

# Modellering av avrenningsreduserende tiltak i Trones-feltet, Sandnes

**Trygve Alexander Lende**

Bygg- og miljøteknikk (2 årig)

Innlevert: juni 2013

Hovedveileder: Sveinung Sæggrov, IVM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for vann- og miljøteknikk



## **Forord**

Denne masteroppgaven (TVM4905 VA-teknikk) er utført ved Institutt for vann- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Oppgaven er utarbeidet våren 2013 og utgjør 30 studiepoeng.

Hensikten med oppgaven har vært å modellere og se på effekten av avrenningsreducerende tiltak i Trones-feltet, Sandnes. Modelleringsprosessen ble gjort ved hjelp av programvaren Mike Urban. Jeg hadde ingen kunnskaper om programvaren før oppgavens start, noe som førte til at mye av arbeidet med oppgaven gikk med til modellarbeid og simuleringer.

Opgavens tema og problemstilling ble valgt basert på min interesse for å jobbe med overvannsrelaterte problemstillinger. I tillegg fikk jeg muligheten til å lære meg Mike Urban, noe jeg forhåpentligvis kan benytte meg av videre i arbeidslivet.

Arbeidet med oppgaven har vært interessant og lærerikt, men også til tider utfordrende og frustrerende. Jeg har fått benyttet meg av ting jeg tidligere har lært i studiet mitt og i tillegg har jeg tilegnet meg ny kunnskap gjennom dette siste semesteret.

Først og fremst vil jeg rette en stor takk til min hovedveileder, professor Sveinung Sægrov. Sægrov har bidratt med gode råd, faglig støtte og konstruktive tilbakemeldinger gjennom en jevnlig oppfølging av arbeidet mitt. I tillegg vil jeg rette en stor takk til Kirsten Vike i Sandnes kommune. Uten hennes hjelp ville oppgaven vært vanskelig å gjennomføre. Takk til Thomas Eidsmo på vegne av DHI for anskaffelse av programvare. Takk til førsteamanuensis Tone Merete Muthanna for gode råd og veiledning i Mike Urban. I tillegg vil jeg takke Odd Arne Vagle i Sandnes kommune og Ole Petter Skallebakke i Fredrikstad kommune for gode råd og samarbeidsvilje.

Trondheim, juni 2013

**Trygve Alexander Lende**



## Sammendrag

Som følge av klimaendringer, urbanisering og økning i andelen tette flater forventer man at Sandnes sentrum vil oppleve oversvømmelser i framtiden. Det er derfor ønskelig å se på mulige avrenningsreducerende tiltak i Trones-feltet; et felt som ligger like oppstrøms Sandnes sentrum. Overvannet fra dette feltet er koblet sammen med sentrumsnettets via to overløp. Trones-feltet er et forholdsvis grønt felt som stort sett består av private eiendommer. For å simulere effektene av de ulike tiltakene ble det hydrologisk/hydrauliske modellverktøyet Mike Urban benyttet.

Det eksisterte ikke noen modell av Trones-feltet på forhånd, så oppgavens første fase gikk med til å lage denne. Selv om dette viste seg å være en krevende prosess, ble resultatet en fullt brukbar modell med noen svakheter. Blant annet kan det nevnes at modellen ikke er kalibrert og verifisert. Prosessen med å bygge modellen er beskrevet i oppgaven og kan benyttes som en generell framgangsmåte for andre i samme situasjon.

For å ta hensyn til framtidige klimaendringer ble det benyttet konstruerte dimensjonerende nedbørshendelser med klimatillegg. Alle tiltak ble simulert med 20-års hendelser med klimatillegg på 20 % og 60 %.

Dagens situasjon i feltet ved disse 20-års hendelsene viste store mengder generert overvann og høy overløpsdrift. Fra et 20-års regn med klimafaktor 1,2 genereres en flomtopp på 941 l/s og en total overløpsmengde på 85,10 m<sup>3</sup>. Total vannmengde ut av feltet de to mest intensive timene er på 1482,78 m<sup>3</sup>.

Tiltakene som foreslås i oppgaven er frakobling av takvann og/eller å benytte Gisketjern, et eksisterende tjern i feltet, som et fordrøyningsmagasin. Begge tiltakene ses på som realistiske og gjennomførbare.

Frakobling av 100 % av takflatene i feltet kan ved et 20-års regn med klimafaktor 1,2 gi en flomtoppreduksjon på 61,6 % og samtidig føre til at overløpsdriften forsvinner helt. I tillegg kan de totale vannmengdene som strømmer ut av feltet i de to mest intensive timene reduseres med 63,7 %. Frakobling av samtlige takflater er nok ikke helt realistisk, så det er også utarbeidet verdier for scenarioer med 20 % og 50 % frakobling. Også disse scenarioene viser gode resultater.

Simuleringene av tilkobling til Gisketjern viser at vi også med dette tiltaket kan oppnå bra resultater. 32,1 % reduksjon av vannmengdene i de to mest intense timene, 9,1 % reduksjon av flomtopp og en overløpsmengde som reduseres med 44,7 % vitner om et godt potensiale.

I tillegg til analysen av tiltakene ble det også gjennomført en analyse av forregnets betydning for resultatene. Mike Urbans RDII-modul gjør at programvaren kan beregne avrenningen ved å ta hensyn til tidligere nedbørshendelser og fuktighet i grunnen. Det ble laget 3 forskjellige tidsserier hvor et 20-års regn ble supplert med 3 ulike forregn. Den gjennomgående tendensen var at et større forregn gav tidligere og mer avrenning, noe som intuitivt høres riktig ut. De ulike forregnene hadde likevel ikke så stor innvirkning på flomtoppene som man kanskje hadde ventet.

## Abstract

As a result of climate changes, urbanization and an increase in the percentage of impervious surfaces, it is anticipated that the center of Sandnes will experience flooding in the future. Therefore it is desirable to look at potential runoff reducing measures in Trones; an area located just upstream the center of Sandnes. Two overflows connect the storm water from this area with the pipe network in the center area. Trones is a relatively green area consisting mainly of private properties. To simulate the effects of the various measures, the hydrological/hydraulic modeling tool Mike Urban was used.

Originally there was no existing model of Trones, so the first phase of the thesis went by while creating this model. Although this proved to be a demanding process, the result is a fully useful model with some weaknesses. For example, it may be noted that the model isn't calibrated and verified. The process of building the model is described in the thesis and may be used as a general method by others in the same situation.

In order to take future climate changes into account, design rainfall events with climate additions were used. All measures were simulated using 20-year events with climate additions of 20 % and 60 %.

The current situation in the area during the 20-year events showed large amounts of generated storm water and a highly operating overflow. A 20-year event with a climate factor of 1,2 generated a peak flow of 941 l/s and a total overflow volume of 85,10 m<sup>3</sup>. The total volume of water leaving the area during the two most intensive hours is 1482,78 m<sup>3</sup>.

The measures proposed in the thesis are disconnection of roof water and/or using Gisketjern, an existing pond in the area, as a detention facility. Both measures are seen as realistic and feasible.

