal fungere som våtmark. Flomsikring nedstrøms og håndtering av snø / is er ikke diskutert.

3.5. TEAM COWI



FIGUR 3-3 TEAM COWI

Team COWI fokuserer på økonomisk bærekraft og menneskets natur for å gi en bærekraftig byutvikling. Tre mål beskrives; bærekraft for alle, dekke behov lokal og moderne teknologi. Innenfor bærekraft ønskes bevaring av natur. Innen moderne teknologi benyttes livsløpsanalyse for varer, tjeneste og steder. COWI har delt nedbørsfeltet i to felt; åpent og lukket. Lukket felt skal lede vannet til beplantet våtmark oppstrøms en samling med terskler som benyttes for fordrøyning, mens det åpne har vannvei langs terrenget / kanaler. Ekstensive tak, grunne vegeterte kanaler, beplantet våtmark og harde flater med en viss permeabilitet. Flomsikring nedstrøms gjøres ved justerbare terskler, men det er ikke skrevet noe om høyeste og laveste regulerte vannstand. Håndtering av snø / is er ikke diskutert.



FIGUR 3-4 TEAM SLA

Team SLA beskriver sitt design fra to ståsteder; en byplan og en innordning av dagliglivet. Byplanen vil bidra til å redusere utslippene til 4,4 (i dag 12) tonn karbondioksidkvivalenter per person og år. Ytterligere reduksjon kommer fra dagliglivet, gjennom forbruksreduksjon. For byplanen benyttes treleddsstrategi med oppsamling av nedbør på eiendommene som første skanse (dimensjonert for 20mm nedbør). Andre og tredje skanse er kanaler og beplantet våtmark som skal sikre fordrøyning, flomveier og forsinke avledningen "til fjorden". Det benyttes ekstensive tak, perkolasjonsmagasin ned i drengrofter, bilvei som vannvei og vindskjerm som kanal. Flomsikring nedstrøms og håndtering av snø / is er ikke diskutert.

3.7.GRØNN OVERFLATE FAKTOR

Grønn overflatefaktor (GOF) gir en vektet sum (blå grønt; høy og tette flater; lav) for et område. Utbygning i Sverige og Tyskland har vist gode resultater med GOF som planleggingsverktøy (svensk "grönytefaktor", tysk "Biotopflächenfaktor" – BFF, engelsk "Biotope Area Factor" – BAF). Trondheim kommune ønsker å benytte GOF i planleggingen (8). De ulike teamene har tolket "hele tomtens areal" forskjellig. En sammenligning er derfor ikke gyldig, siden deler av tomten gir svært høy faktor i regnskapet (bekkedalene). GOF er godt egnet som et kvalitetskriterium i anbudsprosessen, men verdiene regnet ut på Brøset er trolig for høye. Flere av forslagene har to av husveggene dekket av klatreplanter (det vil si hele fasaden på rekkehus og leiligheter) og kun permeable flater.

$$GOF = \frac{\text{Økologisk effektivt areal}}{\text{Hele tomtens areal}} = \frac{\sum(\text{faktor} \cdot \text{areal})}{\sum(\text{areal})}$$

Gjennomsnitt blant teamene: $\overline{GOF} = 0,78 \pm 0,08$

For et boligområde ønskes: $\overline{GOF} = 0,6$

For et næringsområde ønskes: $\overline{GOF} = 0,3$

TABELL 1 GRØNN OVERFLATE FAKTOR

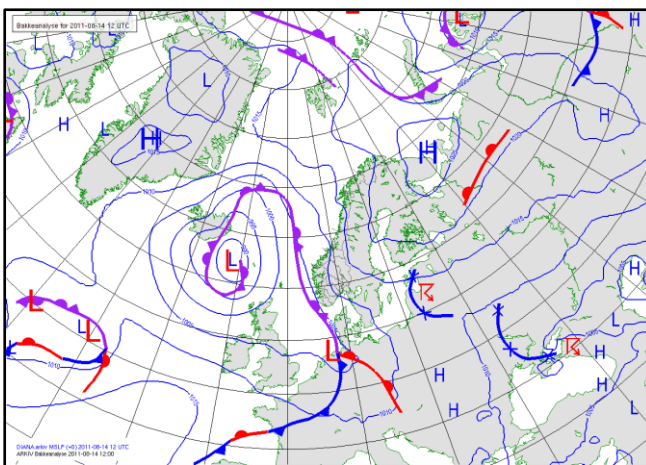
Grønn overflatefaktor GOF	Faktor
Vegetasjon som vokser i jord og med kontakt med jorden under, velegnet for utvikling av fl ora og fauna og vann som kan trekke ned til grunnvannet	1
Overflate med vegetasjon som vokser i jord, men som ikke har kontakt med jord under, men har mer enn 80 cm dybde med vekstjord.	0,9
Tilsvarende over, men med jordtykkelse mellom 20-80 cm.	0,7
Grønne tak, både ekstensive og intensive	0,6
Green walls – grønne vegger – løsninger både med og uten støtte. Arealet forventes å være dekket innen 5 år. Maks høyde 10 meter.	0,7
Trær stammeomkrets (SO) 16-20 cm, beregnet med en kroneoverflate på 25 m ²	0,3
Trær stammeomkrets (SO) 20-30 cm, beregnet med en kroneoverflate på 25 m ²	0,5
Trær stammeomkrets (SO) 30cm +, beregnet med en kroneoverflate på 25 m ²	0,7
Åpent vann eller dammer eller kanaler. Overflaten forventes å være under vann i minst 6 måneder per år.	1
Overflater som ikke er permeable til luft og vann, og som ikke har vekstmuligheter på overflaten (betong, asfalt, og andre tette flater)	0
Overflater som er permeable til luft etter jord, men hvor det ikke kan vokse vegetasjon (marktegl, beleggingstein med permeable fuger, brostein med permeable fuger, drenerende grusdekker og lignende)	0,2
Overflater med større permeabilitet enn over, så som gressarmering av betong eller brostein	0,4
Tette overflater med avrenning til grønne permeable områder, hvor regnvann kan infiltreres med grunnvann.	0,2

4. LITTERATUR OG ERFARINGSKUNNSKAP

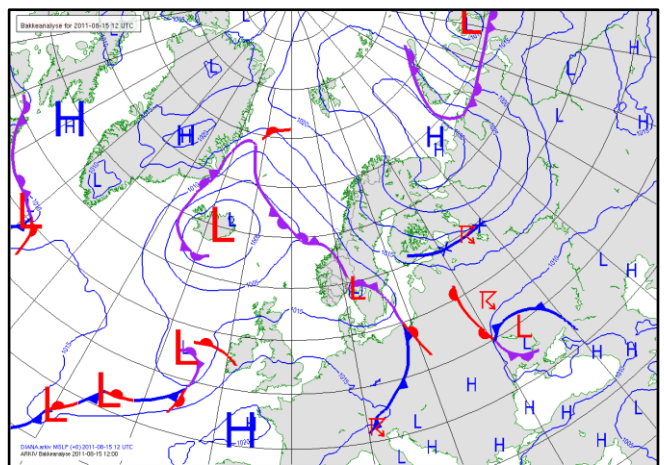
Innen det urbanhydrologiske fagfeltet møtes naturkrefter, fysikk, samfunnsutvikling og datakraft. Følgende avsnitt inneholder relevante forhold til Brøset bydel.

4.1. VÆR

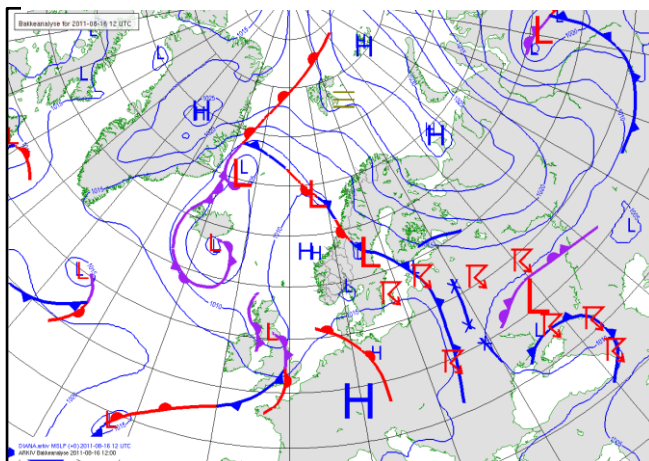
Flere værphenomener gir store vannmengder, men i Trondheim er det trolig stratiform nedbør (varmfront) som dominerer. De største nedbørstilfellene jeg har funnet har vært varme, fuktige vinder fra Øst-Europa som driver nordover og møter store høytrykk som er stabile i Barentshavet. 1000årsnedbøren i Holtålen i sommer er av en slik type (9).