Disconnection of 100 % of the roof surfaces can be expected, under a 20-year rainfall with a climate factor of 1,2, to provide a peak flow reduction of 61,6 %, leading to full removal of the overflow operation. Additionally the total volume of water leaving the area during the two most intense hours is reduced by 63,7 %. Disconnection of all roof surfaces is probably not a realistic scenario. Therefore it is also produced values for scenarios with 20 % and 50 % disconnection, which also show good results.

The simulations of connecting some of the storm water network to Gisketjern show that also this measure can achieve good results. 32,1 % reduction of the total volume during the two

most intense hours, 9,1 % reduction of the peak flow, and overflow amounts reduced by 44, 7 % demonstrates the good potential.

In addition to analyzing the measures, also an analysis of how the previous rainfall events affect the results was conducted. Mike Urban has a RDII-module which allows the software to calculate the runoff by taking previous rainfall events and the moisture in the ground into account. 3 different time series, in which a 20-year event was supplemented with 3 different previous rainfall amounts, were made. The general trend was that a larger previous rainfall event led to earlier and more runoff, which intuitively sounds right. Still, the various previous rainfall events didn't have as large impact on the peak flows as one might have expected.



# Innhold

1.	Innledning.....	1
1.1.	Bakgrunn .....	1
1.2.	Oppgavens formål.....	1
1.3.	Oppgavestruktur .....	2
2.	Teori og litteratur .....	3
2.1.	Klima .....	3
2.1.1.	Klima i Norge.....	3
2.1.2.	Lokalt klima .....	3
2.2.	Klimaendringer.....	3
2.2.1.	Klimaendringer til nå .....	4
2.2.2.	Klimaendringer i framtiden.....	4
2.2.3.	Klimaendringenes betydning for VA-systemene .....	5
2.3.	Bærekraftig overvannshåndtering.....	8
2.3.1.	Urbanisering – mer avrenning.....	8
2.3.2.	Fra tradisjonell til bærekraftig håndtering.....	9
2.3.3.	Norsk Vanns treleddsstrategi .....	12
2.4.	Mike Urban.....	14
2.4.1.	Generelt .....	14
2.4.2.	Modellering med MOUSE .....	15
2.5.	MOUSE-moduler.....	16
2.5.1.	MOUSE – Pipe Flow.....	16
2.5.2.	MOUSE – Runoff.....	17
2.5.3.	MOUSE – RDII.....	19
3.	Presentasjon av caseområdet.....	21
3.1.	Sandnes.....	21
3.2.	Trones-feltet.....	21

3.2.1.	Topografi og grunnforhold.....	24
3.2.2.	Avløpsnett i Trones-feltet.....	24
3.3.	Mike Urban Avløpsmodell .....	28
4.	Metode.....	29
4.1.	Nedbør .....	29
4.1.1.	Dimensjonerende nedbørsmengder .....	30
4.1.2.	Klimafaktor .....	30
4.1.3.	Syntetiske og symmetriske hyetogrammer .....	30
4.1.4.	Konstruksjon av symmetriske hyetogrammer.....	31
4.1.5.	Nedbørsscenarioer .....	33
4.2.	Infiltrasjonsmålinger.....	36
4.2.1.	Modified Philip-Dunne Infiltrimeter .....	36
4.2.2.	Hydraulisk konduktivitet.....	38
4.3.	Tiltak for å redusere avrenningen i Trones-feltet .....	39
4.3.1.	Tiltak 1: Frakobling av takvann .....	39
4.3.2.	Tiltak 2: Benytte Gisketjern til fordrøyning.....	41
5.	Resultater og diskusjon .....	42
5.1.	Bygging av modell i Mike Urban .....	42
5.1.1.	Bakgrunn .....	42
5.1.2.	Modellering av Trones-feltet.....	42
5.2.	Generelt om simuleringene i Mike Urban .....	49
5.3.	Analyse av vannføring og overløpsdrift .....	51
5.3.1.	Dagens situasjon.....	51
5.3.2.	Tiltak 1 – Frakobling av takvann .....	53
5.3.3.	Tiltak 2 – Fordrøyning i Gisketjern.....	57
5.3.4.	Oppsummering av analyse av vannføring og overløpsdrift .....	62
5.3.5.	Illustrasjon av RDII-avrenningen.....	65

5.4.	Analyse av forregnets betydning for avrenningen.....	67
5.5.	Sammenligning med den rasjonelle metode .....	71
6.	Vurderinger og diskusjon .....	73
6.1.	Modellen.....	73
6.2.	Tiltakene .....	74
6.2.1.	Tiltak 1 – Frakobling av takvann .....	74
6.2.2.	Tiltak 2 – Fordrøyning i Gisketjern.....	75
6.2.3.	Andre tiltak.....	75
6.3.	Resultatene.....	76
7.	Konklusjon .....	78
8.	Forslag til videre arbeid.....	79
	Referanser.....	80
	Vedlegg A – Vannføring ved forskjellige forregn .....	83
	Vedlegg B – Endring i vannføring ved ulike tiltak med forskjellige forregn .....	86
	Vedlegg C – Beregninger fra sammenligning av Mike Urban og den rasjonelle metode.....	91

## Figurer

Figur 1: Effekt av klimaendringer på nedbørintensiteter, frekvenser og gjentakintervall (Lindholm et al., 2008).....	6
Figur 2: Urbaniseringens påvirkning på avrenningen. Avrenning som funksjon av tid (Paus, 2012).....	8
Figur 3: Avrenningssituasjon før og etter utbygging, ved tradisjonell overvannshåndtering (Fredrikstad-kommune, 2007).....	9
Figur 4: Fra konvensjonelt overvannssystem til åpen og lokal overvannshåndtering (Lindholm et al., 2008, omarbeidet av Paus, 2012). ....	10
Figur 5: Kategorisering av metoder for åpen overvannshåndtering (Stahre 2006).....	11
Figur 6: Norsk Vanns treleddsstrategi for håndtering av nedbør. Tallene er eksempler og må tilpasses lokalt (Lindholm et al., 2008). ....	12
Figur 7: Modulstruktur i Mike Urban (DHI, 2011).....	14
Figur 8: Informasjonsflyten i avløpsmodelleringen i MOUSE (DHI, 2012a). ....	15
Figur 9: Forhåndsdefinerte tid/areal-kurver som finnes i MOUSE (DHI, 2012e). ....	18
Figur 10: Eksempel som viser effekten av lav og høy jordfuktighet på den genererte avrenningshydrografen (DHI, 2012c). ....	19
Figur 11: Modellstruktur for RDII-modulen (DHI, 2012c). ....	20
Figur 12: Lokalisering av Trones-feltet (illustrasjon basert på kartdata fra statkart.no).....	22
Figur 13: Øvre del av Trones-feltet (skråfoto fra sandnes.kommune.no).....	23
Figur 14: Satellittbilde over Trones-feltet (Google Maps).....	23
Figur 15: Lengdeprofil gjennom Trones-feltet på langs (statkart.no).....	24
Figur 16: Oversikt over Trones-feltet med tilknyttede elementer (kart fra Mike Urban, omarbeidet i Paint). ....	25
Figur 17: Overløpet i krysset Eidsvollgata - Erling Skjalgsons gate. 1: Spillvannsledningen fra Trones som også har et overløp i kummen. 2: 800 mm overvannsledning som kommer fra Trones. 3: 300 mm overløpsledning som frakter vannet ned Erling Skjalgsons gate og videre gjennom sentrum. Som vi ser er det bare slått hull på den store overvannsledningen, så når denne går full renner vannet over i den 300 mm store ledningen som da er selve overløpet (Foto: T. A. Lende). ....	26
Figur 18: Overløp. Nederste ledning er en strupet fellesledning. Øverste ledning frakter overløpsvannet til overvannsnettet. (Her trengs det spyling!) (Foto: T. A. Lende).....	27
Figur 19: Fotografier av Gisketjern, april 2013 (Foto: T. A. Lende).....	28