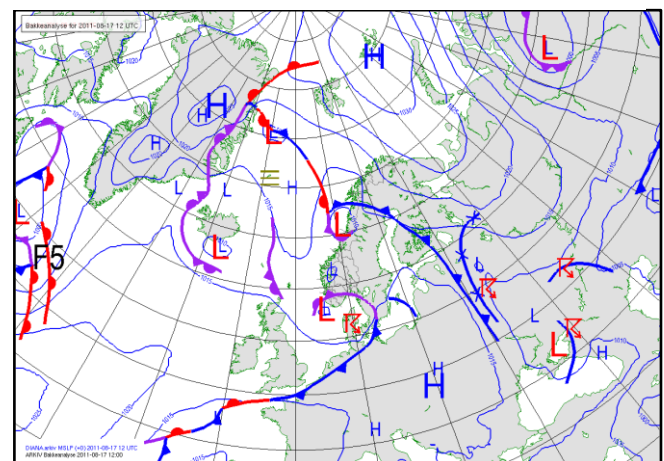
4-2 VARM VIND FRA ØST-EUROPA, 14. AUGUST. LAVTRYKKSFRONTEN ANTAS Å PASSERE OVER MIDT-NORGE I LØPET AV NOEN TIMER.



4-1 LAVTRYKKSFRONTEN STOPPES OG MYE NEDBØR FRIGIS. HØYTRYKKET NORD FOR BOTTENVIKA ER STABILT, 15. AUGUST.

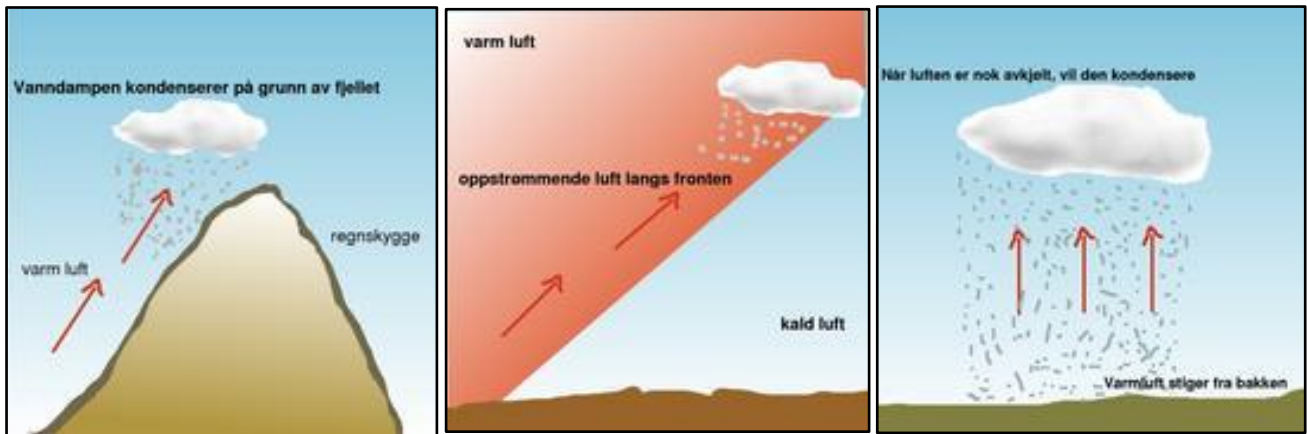


4-3 LAVTRYKKSFRONTEN ER TØMT FOR FUKTIGHET, 16. AUGUST.



4-4 NYTT HØYTRYKK FLYTTER HØYTRYKKET BORT FRA BARENTSHAVET, 17. AUGUST.

Nedbør frigis av bygetyper (10) som er orografisk, stratiform (kald front) eller konvektive.



FIGUR 4-7 OROGRAFISK

FIGUR 4-6 STRATIFORM

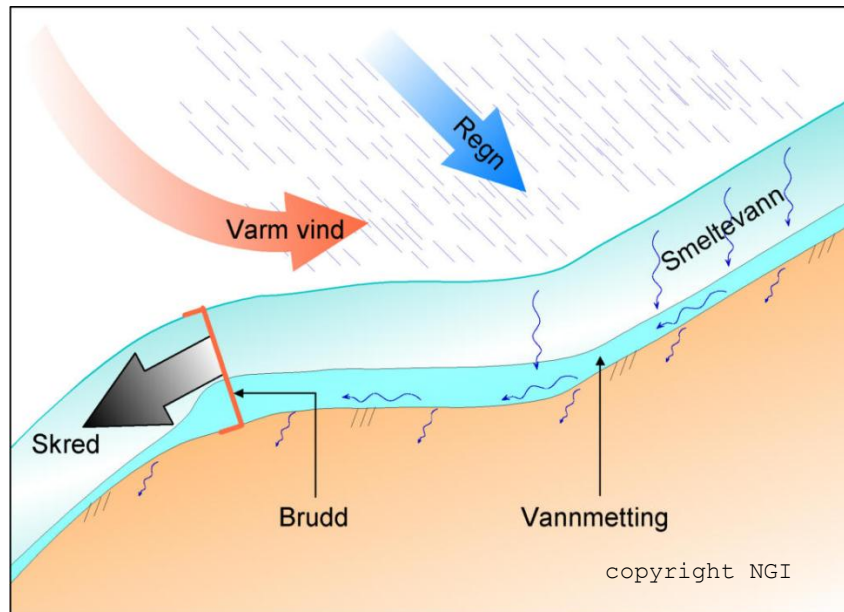
FIGUR 4-5 KONVEKTIV

Sørpeskred (11) behøver et bunnlag / fundament av for eksempel begerkrystaller (12) for å skape en takkonstruksjon, men det er flere eksempler på at tørr nysnø som blir mettet av regn også kan gi skred som utløses under like forhold som snøskred.



FIGUR 4-8 BEGERKRYSTALL

Når takkonstruksjonen kollapse (tilstrekkelig med 30 cm sørpelag) forflytter massene seg som ved et dambrudd. Helningen kan derfor være så liten som 4 grader (13), likevel kan hastighet og tetthet være så høy at erosjon vil skje. Tette flomveier, inntak og sluk (på grunn av sørpen) gir lokal flom når dette kombineres med nedbør. Se Figur 4-9 Skjematisk sørpeskred fra (14).

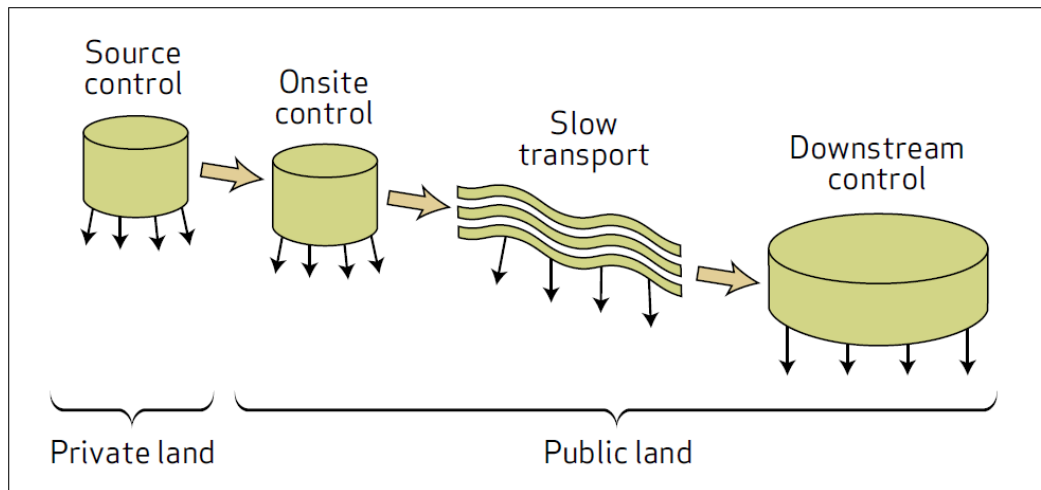


FIGUR 4-9 SKJEMATISK SØRPESKRED

Snøsmelting er faseovergang fra vann (s) til vann (aq). Faseendringen krever en viss energi, 334kJ/kg, og denne energien tilføres enten fra vind, solstråling, nedbør, lufttemperatur eller menneskelig aktivitet. I snøsmeltingen foregår alle disse prosessene. Siden snøen endrer struktur over tid vil spesifikk tetthet, porøsitet og lagdeling endres. I kombinasjon med sot / akse / partikler i snødekket som absorberer solstråler er smeltehastigheten høy. Ensgradert snø (for eksempel av begerkrystaller) kan være vannmettet og fremdeles holde sin struktur (15).