Figur 20: IVF-kurve fra Sandnes-Rovik målestasjon (eKlima).	29
Figur 21: Symmetrisk hyetogram med en varighet på 60 min og en returperiode på 20 år.	33
Figur 22: Hyetogram for et 20-års regn med klimafaktor 1,2.	33
Figur 23: Hyetogram for et 20-års regn med klimafaktor 1,6.	34
Figur 24: MPD infiltrrometer fra måling i Sandnes. Notatblokk og stoppeklokke er på plass (Foto: T. A. Lende).	36
Figur 25: Flere MPD'er (5 stk.) i bruk samtidig. 4 vises på bildet, mens nr. 5 står utenfor høyre bildekant (Foto: T. A. Lende).	37
Figur 26: Brosjyre for veiledning om frakobling av taknedløp (Fredrikstad kommune).	40
Figur 27: På bildet til venstre er den opprinnelige modellen. Til høyre ses modellen etter importering av Trones-feltet fra Gemini VA (Skjerm bilde fra Mike Urban).	43
Figur 28: Spillvannsmønsteret som ligger til grunn for spillvannsberegningene i fellessystemene (skjerm bilde fra modellen).	47
Figur 29: Ferdig modell, Sandnes sentrum inkludert Trones-feltet (Skjerm bilder fra Mike Urban).	48
Figur 30: Betrakningspunkt for simuleringene i Mike Urban. Den røde streken er ledningen mens den turkise er overløpet.	49
Figur 31: Vannføring fra Trones-feltet ved 20-års regn med klimafaktor. Dagens situasjon.	51
Figur 32: Vannføring som går i overløp ved 20-års regn med klimafaktor. Dagens situasjon.	52
Figur 33: Vannføring ved (%) frakobling av takflater. 20-års regn med klimafaktor 1,2.	53
Figur 34: Vannføring ved (%) frakobling av takflater. 20-års regn med klimafaktor 1,6.	54
Figur 35: Overløpsdrift ved (%) frakobling av takflater. 20-års regn med klimafaktor 1,2.	56
Figur 36: Overløpsdrift ved (%) frakobling av takflater. 20-års regn men klimafaktor 1,6.	56
Figur 37: Vannføring ved fordrøyning i Gisketjern. 20-års regn med klimafaktor 1,2.	58
Figur 38: Vannføring ved fordrøyning i Gisketjern. 20-års regn med klimafaktor 1,6.	58
Figur 39: Overløpsdrift ved fordrøyning i Gisketjern. 20-års regn med klimafaktor 1,2.	60
Figur 40: Overløpsdrift ved fordrøyning i Gisketjern. 20-års regn med klimafaktor 1,6.	60
Figur 41: Oppsummerende framstilling av reduksjon av total avrenning fra Trones-feltet ved forskjellige tiltak, i tidsrommet kl.10.00-12.00. 20-års regn med klimafaktor.	63
Figur 42: Oppsummerende framstilling av reduksjon av flomtopp fra Trones-feltet ved forskjellige tiltak. 20-års regn med klimafaktor.	63
Figur 43: Oppsummerende framstilling av reduksjon av overløpsmengder. 20-års regn med klimafaktor.	64
Figur 44: Illustrasjon av RDII-avrenningen. Vannføring 10 timer etter regnstart, kl.22.00.	65

Figur 45: Vannføring ved 100 % frakobling av takvann, med 3 forskjellige forregn. 20-års regn med klimafaktor 1,2. ....	67
Figur 46: Vannføring ved fordrøyning i Gisketjern, med forskjellige forregn. 20-års regn med klimafaktor 1,2. ....	68

## Tabeller

Tabell 1: Nedbørintensiteter for ulike varigheter ved et 20-års regn, hentet fra IVF-kurve. ...	31
Tabell 2: Grunnlag for symmetrisk hyetogram .....	32
Tabell 3: Intensitet (l/s*ha) over tid ved 20-års regn, med og uten klimafaktor.....	34
Tabell 4: Klassifisering av vannmettet hydraulisk konduktivitet.....	38
Tabell 5: Vannmengder og reduksjon av disse i tidsrommet kl.10.00-12.00. 20-års regn. ....	54
Tabell 6: Flomtopper og reduksjon av disse. 20-års regn. ....	55
Tabell 7: Overløpsmengder og reduksjon av disse. 20-års regn. ....	57
Tabell 8: Vannmengde og reduksjon av denne i tidsrommet kl.10.00-12.00. 20-års regn. ....	59
Tabell 9: Flomtopp og reduksjon av denne. 20-års regn.....	59
Tabell 10: Overløpsmengde og reduksjon av denne. 20-års regn. ....	61
Tabell 11: Resultater fra infiltrasjonsmålinger ved Gisketjern. ....	61
Tabell 12: Vannføring 10 timer etter regnstart (kl.22.00) og økningen av denne ved forskjellige tiltak. 20-års regn. ....	66
Tabell 13: Sammenligning av vannmengder og økning av disse ved forskjellige typer tiltak og forskjellige forregn. Vannmengder tatt i tidsrommet kl.10.00-12.00. 20-års regn med klimafaktor 1,2. ....	69
Tabell 14: Vannmengder og reduksjon av disse ved forskjellige typer tiltak og forskjellige forregn. 20-års regn med klimafaktor 1,2. ....	70
Tabell 15: Sammenligning av vannføring fra Mike Urban (MU) og den rasjonelle metode (RM). Klimafaktor i parentes. ....	72

# 1. Innledning

## 1.1. Bakgrunn

Ledningsnett for overvann i nedre del av sentrumsområdet i Sandnes er allerede overbelastet. Forventet økning i avrenningsintensitet som følge av klimaendringer vil etter all sannsynlighet medføre oversvømmelser. For å avlaste dette ledningsnett vil det være interessant å se på mulighetene for å redusere avrenningen fra et oppstrøms beliggende felt kalt Trones-feltet. Dette feltet er knyttet til sentrumssonen bl.a. via to overløp.

En slik studie kan best gjennomføres ved bruk av programvare som Mike Urban. Sandnes kommune bruker denne programvaren ved modellering av sine avløpssystemer og det finnes en etablert modell over Sandnes sentrum. Denne modellen inkluderer ikke Trones-feltet, så dette feltet må bygges opp fra bunnen av i Mike Urban for å kunne benyttes i analysen.