4.2. BLÅGRØNNE TILTAK

Fremtiden og historien inneholder lokale tiltak for overvann. Torvtak, vannkilder for dyr, samlebaseng for regn og terrasser for dyrking i bratt terreng er historiens bidrag. Fremtidens bidrag heter regnbed, intensive tak, perkolasjonsmagasin, dypinfiltrasjon og rensedammer. Naturen selv bidrar med myrer, tørste trær, innsjøer og snø. Det er fornuftig med en gruppeinndeling av tiltakene slik Stahre har valgt; kilde-, oppstrøms-, transport- og nedstrømskontroll. For dimensjonering av de ulike tiltakene gjelder ulike gjentaksintervaller. Kilde og oppstrømskontroll har kanskje 1 års gjentaksintervall, mens transportkontroll kan være 100 års gjentaksintervall.



Figur 4-10 Stahres inndeling

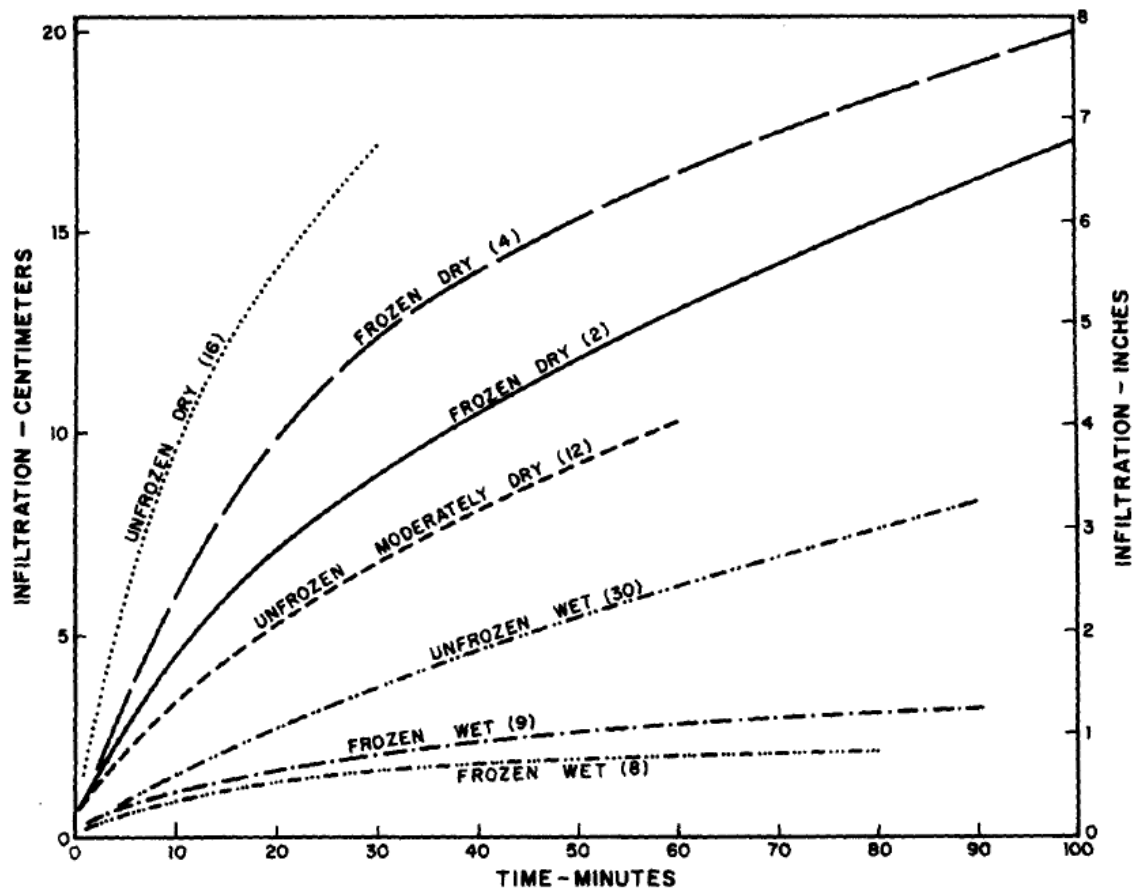
4.3. INFILTRASJONSKAPASITET

Infiltrasjonsskapasiteten bestemmes av:

$$q = KI \left[\frac{m^3}{s \cdot m^2} \right]$$

Q, vannføringen finnes ved å gange med bredde og dybde på jordmonnet som leder vannet (akviferen). I, gradienten kan designes. Naturen bruker ofte små gradienter og satser mer på tiltak som øker den hydrauliske konduktiviteten, K. Røtter, dyreliv i jordsmonnet og forvitring av bergarter bidrar til å øke konduktiviteten. Tele, altså frost, blokkerer noen av transportmekanismene i jordsmonnet og dermed er den hydrauliske konduktiviteten redusert.

TABELL 2 INFILTRASJONSDYBDE FROSSEN JORD



Fra tabellen (16) ser vi at infiltrasjonskapasiteten reduseres over tid og med metningsgrad. Vannmettet jord har lavere kapasitet, mens frosen vannmettet jord mister den lave kapasiteten. For mindre fuktig jord er utgangspunktet bedre og resultatet indikerer at frosen "tørr" jord har infiltrasjonskapasitet tilsvarende "tørr" jord. Når jordmonnet er fuktig er kapasiteten betydelig begrenset. Totalbildet indikerer at tiden mellom regnhendelser er av stor betydning i dimensjoneringen av infiltrasjonsanlegg.

Ved dypinfiltrasjon benyttes en kanal for å lede vannet gjennom jordsmonnet til en vannførende akvifer. I kanalen holdes hydraulisk konduktivitet høyt gjennom grove masser med stor porøsitet. Gradienten er stor siden vannet ledes fra overflater. Fordelen med dypinfiltrasjon er anlegget kan ligge frostfritt.

4.4. GRØNNE TAK

Intensive og ekstensive tak er betegnelser på tak med og uten jordsmonn. Ekstensive tak beplantes gjerne med bladsukkulenter, da vanligst med sedumarter i bergknappfamilien. Disse behøver både lys og mørke, i tillegg til at de lagrer vann i bladene. Intensive tak gir muligheter for mindre hardføre planter og kan godt fungere som kolonihage. Observert vannføring ved ekstensive tak viser at størstedelen av nedbørshendelser gjennom året ikke genererer vannføring på grunn av takets evne til å holde på vannet (17).

4.5. GRØFTER

Swales, wadi, gresskledde forsenkinger er gode navn på slake grøfter. Hensikten er å samle vannet og gi en erosjonssikker transportvei. Konvensjonelt system benytter drensledninger for dette formålet og her finnes det mange kombinasjoner av overflateavrenning / perkolasjon og rørstrømning.

4.6. REGNBED

Regnbed er et fordrøyningsbasseng, infiltrasjonsløsning og rensemedium. Med alle sine fordeler og lett å tilpasse i størrelse gjør at dette er en gunstig løsning. Prosjekter pågår på Risvolla for å dokumentere regnbedets egenskaper om vinteren.