### Spesifisert oppgave:

1. Kandidaten skal sette seg inn i programmet Mike Urban ved hjelp av selvstudie og et øvingsopplegg utviklet av DHI.
2. Den eksisterende modellen for Sandnes sentrum skal utvides, basert på ledningsdata fra Gemini VA, slik at den også omfatter Trones-feltet.
3. Det skal lages en presentasjon av Trones-feltet og tilhørende overvannssystem.
4. Med utgangspunkt i den nye modellen og representative nedbørsdata, korrigert for forventet effekt av klimaendringer, skal avrenningen fra Trones-feltet simuleres.
5. Modellen skal brukes til å simulere avrenningsreducerende tiltak i feltet og hvilken effekt disse vil ha, både på avrenningen generelt og på overløpsdriften.

## 1.2. Oppgavens formål

Formålet med oppgaven er først og fremst å se på hvilke effekter ulike avrenningsreducerende tiltak vil ha på avrenningen fra Trones-feltet. Dette er resultater som forhåpentligvis kan hjelpe Sandnes kommune til å møte framtidige utfordringer som kommer som følge av klimaendringene.

Det er et mål å få bygget opp og etablert en modell over Trones-feltet i Mike Urban, og samtidig få knyttet denne sammen med den eksisterende modellen over Sandnes sentrum.

Den nye modellen vil kunne benyttes av kommunen til simuleringer av andre tiltak i feltet. I tillegg vil den eksisterende modellen over sentrum bli mer nøyaktig som følge av at bidraget fra Trones-feltet nå blir mer nøyaktig beregnet.

Personlig er det et mål å lære seg å bruke Mike Urban. I tillegg er det interessant å kunne sette seg inn i bærekraftig overvannshåndtering og bruke alternative løsninger til å løse overvannsrelaterte problemer.

### **1.3. Oppgavestruktur**

Oppgaven tar først for seg en del teoretisk materiale. Klima og klimaendringer blir gjennomgått før det kommer et kapittel om bærekraftig overvannshåndtering. Deretter følger teori rundt Mike Urban og modulene som ble benyttet i denne oppgaven.

Trones-feltet blir presentert med en beskrivelse av avløpssystemet og feltet generelt.

Etter dette kommer et metode-kapittel hvor ulike framgangsmåter og metoder blir presentert.

Prosessen med å bygge modellen i Mike Urban blir deretter punktvis gjennomgått, før resten av resultatene og en diskusjon presenteres i egne kapitler.

Til slutt kommer konklusjonen, basert på problemstillingen og resultatene.



## 2. Teori og litteratur

### 2.1. Klima

#### 2.1.1. Klima i Norge

Norge ligger på samme breddegrader som Grønland, Alaska og Sibir, noe som gjør at Norge ofte blir forbundet med kulde og nedbør. Selv om beliggenheten tilsier et kaldt og røft klima, kan vi likevel si at klimaet i landet er forholdsvis gunstig. Hovedgrunnen til dette er at vi ligger i vestavindsbeltet på østsiden av et stort havområde. I tillegg har vi en stor, varm og stabil havstrøm like utenfor kysten (Meteorologisk-institutt, 2012b).

Norge er et langstrakt land og strekker seg over 13 breddegrader, noe som gjør at klimaet varierer mye. Også lokalt kan klimaet variere mye over korte avstander som følge av terrenget og topografien.

#### 2.1.2. Lokalt klima

Sandnes ligger i vestlandsfylket Rogaland. Klimaet her kan betegnes som mildt og fuktig, i hvert fall i de kystnære områdene. Vestlandet er blant de aller varmeste og fuktigste områdene i Norge, og normalt faller de største nedbørsmengdene i landet nettopp like innenfor kysten på Vestlandet. I disse områdene er det mye nedbør om høsten og vinteren, mens det om våren er noe mindre. Beliggenheten, terrenget og topografien på Vestlandet medvirker sterkt til de store nedbørsmengdene, noe som gjør at nedbørstypene som oftest forekommer er frontnedbør<sup>1</sup> og orografisk nedbør<sup>2</sup>. De mest nedbørrike målestasjonene (stasjoner lokalisert mellom Hardangerfjorden og Møre) på Vestlandet er faktisk blant de mest nedbørrike i hele Europa (Meteorologisk-institutt, 2012b).

Nedbøren i Sandnes er nærmere beskrevet i kapittel 4.1.

## 2.2. Klimaendringer

Klimaendringer er et tema som er vanskelig å behandle. Å forutse framtiden er veldig vanskelig og det er derfor knyttet en god del usikkerhet til forskningen rundt dette.

Selv om man ikke kan stole blindt på disse beregningene og framskrivningene, må de likevel vektlegges siden de gir en god indikasjon på hva som kan forventes i framtiden.

---

<sup>1</sup> Nedbør som dannes ved en front, hvor fuktig luft heves og avkjøles slik at den må gi fra seg fuktighet som faller ned som regn eller snø (Meteorologisk-institutt, 2012a).

<sup>2</sup> Luftmasser med nedbør som møter kysten av Norge. Disse blir tvunget enda raskere oppover på grunn av terrenget og vi får nedbør (Meteorologisk-institutt, 2012a).

### 2.2.1. Klimaendringer til nå

Studier av fortiden og dens klima har gitt forskere belegg for å si at dagens klimaendringer i hovedsak er menneskeskapt (BCCR, 2009). IPCC<sup>3</sup> uttaler også i sin fjerde hovedrapport fra 2007 (BCCR, 2007) at dagens klimaendringer er et resultat av stor menneskelig påvirkning de siste 50 år. I rapporten gis det en oppsummering av observerte klimaendringer. Blant momentene som nevnes er: Den globale gjennomsnittstemperaturen fortsetter å øke, og på den nordlige halvkule er det *meget sannsynlig* at den i perioden 1950-2000 var høyere enn i noen annen femtiårsperiode de siste 500 år. Gjennomsnittlig globalt havnivå steg gjennomsnittlig med 1,8 mm per år fra 1961 til 2003. De siste 10 årene var stigningen ca. 3,1 mm per år. Smelting av isdekkene på Grønland og Antarktis er med og forsterker havnivåstigningen. Samtidig har hyppigheten av kraftig nedbør økt over de fleste landområder. Årsnedbøren for fastlands-Norge har økt med nesten 20 % siden 1900 og den største økningen finner vi på Vestlandet, hvor Sandnes ligger. Årsavrenningen for Norge har også vist en solid økning de siste 30 årene. Økningen har vært størst om vinteren, med i overkant av 20 % økning i gjennomsnitt, selvfølgelig med store regionale variasjoner (Hanssen-Bauer et al., 2009).

### 2.2.2. Klimaendringer i framtiden

I framtiden vil etter all sannsynlighet både gjennomsnittstemperatur, havnivå og nedbørsmengder øke.