4.7. OMRÅDER SOM SETTES UNDER VANN

Grønne tiltak har tilført nytenkning om fordrøyning på konvensjonelt vis men i et moderne byrom. Lekeplasser, skolegårder, utsmykninger i et sentrum kan settes under vann ved nedbørshendelser og da fungere som fordrøyningsvolum. Utløpet fra slike anlegg kan være ved infiltrasjon, utløp med hydraulisk brems eller luker som slipper vannet videre.

Örjan Stål i VIÖS AB har bidratt til et paradigmeskifte innen planlegging av trær i byrommet. Ved å lage luftige grusfyllinger i gatefundamentet oppnås bedre bonitet for trærne (18) samtidig gir disse et fordrøyningsvolum i oppstrømskontroll.

4.8. AVRENNINGSKOEFFISIENT

I den rasjonelle formel inngår

$$Q = C_{klima} \Phi A I \left[\frac{l}{s} \right]$$

A for areal [ha] og I for intensitet $\left[\frac{l}{s \cdot ha} \right]$. Intensiteten hentes fra IVF-kurver (intensitet - varighet- frekvens). Observert intensiteten er ikke konstant med tiden og dette gir mange ulike former på hyetogrammet. Hans Vebjørn Kristoffersen (19) skrev sin masteroppgave på effekten av ulike form på hyetogrammet. Denne effekten er bedre ivaretatt med tid-areal metoden, se 5.1.

Det finnes en rekke empiriske verdier for ϕ , men parameteren påvirkes i av lokale forhold (helning og størrelse på felt).

TABELL 3 AVRENNINGSKOEFFISIENTER, TRD VA-NORM

Φ	lav	høy
Tette flater (tak, asfalterte plasser / veg og lignende)	0,85	0,95
Bykjerne	0,7	0,9
Rekkehus-/leilighetsområder	0,6	0,8
Eneboligområder	0,5	0,7
Grusveier/-plasser	0,6	0,8
Industriområder	0,5	0,9
Plen, park, eng, skog, dyrket mark	0,3	0,5

Parametrene er ikke gyldige utenom varm årstid. Trondheim kommunes VA Norm sier; "Det må også tas hensyn til at en ved vinterforhold kan ha frosset eller isdekket overflate som gir avrenning tilsvarende tette flater. Ved ikke å anvende avrenningskoeffisienter lavere enn 0,3 – 0,5 vil en normalt også ta høyde for vintersituasjonen" (20).

Når en nedbørshendelse oppstår ser vi oppfuktning, fordampning, infiltrasjon, gropmagasinering og om vinteren snølagring. En del av denne vannmengden avtappes som sigevann og gir små topper med lange haler. Sigevann er ulik primær eller sekundæravrenning i Sandslisystemet. Jeg opplever sigevann som vann som naturen slipper ut og ikke påvirkes av kortvarige nedbørshendelser (grunnvann + overflate + umettet sone). Definert av Store norske leksikon (21); sigevann, synkevann, den del av det frie jordvannet som er på vei ned gjennom de større åpningene i jorden under innvirkning av tyngdekraften. Det vil før eller siden treffe tette lag, så det demmes opp og danner grunnvann. I hellende terreng beveger det seg noenlunde parallelt med jordoverflaten. Da det bevegelige grunnvannet gjerne er oksygen- og næringsrikt, er vegetasjonen frodigere i skråninger enn på flat mark.

4.9. VALG AV DATAMODELL

EDB modeller er attraktivt i beregninger innen SUDS siden værdata, statistikk, hydraulikk og hydrogeologi alle har store datamengder og noen oppgaver har behov for iterering. Flere trender muliggjør EDB modell i min oppgave; brukergrensesnitt er bedret, datakraft er økt og formatet dataen er lagret på er blitt enkelt å konvertere.

Karl-Ossian Frimodt (22) skrev sin masteroppgave på ulikheter mellom SewerGEMS, SWMM, PC SWMM og Mike Urban. Første problemstilling var om et av programmene er bedre enn de andre. Han konkluderer med at Mike Urban har flest valgmuligheter og kan dermed gjenskape virkeligheten best. Den andre problemstillingen belyser forholdet mellom håndberegning og databeregning. Håndberegning gir gode svar, men i noen tilfeller kan VA-systemet tilpasses mer nøyaktig ved bruk av datamodeller. Dette gjelder særlig når overflateavrenning samkjøres med trykkehøyde i ledningsnett.

De mest aktuelle programvarene er DHI Mike Urban, Autodesk Storm and Sanitary Analysis (SSA), CHI PC SWMM, EPA SWMM, Bentley Pondpack (SewerGEMS) og HEC-HMS. Så vidt meg bekjent er DHI Mike Urban, EPA SWMM og SewerGEMS vanligst. I Autocad Civil 3D 2012 er SSA med i installasjonen og vil kanskje få en større utbredelse til fordel for EPA SWMM.

Mike Urban er mest anvendt og har mange funksjoner for oppgaven min, selv om simulering av is og snø er vrient.

I oppgaven er strømning på overflaten sentralt. Mike FLOOD kan sammen med Mouse gi 2D overflatestrømning. I EPA SWMM5 er det bygget inn en overflatemodul. Mouse er en regnemotor i Mike Urban som kan velges i stedet for SWMM. Mouse benytter alle leddene i St. Venants ligninger, i likhet med SWMM. Terrenggrunnlag og avløpsmodell har jeg fått låne av Trondheim Kommune. Import av slik data krever GIS modul i programmet, dette har vært tilgjengelig gjennom NTNUs avtale med ESRI for ArcGIS.

Modellering av snø og is i kombinasjon med snø er den største utfordringen. Mouse-algoritmen har et hydrologisk minne mens SWMM som benytter infiltrasjonsligninger. Siden grunnforholdene på Brøset er slik at det ikke er kommunikasjon mellom overflaten og grunnvannet vil dette trolig ikke gi noe utslag.

Mike Urban modellen for Lade og Strindheim avløpsone er kalibrert av DHI. Ved flomhendelser er det rimelig å forvente avvik fra kalibrert modell. Jeg mener likevel at modellen slik den fremstår i dag er det beste verktøyet for å forutsi en skadeflom. Fra Trondheim kommunes VA-Norm står det: "For mindre felt med komplisert avrenningsforhold eller felt > 50ha skal det benyttes simuleringer modeller av typen MOUSE eller tilsvarende." Brøsets nedslagsfelt er på 35ha.

4.10. DIMENSJONERINGSPRINSIPPER

Dimensjonering har ulike formål; naturlig vannhåndtering, skadeforhindring eller prismessig kost/nytte løsning. Grønne tiltak blir dimensjonert for naturlig vannhåndtering. Det kan være kommunikasjon med grunnvann, holde fuktigheten i jordsmonnet, bidra til gode biotoper på grunn av oppholdstid og tilførsel av oksygen. Skadeforhindring er mitt utgangspunkt og hovedanlegg er dimensjonert etter et samfunnsøkonomisk gunstig gjentakintervall. For at denne dimensjoneringen skal være trygg, må forholdene i feltet behandles ugunstig med hensyn på overvannshåndteringen. Dette gir en konservativ regnemetode og et riktig risikobilde. Prismessig kost/nytteløsning er gjerne motsetningen til grønne tiltak. Her nevnes sandfang, asfalterte flater og transportsystemer som i et konvensjonelt system.