Innen 2100 forventes årsmiddeltemperaturen på Vestlandet å øke et sted mellom 1,9 og 4,2 °C. Samtidig vil trolig årsnedbøren øke med nærmere 20 % i samme tidsrom (NOU-Klimatilpassing, 2009b).

Generelt for hele Norge ser det ut til at det vil bli flere dager med mye nedbør, og nedbørsmengdene disse dagene vil bli høyere, noe som vil gjelde for alle årstider.

RegClim har laget et klimascenario for Norge frem mot 2050 (RegClim, 2000). Her spås det også nedbørsøkning over hele landet, med størst økning på Vestlandet.

Avrenningen vil naturligvis også endres, siden denne henger tett sammen med nedbørsmengder og temperaturer. Framskrivningene tyder på at avrenningen på Sør-Vestlandet vil stige med et sted mellom 10 og 30 % innen 2050 (Hanssen-Bauer et al., 2009).

Snøsesongene i hele landet vil bli kortere. I lavlandet, hvor man kan forvente 2-3 måneders reduksjon innen 2100, får vi de største endringene. Dette, i tillegg til at gjennomsnittlig

---

<sup>3</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change

snødybde forventes å avta, gjør at størrelsen på smeltevannsflokker vil avta på sikt. Samtidig vil størrelsen på regnflokker øke (Hanssen-Bauer et al., 2009).

Havnivået langs hele norskekysten forventes å stige i framtiden. Klimatilpasning-Norge har i sin rapport om estimer av framtidig havnivåstigning i norske kystkommuner, beregnet forventet framtidig havnivå for 279 norske kommuner (Vasskog et al., 2009). Det er beregnet verdier både for 2050 og 2100, relativt til år 2000. I Sandnes er beregnet havnivåstigning på henholdsvis 25 cm (2050) og 78 cm (2100).

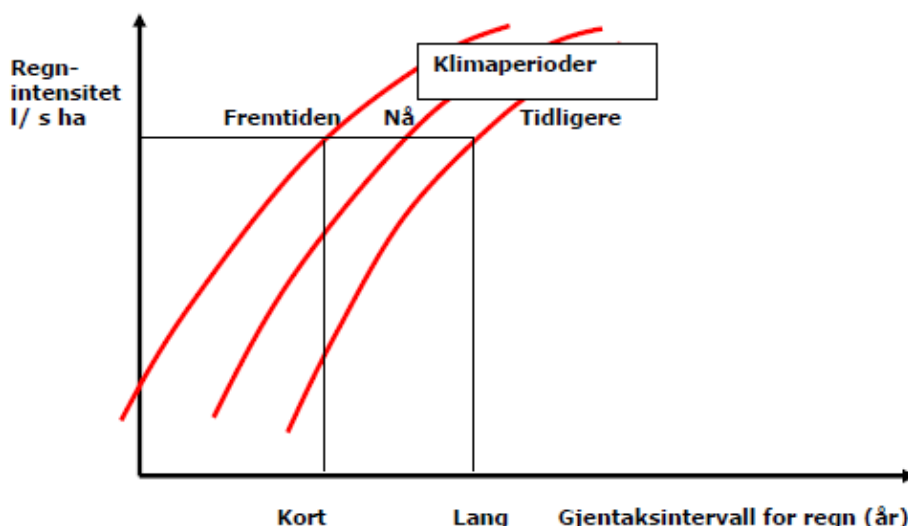
Oppsummert kan vi si at fremtiden vil by på økte temperaturer og nedbørsmengder. Det vil bli hyppigere tilfeller av intens nedbør og kraftige stormer. Avrenningen vil fortsette å øke og havnivået vil stige.

### **2.2.3. Klimaendringenes betydning for VA-systemene**

Klimaendringene må tas på alvor. I Norge er store deler av infrastrukturen dimensjonert etter beregninger basert på lange måleserier for nedbør. Det eksisterende ledningsnett takler ikke de økte vannmengdene og i tettbygde strøk er det kraftig nedbør i løpet av kort tid som forårsaker de største skadene (NOU-Klimatilpassing, 2009a).

Økningen i avrenningen har mange årsaker. Klimaendringene, med større nedbørsvolumer og mer intens nedbør, gir et solid bidrag. I tillegg får vi en stadig økende faktor fra utbygging og fortetting. Etablering av tette flater, fjerning av naturlige vannveger og drenering av dammer og våtmarker gir et stort tillegg til den totale avrenningen. Dette er nærmere behandlet i kapittel 2.3.1.

Figur 1 viser endringene i forholdet mellom regnintensitet, klimaperiode og gjentaksintervall. En bestemt regnintensitet vil eksempelvis få et kortere gjentaksintervall etter hvert som tiden går. Denne utviklingen har vi allerede sett de siste tiårene, og slik vil det også utvikle seg videre framover i tid.



**Figur 1: Effekt av klimaendringer på nedbørintensiteter, frekvenser og gjentaksintervall (Lindholm et al., 2008).**

Konsekvensene av de store nedbørsmengdene kan bli store og den økende fortettingen er med på å forsterke disse. Lindholm m.fl. har i IMT-Rapport nr. 16 (2007) listet opp en rekke virkninger av store nedbørsmengder. Listen er gjengitt her:

**Miljøskader og andre virkninger:**

- Betydelig økning i forurensningsutslipp fra overløp, renseanlegg og overvann.
- Pumper og renseanlegg ute av drift.
- Kloakk ut av nødutløp og kummer.
- Estetisk forringelse og miljøskader i byvassdrag.
- Økt risiko for sykdommer via drikkevann.
- Kjelleroversvømmelser i bygg og kjøpesentre under bakkenivå, etc.
- Rotter rømmer fra avløpsledninger og invaderer bygninger og omgivelsene.

**Fysiske- og konstruksjonsmessige skader:**

- Infrastruktur og bygninger flomskades.
- Renseanlegg og pumpestasjoner: Oversvømmelser med elektriske kortslutninger, ødeleggelse av el og kabler og data- og styresystemer. Nedslamming, fukt- og soppskader, maskinelt utstyr vannskades. Flyter opp og gulv sprekker.
- Ledninger: Erosjon og utspyling av grøftmateriale gir skader og brekkasje. Kummer og ledninger fylles igjen av slam og annet materiale.

- *Utslippsledninger: Bevegelser, bortspyling, oppflytning, erosjon av støttekonstruksjoner og grøfter med fundament som gir brekkasje, sprekker og lekkasjer.*

Flere dager med regn per år gjør at jorden oftere og i lengre perioder vil ha et høyt vanninnhold. Dette gjør at avrenningskoeffisientene øker, selv i områder hvor vi ikke har noe utbygging. Videre fører dette til at de samme regnintensitetene som før ikke gav flommer og oversvømmelser nå vil kunne gi det. Flomstørrelsene fra en gitt regnintensitet vil dermed øke (Lindholm et al., 2007).

Den nevnte utviklingen gjenspeiler seg også i antall skadeflommer og forsikringsutbetalinger. Tall fra forsikringsselskapene viser en rask økning fra 1983 til 2001:

- 1983, 293 millioner kroner
- 1999, ca. 1500 millioner kroner
- 2001, ca. 2000 millioner kroner

(Lindholm et al., 2007)

Andre tall fra forsikringsselskaper tyder på en økning i utbetalinger som følge av vannskader på over 400 % de siste 20 år (Ebeltoft, 2012).