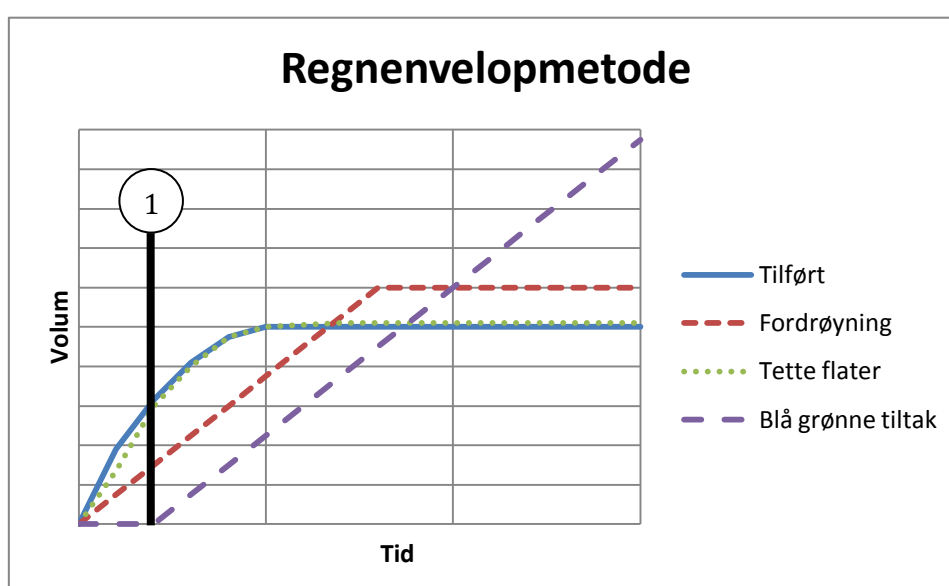


FIGUR 4-11 TRELEDDSTRATEGI

Grønne tiltak har en stor evne til forsinkning slik at de mest intensive nedbørshendelsene blir håndtert bra. Tilrenningstid kan gjerne økes med en faktor 10 (17) sammenlignet med konvensjonell løsning. Vannføringen blir lavere, men volumene er store. Fordøyningsløsninger er benyttet både i konvensjonell og grønne tiltak. På Brøset derimot er det ikke lagt inn fordrøyningsløsninger.

I Lokal håndtering av overvann i byer og tettsteder (4) benyttes en grafisk fremstilling kalt regnenvelopmetoden. Ved bruk av rasjonell formel med faktor for høydekorrigering, redusert areal, klimatillegg og avrenningskoeffisient oppnås det en linje for tilført vannmengde. Målet er at kurven for avtappet skal blir så slak som mulig. Da blir flomtoppen minst og dermed minsker flomskadene.

TABELL 4 SAMMENHENG MELLOM TILFØRT OG AVTAPPET,
1 FOR FØRSTE LEDD I TRELEDDSTRATEGIEN.



Nedbør innenfor 5-20mm bør ikke gi økt vannføring, altså det ønskes stor grad av infiltrasjon og fange nedbøren. Mer nedbør skal forsinkes i størst mulig grad, altså lange transportveier og fordrøyningsbasseng. Da håndterer vi overskuddsvannet etter første ledd. Ved de store nedbørtilfellene er det skadebegrensning står i fokus. Her gjelder det å minske erosjon, gi trygg avledning og sikre økonomisk begrensede skader. Fordrøyning kan gjerne kalles skadeforhindring og denne dimensjoneres feltet for. I kost/nytte-anlegg oppstår det gjerne avrenning lik "tette flater" i Tabell 4 Sammenheng mellom tilført og avtappet, der naturlikt anlegg ligner mest på "blå grønne tiltak".

TABELL 5 GJENTAKSINTERVALL

Gjentaksintervall [år]	Regnskylhyppighet	Oversvømmelseshyppighet
NS-EN 752 (23) og Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering (3)	2	10
Trondheim kommunes VA- Norm (20)	10	20

Regnskylhyppighet er viser til at det skal ikke oppstå oppstuvning i ledningsnett for denne nedbøren, mens oversvømmelseshyppighet menes at det ikke skal oppstå oppstuvning til kjellernivå/marknivå for denne nedbøren. Siden Brøset har separatsystem

er det marknivå som styrer. Flomveier bør ha kapasitet minst lik 100-års flom (24), selv om VA- Miljøblad anbefaler 200års gjentaksintervall (25).

Dimensjonerende vintersituasjon er ikke avklart i litteraturen. For norske forhold er det særlig to situasjoner som er aktuelle; kraftig snøsmelting drevet av vind og nedbør eller sørpeskred som inntreffer når snøen er vannmettet og strukturen kollapser (26) (27).

Hastighet på avrenningen finnes med å kjenne vannmengde, helning og overflateruhet. For erosjonssikring er det en kritisk grense ved omtrent ved $1 \frac{m}{s}$ (28), da når skjærkraften tilstrekkelig styrke ($2 \frac{N}{mm^2}$) slik at fraksjonen rundt 1mm vaskes ut. I gresskledde kanaler er overflaten slik at skjærkraften er lav på grunn av all turbulens og beskyttelse som skapes mellom røtter og strå.

5. SIMULERING

I oppgaven er det benyttet håndregning med summasjonskurve (tid-areal metode) og EDB modellene Mike Urban og HEC-RAS.

5.1. TID-AREAL METODE ELLER SUMMASJONSKURVE

Disse to metodene har mange likheter og gir et ganske bra bilde av nedslagsfeltet. I tid-areal metoden ganges areal, intensitet og avrenningskoeffisient for hvert tidssteg. Ved å legge inn transporttid og summere de ulike bidragene får en da en maksverdi som vil være dimensjonerende. Tid-areal metoden behøver et hyetogram (nedbør mot tid) som viser den verste nedbøren for feltet. Hyetogrammet kan gjerne ha nedbørsformen som ved en tidligere flom eller konstrueres slik at den største vannmengden kommer når hele feltet bidrar. For eksempel et terreng med økende areal for hver tidsenhet og et hyteogram der nedbørstoppen er på slutten. Summasjonskurven har en fast intensitet og de ulike delfeltene har en lineær økning i bidrag fra transporttid til transporttid+kosentrasjonstid. Ved nedbørens slutt vendes grafen og en får en kurve for avtappet vannmengde. Maks vannføring kan da leses ut fra grafen. Ved å gjøre dette med forskjellige nedbørsvarigheter finner vi verste nedbørstilfelle for feltet.

5.2. MIKE URBAN

2D Overland Flow benytter for så vidt lik resonnering som tid-areal metoden, men med større datagrunnlag og mer finoppløst beregning. Det er da mulig å finne enda verre avrenningssituasjoner innen rimelig tid. Nedbørsdata legges inn som tekstfil (.dfs0) og kan skrives som nedbør over en lang periode (flere år) eller enkelthendelser (konstruert regn). Nedslagsfelt og alle vannveier kobles riktig. Ved å kjøre simulering for nedbørsfelt, ledningsnett og overflatevann kan Mike Urban produsere tabeller og animasjon over effektene. Overflatestrømning krever terrengdata slik at helningen på flaten blir mest rett. På nedbørsfelt legges det inn kritiske verdier for vanndybde før avrenning og infiltrasjon / initialt tap.

5.3. HEC-RAS

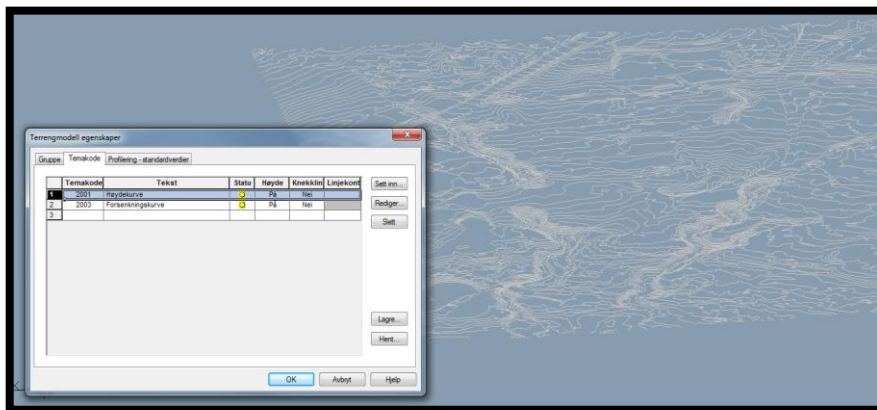
Programmet regner ut en vannlinje ved bruk av St. Venants ligning. I Mike Urban benyttes samme regnemotor som i HEC-RAS når vanndybden blir over en terskelverdi. HEC-RAS er benyttet for å etterprøve vannlinjeberegningen i kanalene/bekkene. HEC-RAS krever ruhet og initialbetingelser som vannføring eller vanndybde ved normalstrømning. Simuleringen kan kjøres som "unsteady flow" / varierende vannføring. Ved å legge inn terskler og flaskehalsar blir det lettere å finne kritisk kanaldybde slik at oversvømmelse ikke oppstår.