Havnivåstigningen byr også på problemer for avløpsnett. Redusert kapasitet i ledningene, større/høyere oppstuvning i systemene og økte overløpsutslipp er noen av konsekvensene dette medfører.

## 2.3. Bærekraftig overvannshåndtering

Overvannshåndtering i urbane områder har tradisjonelt sett gått ut på å lede vannet raskest mulig bort i lukkede ledningssystemer. Dette har blitt sett på som et bra, fornuftig og ikke minst nødvendig tiltak for å bygge gode urbane miljøer.

I nyere tider, med fokus på klimaendringer, urbanisering/fortetting og forurensning, har man sett at tankegangen nå må endres. Nye løsninger må tas i bruk og vi er tvunget til å se mot mer bærekraftige løsninger.

### 2.3.1. Urbanisering – mer avrenning

Fortetting og utbygging av nye områder påvirker den lokale vannbalansen. Opprinnelige permeable flater erstattes med nye tette flater. Naturlige grøfter og vannveger fjernes og våtmarker, dammer og myrområder dreneres. Konsekvensene er økt avrenning, mens faktorer som infiltrasjon, evapotranspirasjon, intersepsjon og gropmagasinerings minker. I tillegg vil tilsiget til grunnvannet minke, noe som igjen fører til senket grunnvannstand.

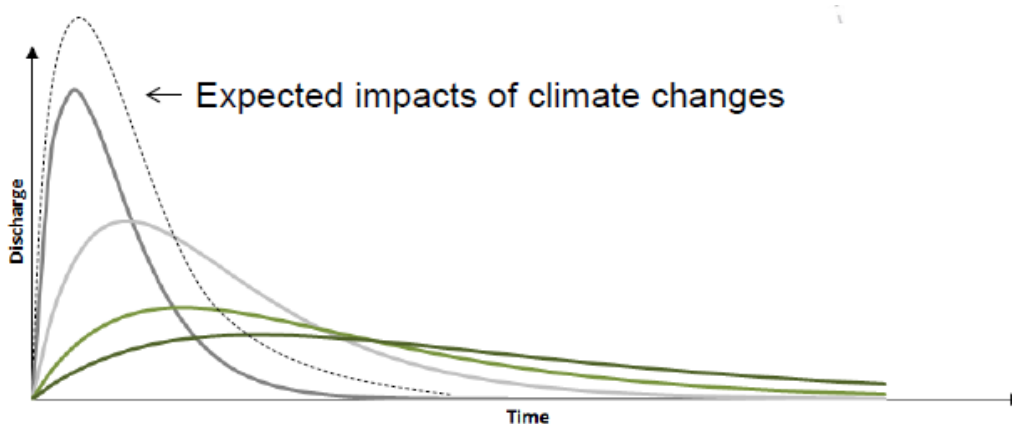
Utviklingen fører til at forholdet mellom de ulike leddene i vannbalanseligningen blir helt feil:

$$Q = N - ET - \text{Int.} - \text{Inf.} - G \quad \rightarrow \quad Q = N - ET - \text{Int.} - \text{Inf.} - G$$

Urbaniseringens følger for avrenningen oppsummeres ofte i 3 hovedpunkter:

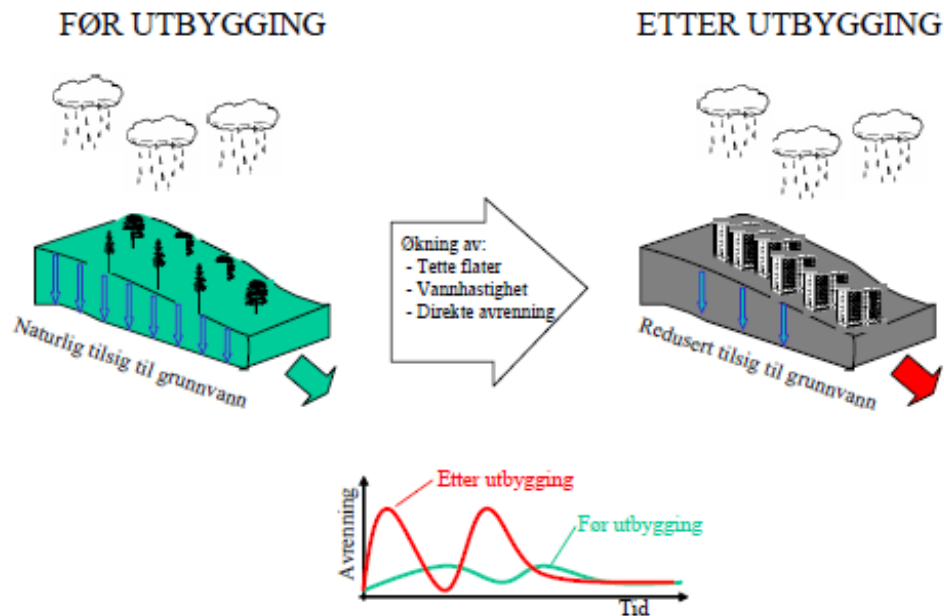
- Økte mengder
- Høyere topper
- Raskere respons

Figur 2 viser i prinsipp hvordan avrenningen påvirkes av fortetting.



**Figur 2: Urbaniseringens påvirkning på avrenningen. Avrenning som funksjon av tid (Paus, 2012).**

Avrennings situasjonen for et område vil dermed bli helt forandret ved en utbygging. Tas ikke dette hensyn til allerede i planleggingsfasen, kan det få drastiske konsekvenser for avrenningsmønsteret, noe som er illustrert i Figur 3.



**Figur 3: Avrennings situasjon før og etter utbygging, ved tradisjonell overvannshåndtering (Fredrikstad-kommune, 2007).**

### 2.3.2. Fra tradisjonell til bærekraftig håndtering

Den tradisjonelle metoden for å takle nye og større overvannsmengder har vært å øke kapasiteten på eksisterende rørsystemer eller anleggelse av nye. Generelt kan man si at dette er kostbare løsninger.

Som et alternativ til oppgraderingen av ledningsnettets kan man i stedet forsøke å redusere den hydrauliske belastningen. De seneste tiårene har man begynt å utforske mulighetene for å redusere, fordrøye og bremse avrenningen før den når rørene. Det sterkt økende fokuset på vannkvaliteten i resipientene maner også til nye, alternative metoder (Stahre, 2006).

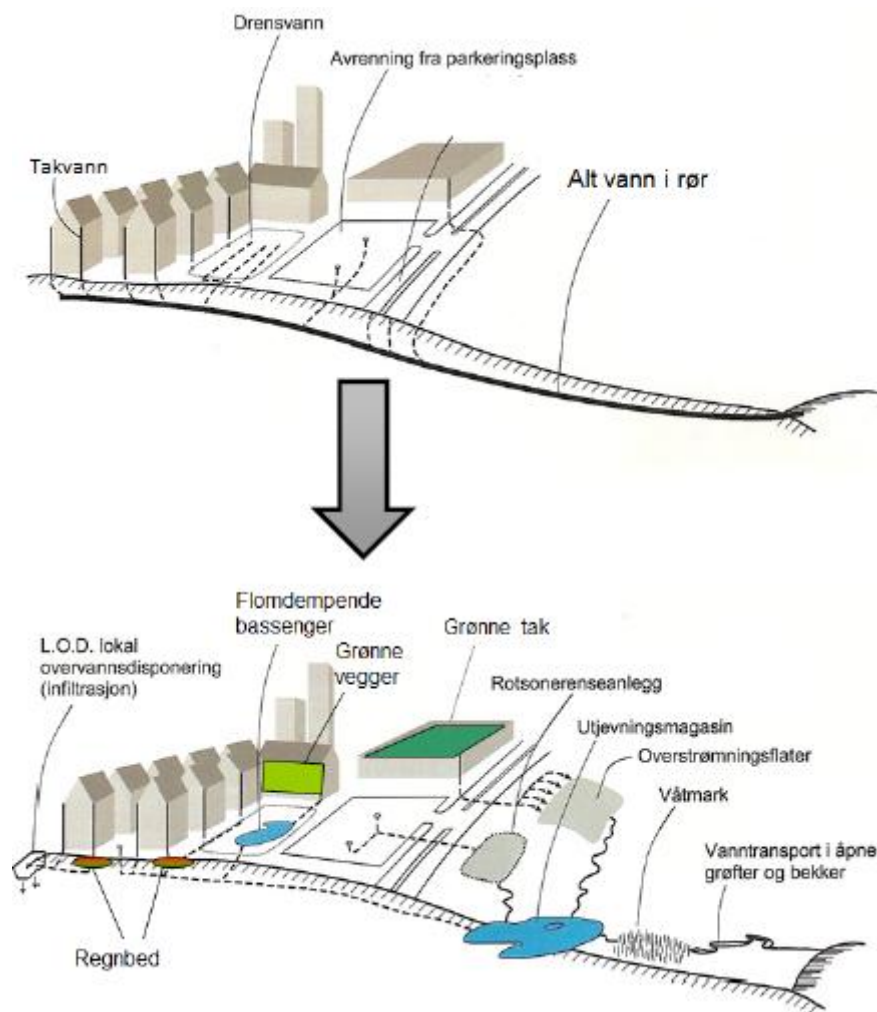
Fokuset har blitt satt på en langsiktig og bærekraftig utvikling av urbane miljøer. Det er en stadig sterkere tendens til at overvannet nå blir sett på som en positiv ressurs i det urbane landskapet.

Denne nye tilnærmingen går ofte under betegnelsen «Bærekraftig overvannshåndtering».

Andre uttrykk som ofte brukes om de samme prinsippene (ofte om en annen) er bl.a.: SUDS

(Sustainable Urban Drainage Systems), BMP (Best Management Practices), LID (Low Impact Development) og LOH (Lokal Overvannshåndtering).

Tankene bak disse nye metodene er at kvantitet og kvalitet skal behandles sammen. I tillegg settes det fokus på sosiale, visuelle og rekreasjonsmessige forhold ved at overvannet implementeres som et positivt bidrag i bymiljøet. Man snakker om å gå fra et grått til et blå-grønt urbant miljø. Under (Figur 4) er det vist et område med og uten bærekraftige overvannstiltak.

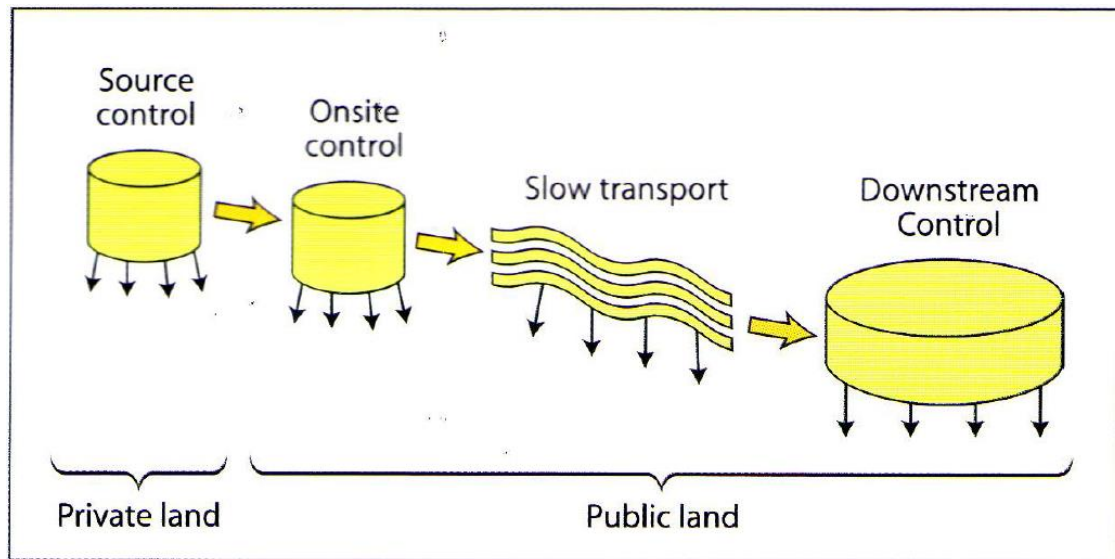


**Figur 4: Fra konvensjonelt overvannssystem til åpen og lokal overvannshåndtering (Lindholm et al., 2008, omarbeidet av Paus, 2012).**

Det finnes utallige prinsipper og metoder for lokal overvannshåndtering. Felles for alle er at de utnytter de samme prosessene som naturen selv bruker for håndtering av overvann, dvs. infiltrasjon, fordampning, perkolasjon, fordrøyning i dammer osv.



Stahre (2006) deler de åpne overvannsløsningene inn i 4 kategorier (se Figur 5) etter hvor i overvannssystemet de hører hjemme.



**Figur 5: Kategorisering av metoder for åpen overvannshåndtering (Stahre 2006).**

Kildekontroll (Source control): Omhandler anlegg i mindre skala som etableres på privat grunn. Eierskapet spiller en viktig rolle her, da utforming, etablering og vedlikehold skjer privat. Kildekontroll blir dermed fullt og holdent et privat ansvar, noe som gjør at denne kategorien ofte betegnes som «privatkontroll».

Eksempler: Infiltrasjon på plen, permeable dekker, grønne tak, regnbed, små dammer osv.

På-stedet kontroll (Onsite control): Omhandler flere småskala anlegg for åpen overvannshåndtering. Anleggene etableres på offentlig grunn i øvre deler av overvannssystemet.

Eksempler: Regnbed, permeable dekker, infiltrasjonsgrøfter, fordrøyning- og infiltrasjonsdammer osv.

Sakte transport (Slow transport): Denne kategorien inkluderer anlegg som tar seg av den videre transporten av overvannet. Transporten skjer typisk i åpne systemer som har til hensikt å forsinke transporten.