5.4.KARTMANIPULERING



FIGUR 5-1 SOSI FIL VEG OG TERRENG

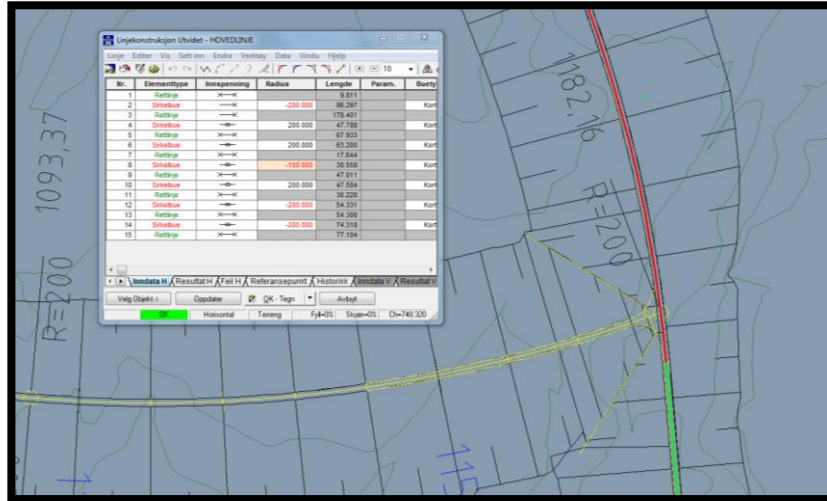
For oppgaven benyttes fire manipulerte terrengdata og dagens terrengdata som er gjengitt på Figur 5-1 SOSI fil veg og terreng. Trondheim kommunes kartgrunnlag har jeg fått i SOSI format. Kartet er importert inn i Autodesk Civil 3D med Novapoint "veg utvidet"-modul der hvor terrenget er lagt inn i Quadri, vist på Figur 5-2 Temakode i terrengmodell. Denne



FIGUR 5-2 TEMAKODE I TERRENGMODELL

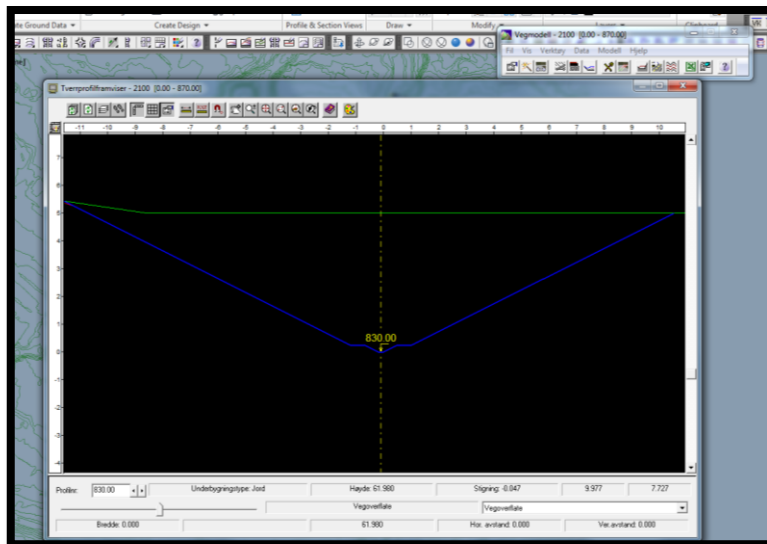
programpakken er mye benyttet i prosjektering. Den er elegant for å konstruere linjer i 3 dimensjoner, og gir utslag fra senterlinje til terrenglinje. Denne kombinasjonen benyttes for å lage veitverrsnitt og er godt egnet for grøftetverrsnitt.

Jeg har benyttet veilinjer, avgrensingslinjer (break) og modifisert veistandard H1 for å gjenskape bekker, grøfter, basseng av ulike typer vist på Figur 5-3 Veilinjer og kurvatur. Grøftene er dermed blitt glattet ut og bassengene er skapt ved å lage lavbrekk og høybrekk med korte vertikale radier.



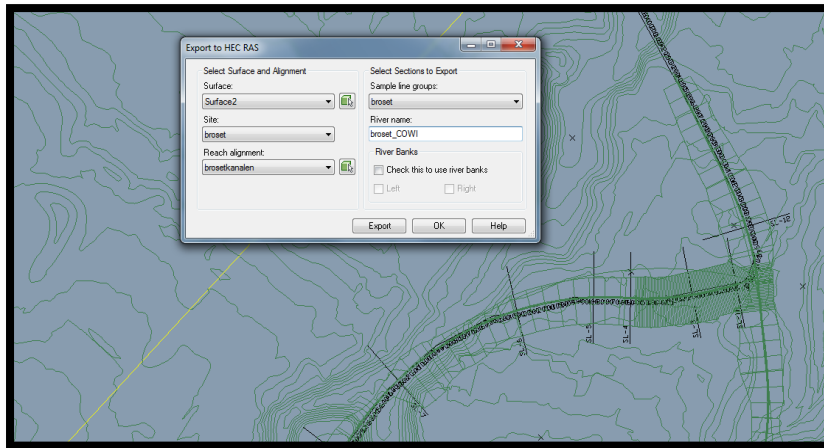
FIGUR 5-3 VEILINJER OG KURVATUR

Fra senterlinje velges det andre verdier på flatene enn H1 vei. Helling og bredde mellom linjene er kortere og laveste punkt er senterlinjen. Vanlig veibygging vil gi senterlinjen som høyeste punkt innenfor en eventuell skjæring.



FIGUR 5-4 TVERRPROFIL, GRØNN LINJE ER EKSISTERENDE TERRENG.

Tverrprofilen er gitt ved uten bunnbredde, men helning 1:0,5 fra senterlinje i avstand 0,5m opp til et platå med bredde 0,5m. Videre til terreng er helning 1:0,5 benyttet, se Figur 5-4 Tverrprofil, grønn linje er eksisterende terreng. Dette bidrar til lavvannsføring og samtidig gir et betydelig økt tverrsnitt ved flom. Traubunn er laget i trådmodellen og benyttet som element med prioritet 1.



FIGUR 5-5 ALIGNMENT OG SAMPLELINES FOR HEC-RAS

Terrenget er så tilordnet som "surface" der hvor jeg tok ut "alignment" og "sample lines" som vist på Figur 5-5 Alignment og samplelines for HEC-RAS. Terrenget er så eksportert til Digital Elevation Model (.dem) og SOSI fil. SOSI-Shape 3.0 er benyttet til konvertering til shapefiler. Gjennom å koble Mike Urban til ArcGIS connection kan da shapefilene og demfilene leses inn. Ruhet (Manningstall) ordnes i et eget format og gjøres med Excel.

6. DRØFTING

Oppgaven skal avklare om sommer eller vinter er dimensjonerende for Brøset. For min oppgave er det de største gjentakintervallene som er relevante. Brøsets jordmonn er uegnet for overflateinfiltrasjon, og bidrar lite til volumhåndtering. I konservativ dimensjonering kan den settes til null, både ved nedbørstilfeller om sommeren og vinteren. Dyp infiltrasjon er et alternativ på Brøset. Det foreligger usikkerhet om det finnes tilstrekkelig gode akviferer og hvor dypt disse ligger. Tidligere sonderboringer (29) (30) (31) (32) har vist et mektig leirelag. Dypere undersøkelser (>20 meter) kan gi nye muligheter.

Når Brøset blir bygget ut vil en se stor grad av fordrøyning i anlegget gjennom de grønne tiltakene. I konservativ dimensjonering kan en ikke ta med disse bidragene siden bidragene er små ved hyppige regnhendelser. Hvis all nedbøren kan avledes som sigevann ville vi ikke hatt flomskader. I blågrønne tiltak er det et mål å omgjøre så mye av vannet som mulig til sigevann, sammenlignet med konvensjonelle rørsystemer.

På Risvolla nedbørsfelt er det mulig å ta utgangspunkt i en avrenningskoeffisient på 0,3 med mildvær og denne øker til 0,5 i kuldeperioder. Dette er gjennomsnittstall for nedbørshendelser på høsten 2011 og vinter (uker med gjennomsnittstemperatur er lavere enn 0 grader celsius) 2010, 2009 og 2008. Jeg har da neglisjert baseflow / lavvannsføring og kun sammenlignet volum for nedbør og avrenning.

Denne grove korte analysen viser en trend som stemmer overens med kommunens VA-Norm (20). Jon Brandt skrev prosjektoppgave om Risvolla og fant av avrenningen om vinteren er dobbelt så stor som om sommeren (33). For Brøset er denne trenden trolig lik da feltet har tilsvarende egenskaper som Risvolla nedslagsfelt, med unntak av større helning på deler av Risvollafeltet.

6.1.SOMMER ELLER VINTERSITUASJON?

Nedbør om vinteren og sommeren har ført til store flommer i Trondheim tidligere. Tiltak mot flom er trolig forskjellig for årstidene; sommerregn gir høy vannføring (stor spissbelastning), mens det virker som vinterregn blir demmet opp som følge av tette vannveier. Andres erfaring tilsier at vintersituasjon er et driftsproblem med sedimenter, isfylte innløp og hindringer i flomveien (brøytekanter). Trolig påkrever det kommunen en brøyteplan, beredskapsplan og tiltak ved værromslag. Spissbelastningen (vannføringen) er bedre håndtert i grønne desentraliserte tiltak (beplantet tak) enn konvensjonelle sentraliserte tiltak (sandfang). Dette blant annet fordi flere av de grønne tiltakene utnytter oppfuktig/ evne til å holde på vann. Uttørking kan være i 1 døgn for intensive tak og infiltrasjonsløsninger. Ved to regnhendelser i kort tidsrom vil avrenningen for den andre hendelsen kunne være uforminsket. Ved skadeforhindring er det trolig urimelig at overflaten er tørr. De to siste leddene forsink/fordrøy og trygg avledning er da igjen.

Ved sørpeskred og massiv snøsmelting vil det skapes flom på Brøset; stort volum og / eller tette vannveier. Begge tilfellene er vanskelige å modellere på noe annen måte enn slik sommeravrenning modelleres (34). Initialt tap settes til 0, høye avrenningskoeffisienter og snødybden regnes om til ekvivalent nedbør. Bernt Viggo Matheussen (35) skriver i sin doktorgrad om menneskelig påvirkning på vinteravrenningen. Han viser blant annet til undersøkelse i Trondheim (36) der $\frac{7}{12}$ største flomhendelser var om vinteren. Videre vises

det til at spissbelastning om vinteren er minst like høy som om sommeren i kaldt klima dokumentert i Sverige, Kanada og nordlige USA (37), (38) og (39).

6.2.SIMULERING

Jeg har ikke fullført simulering av de ulike arkitektforslagene slik at en sammenligning ikke kan trekkes enda. Men med de forutsetningene som legges inn i konservativ dimensjonering er forskjellene trolig små mellom forslagene. I HEC-RAS ble det tydelig at bekketverrsnittene er for små for å unngå oversvømmelse. Jeg har ikke funnet minimumstverrsnittet enda. Simulering av forslagene er etterprøvbart så lenge den samme erfaringstallene er tilgjengelige. Det er her problemet oppstår fordi et slikt system utløser en rekke antagelser som både gir feil, reduserer oversikt i systemet og er i så stort antall at systemet trolig preges av antagelsene.

6.3.DATAKVALITETEN

Nedbørsdatakvaliteten er høy for Brøset bydel. Kortidsnedbør har vært logget siden slutten på 1980. På Risvollan har det vært anledning til korttidsmåling gjennom året. Rundt Trondheim by står det flere kortsnedbørsmålere så Brøset kan kalibreres på høyde, plassering i byen og gjennom året. Dette skyldes NTNU, NVE og metrologisk institutt som alle har lagt ned arbeid i å holde høy urbanhydrologisk kvalitet på systemet. Terrengdatakvaliteten er godt. Oppløsningen er på 10 cm koter i SOSI filene, og jeg fant ikke punkt med betydelig avvik, såkalte "sinks". Området får en ny overflate med utbyggingen og da endres vannveiene. Det er ikke mulig å skissere vannveier på forslagene i arkitektkonkurransen da høyder ikke er oppgitt.

6.4.VEIEN VIDERE

Kommunen må bestemme hvor mye vann som får bli videreført. Dette bestemmes av kapasitet på nedstrøms område og hvilke endringer en kan forvente oppstrøms. Brøset er langt opp i nedslagsfeltet, men det er en diskusjon om mer vann skal ledes inn i nedslagsfeltet slik at bekkene på Brøset kan få en høyere minstevannsføring. Bekkeløp med dammer/våtmarker kunne gitt fordrøyning hvis de hadde begrensning på utløpet. Ifølge arkitektforslagene er alle tersklene etablert med frispelsoverløp og et slik overløp har ikke begrensning. COWI har justerbare terskler uten at de har opplyst laveste regulerte vannstand (LRV) og høyeste regulerte vannstand (HRV). Det er uklart om vintersituasjonen lar seg simulere. Stort spørsmål er jo om dette i det hele tatt er relevant hvis driftsforhold styrer funksjonen til systemet?

Arkitektforslagene har en tydelig trend med $\frac{3}{4}$ forslag vil ikke ha kjellere på Brøset. Kanskje dette er et kjennetegn på fremtiden bydel? Jeg håper "Grønn overflatefaktor" vektlegges og retningslinjene for beregningen blir noe mer tydelig. Det er en klar sammenheng mellom avrenningskoeffisienter og GOF.

7. KONKLUSJON

Jeg finner ikke grunnlag for å dimensjonere noe annerledes for vinter enn sommerforhold. Det er derimot et stort beredskapsbehov og vedlikeholdsbehov for systemene om vinteren. Grønne tiltak får dårlig uttelling i skadeflomsituasjoner hvis det ikke benyttes fordrøyning av noen form. Økt tilrenningstid er viktig og reduserer belastningen nedstrøms. Grønn overflatefaktor, gjentaksintervall, form på hyetogram, frost og fuktinnhold i bakken gir utslag i avrenningskoeffisientene. For nedbørshendelser med høyt gjentaksintervall vil avrenningskoeffisienten trolig være høyere enn 0,5. Fra Vegvesenets håndbok 018 vil regn på frosset og islagt område og vannmettet grunn kan gi avrenning som for "bart fjell". Bart fjell er angitt med avrenningskoeffisienten fra 0,6 til 0,9 (40).

8. BIBLIOGRAFI

1. **Byplankontoret.** *Planprogram Brøset- En klimanøytral bydel.* Trondheim : Trondheim kommune, 2010.
2. **Gansmo, Helen Jøsok, Larssæther, Stig og Thomsen, Judith.** *På vei til Brøset – evaluering av det åpne parallelle oppdraget.* Trondheim : NTNU IBPF, 2011.
3. **Lindholm, Oddvar, et al.** *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering.* Oslo : Norsk Vann, 2008. 162.
4. **Noreide, Terje.** *Lokal håndtering av overvann i byer og tettsteder.* Oslo : Byggforsk, 1996. 208.
5. **Departementenes servicesenter.** Offentlig portal for Fremtidens byer. *Regjeringens portal.* [Internett] Departementenes servicesenter, 5 Februar 2009. [Sisert: 20 November 2011.] <http://www.regjeringen.no/nb/sub/framtidsbyer/forside.html?id=551422>.
6. **Osnes, H. N.** *Ei norsk bygd gjennom 4-5 tusen år.* Trondheim : F. Bruns bokhandels forlag, 1953.
7. **Forening, Rådgivende Ingeniørers.** *State of the Nation.* Oslo : RIF, 2010.
8. **Byplankontoret.** *Grønn overflatefaktor (GOF).* Trondheim : Trondheim kommune, 2010.
9. **Bentsen, Ingrid og Smits, John.** *Meteorologi, Norge, 14. til 17. august i 2011.* Metrologisk institutt, Oslo : 2011.
10. **Geofysisk institutt.** *Nedbørtyper. metskole.* [Internett] Geofysisk institutt UiB, 01 januar 2004. [Sisert: 04 november 2011.] http://metskole.gfi.uib.no/site/bm/5-7klasse/skyer_nedbor/sky_nedb3.html.
11. **Fagansvarlig snøskred.** *Sørpeskred - vårfenomen med store konsekvenser.* *NGI - snoskred.no.* [Internett] NGI, 18 mai 2010. [Sisert: 4 november 2011.] <http://www.ngi.no/no/snoskred/Nyheter/Arkiv-2009102/34472/>.
12. **Electron Microscopy Unit.** *Electron Microscopy Unit Snow Page. Beltsville Agricultural Research Center.* [Online] USDA BARC, oktober 1, 2008. [Cited: november 4, 2011.] <http://emu.arsusda.gov/snowsight/comparison/comp2.html>.
13. **NGI Fagansvarlig Snøskred, Naturskade.** *Sørpesked, den «ukjente» skredtypen.* *NGI Nyhetsarkiv.* [Internett] NGI, 27 februar 2008. [Sisert: 4 november 2011.] <http://www.ngi.no/no/Arkiv/Aktualiteter---ARKIV/Sorpesked-den-ukjente-skredtypen/>.
14. **Lied, Karstein og Kristensen, Krister.** *Snøskred- Håndboken om snøskred.* Høvik : Forlaget Vett & Viten AS, 2003. 8241205686.
15. **NGI.** *Orientering om snøskred. Nasjonal Skreddatabase.* [Internett] Norges Geotekniske Institutt, 01 januar 2005. [Sisert: 4 november 2011.] <http://www.ngu.no/FileArchive/91/snoskred.pdf>.
16. **Kane, D. L.** *Snowmelt infiltration into seasonally frozen soils. Elsevier SPC - Cold Regions Science and Technology.* s. 153-161, 1980, 3.

17. **Braskerud, Bent.** *Blå-grønne byer, et nasjonalt nettverk med nordiske forankringer.* Svartediket, Bergen : Norsk Vannforening, 2011.
18. **Östberg, Johan, et al.** *Förebyggande av rötrinrängningar i VA-ledningar.* Stockholm : Svenskt Vatten Utveckling, 2004. 2010-04.
19. **Kristoffersen, Hans Vebjørn.** *“Analyse av overvannssystem. Forus Næringspark-kapasitet, sikkerhet og sårbarhet”.* Trondheim : NTNU, 2010.
20. **Trondheim kommune, VA-norm.** *Beregning av overvannsmengder.* [va-norm.no] Trondheim : Avdeling for kommunalteknikk, 2011.
21. **Store norske leksikon.** Sige vann. [Internett] Store norske leksikon, 14 Februar 2009. [Sisert: 12 Desember 2011.] <http://snl.no/sigevann>.
22. **Frimodt, Karl-Ossian.** *Användarvänlighet hos programverktyg för beräkningar av flöden och dämningnivåer i avloppsnäten jämförelse av SWMM, PCSWMM, Mike Urban och SewerGEMS.* Uppsala : Department of Earth Sciences, Air-, Water- & Landscape Science, Uppsala University, 2008. ISSN 1401-5765.
23. **Standard, Norge.** *Utvendige stikklednings- og hovedledningssystemer.* Oslo : Standard Norge, 2008. NS-EN 752:2008.
24. **Norsk VA-norm.** Transportsystem - overvann, Generelle bestemmelser . *Trondheim.* [Internett] Norsk Vann, 01 Januar 2011. [Sisert: 10 November 2011.] <http://va-norm.no/VA-norm/Generelle-bestemmelser/7-Transportsystem-overvann/7.0-Generelle-bestemmelser>.
25. **Endresen, Svein.** *Åpne Flomveier.* Drammen : Stiftelsen VA/Miljø-blad, 2009. 93.
26. **Kathrine Hammerstad.** Blågrønn snø kan være livsfarlig. *VG Nett.* [Internett] VG Multimedia AS, 20 Mai 2010. [Sisert: 1 November 2011.] <http://www.vg.no/nyheter/innenriks/artikkel.php?artid=10006811>.
27. **NGI, Naturskade .** Sørpeskred - vårfenomen med store konsekvenser. *snoskred.no.* [Internett] NGI, 22 Mars 2011. [Sisert: 1 November 2011.] <http://www.ngi.no/no/snoskred/Nyheter/Sorpeskred---varfenomen-med-store-konsekvenser/>.
28. **Bäckström, Magnus.** *Grassed Swales for Urban Storm Drainage.* Luleå : Luleå Tekniska Universitet, 2002. 1420-1544.
29. **Teknisk seksjon.** *Brøsetdalen, grunnundersøkelser og datarapport.* Trondheim : Utbygningkontoret i Trondheim kommune, 1997. R.1002.
30. **Geoteknisk faggruppe.** *Brøset Barnehage - Granåsveien, datarapport.* Trondheim : Trondheim kommune Byteknikk, 2007. R.1349.
31. —. *Brøsetvegen- Styrt boring.* Trondheim : Trondheim kommune Stabsenheten for Byutvikling, 2009. R.1450.
32. **Geoteknikk.** *Brøsetdalen.* Trondheim : Trondheim kommune Byteknikk, 2004. R.1002-2.
33. **Brandt, Jon og Torgersen, G.** *Snøsmelting i urbane strøk.* Trondheim : NTH, 1994.

34. **Technical Council on Cold Regions Engineering Monograph.** *Cold Regions Hydrology and Hydraulics.* New York : American Society of Civil Engineers, 1990. 0-87262-773-X.
35. **Matheussen, Bernt Viggo.** *Effects of anthropogenic activities on snow distribution, and melt in an urban environment.* Trondheim : NTNU, 2004.
36. **Nilssen, O og Bjørgum, F.** *Problems and challenges in storm water runoff for the city of Trondheim - new challenges.* Gardermoen : Norsk Hydrologiråd, NORVAR, 2001.
37. **Marsalek, Juri.** *Urban drainage in cold climate: Problems, solutions and research needs.* Dubrovnik : Elsevier Applied Science, 1991.
38. *Urban snowmelt and runoff in northern Sweden.* **Bengtsson, L and Westerström, G. 3,** Oxfordshire : Hydrological Sciences Journal, 1992, Vol. 37.
39. *Influence of snowmelt dynamics on stormwater runoff quality.* **Oberts, G L. 2,** Silver Spring : Watershed Protection Techniques, 1994, Vol. 1.
40. **Statens Vegvesen.** *Veibygging.* Oslo : Statens Vegvesen, 2011. HB018.
41. Offentlig protal for Fremtidens byer. *Regjeringens portal.* [Internett] Departementenes servicesenter, 5 februar 2009. [Siter: 20 november 2011.] [http://www.regjeringen.no/nb/sub/framtidsbyer/forside.html?id=551422.](http://www.regjeringen.no/nb/sub/framtidsbyer/forside.html?id=551422)

9. TABELLOVERSIKT

Tabell 1 Grønn overflate faktor	12
Tabell 2 Infiltrasjonsdybde frossen jord	17
Tabell 3 Avrenningskoeffisienter, TRD VA-Norm.....	19
Tabell 4 Sammenheng mellom tilført og avtappet,	21
Tabell 5 Gjentakintervall	21

10. FIGUROVERSIKT

Figur 3-1 Team Asplan.....	8
Figur 3-2 Team Code.....	9
Figur 3-3 Team Cowi.....	10
Figur 3-4 Team SLA	11
4-1 Lavtrykksfronten stoppes og mye nedbør frigis. Høytrykket nord for Bottenvika er stabilt, 15. august.....	13
4-2 Varm vind fra Øst-Europa, 14. august. Lavtrykksfronten antas å passere over Midt-Norge i løpet av noen timer.	13
4-3 Lavtrykksfronten er tømt for fuktighet, 16. august.....	13
4-4 Nytt høytrykk flytter høytrykket bort fra Barentshavet, 17. august.	13
Figur 4-5 Konvektiv.....	14
Figur 4-6 Stratiform.....	14
Figur 4-7 Orografisk.....	14
Figur 4-8 Begerkrystall.....	14
Figur 4-9 Skjematisk sørpeskred.....	15
Figur 4-10 Stahres inndeling	16

Figur 4-11 Treleddsstrategi.....	20
Figur 5-1 SOSI fil veg og terreng.....	24
Figur 5-2 Temakode i terrengmodell.....	24
Figur 5-3 Veilinjer og kurvatur	25
Figur 5-4 Tverrprofil, grønn linje er eksisterende terreng.....	25
Figur 5-5 Alignment og samplelines for HEC-RAS	26