Eksempler: Grøfter, kanaler, bekker, swales osv.

Nedstrøms kontroll (Downstream control): Nedstrøms kontroll dreier seg om forskjellige anlegg i større skala for oppbevaring og fordrøyning av overvann i nedre deler av systemet. Eksempler: Våtmarker, større dammer, innsjøer osv.

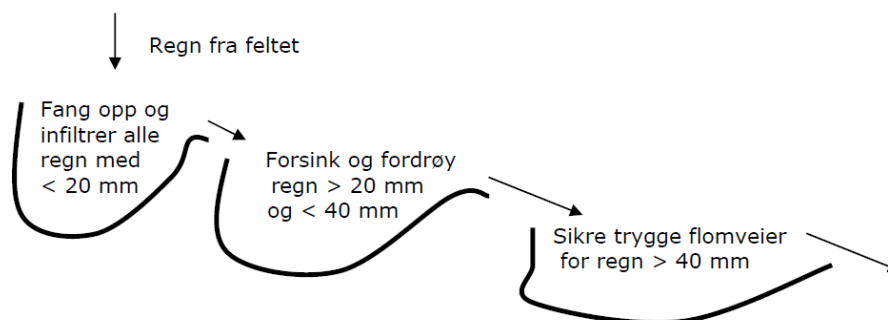
Det finnes også en rekke andre forsøk på å klassifisere de ulike løsningene. Pazwash (2011) skiller mellom det han kaller «ikke-strukturelle forebyggende tiltak» som skal redusere produksjonen av avrenning og forurensning fra et område, og «strukturelle korrigerende tiltak» som skal redusere mengdene som er produsert. De strukturelle tiltakene inkluderer bl.a. fordrøyningsbasseng, dammer og infiltrasjonsbasseng, og går ofte under betegnelsen «end of pipe treatment» (behandling ved enden av røret). De ikke-strukturelle tiltakene kan f.eks. være frakobling og reduksjon av impermeable flater, unngå å bruke forurensende plantemidler i hagen osv.

Prinsippet bak den bærekraftige overvannshåndteringen er, som tidligere nevnt, at kvantitet og kvalitet skal behandles sammen. De aller fleste av disse bærekraftige løsningene har en positiv og bra effekt på vannkvaliteten. Overvannskvaliteten varierer fra område til område, alt etter hva slags aktiviteter som bedrives. Eksempelvis vil overvannet fra sterkt trafikkerte veier inneholde mye tungmetaller og organiske miljøgifter. Ved å implementere SUDS som en del av overvannshåndteringen for slike områder vil man kunne bedre vannkvaliteten betraktelig.

Den vannkvalitetsmessige biten av SUDS vil ikke bli nærmere behandlet i denne oppgaven.

### 2.3.3. Norsk Vanns treleddsstrategi

Når man sikter etter en bærekraftig overvannshåndtering er det viktig å tenke løsninger, tiltak, mengder, kvalitet, kostnader osv. I tillegg er det viktig å ha strategien på plass. Norsk Vann har i Rapport 162 (Lindholm et al., 2008) utviklet en treleddsstrategi for håndtering av nedbør (Figur 6).



**Figur 6: Norsk Vanns treleddsstrategi for håndtering av nedbør. Tallene er eksempler og må tilpasses lokalt (Lindholm et al., 2008).**

Første ledd skal i teorien holde tilbake eller infiltrere vannet i alle regn med en mindre nedbørsmengde enn et visst antall millimeter. Når mengdene overskrider dette vil overskuddet renne videre til åpne anlegg som forsinker og fordrøyer avrenningen. Noen ganger kommer det nedbørsmengder som er så store at de normale systemene ikke kan håndtere avrenningen alene. Da må det anlegges gode flomveier som kan avlede disse sjeldne regnene på en trygg måte (Lindholm et al., 2008).

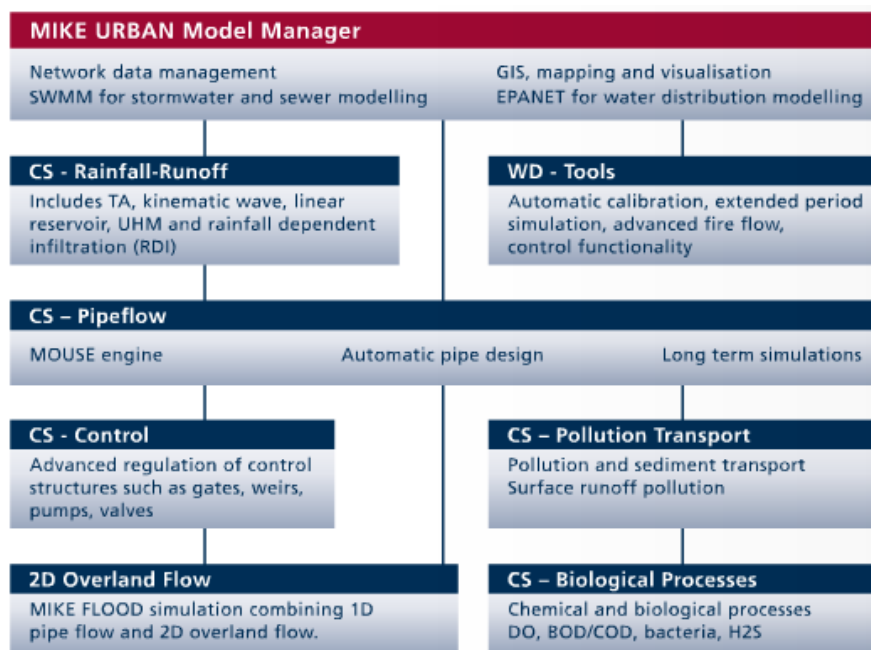
## 2.4. Mike Urban

### 2.4.1. Generelt

Mike Urban er et hydrologisk/hydraulisk modelleringsverktøy, utviklet av DHI<sup>4</sup> for bruk i urbane strøk. Programvaren dekker alle urbane vannsystemer og inkluderer kvantitet- og kvalitetsmessig modellering av både vannforsyningssystem og avløpssystem.

Typiske anvendelsesområder innen drikkevann kan være alt fra overordnet planlegging og lekkasjekontroll, til analyser av brannvann og vannkvalitet. For avløpssystemene brukes programmet bl.a. til overordnet planlegging, implementering av SUDS og analyser av elementer som overløp, flaskehals, vannkvalitet og kapasitet (DHI, 2012e).

Modulene i programvaren deles ofte inn i 3 hovedkategorier: «Model manager», «Collection system» (CS-moduler) og «Water distribution» (WD-moduler). Figur 7 viser strukturen på modulene i programmet.



Figur 7: Modulstruktur i Mike Urban (DHI, 2011).

Mike Urban kan benyttes med 3 forskjellige beregningsmotorer; MOUSE, SWMM og EPANET. EPANET brukes ved beregninger for vannforsyningssystemer, mens de to andre brukes for beregning av avløpssystemer.

I denne oppgaven er det benyttet MOUSE-baserte CS-moduler. MOUSE er en forkortelse for

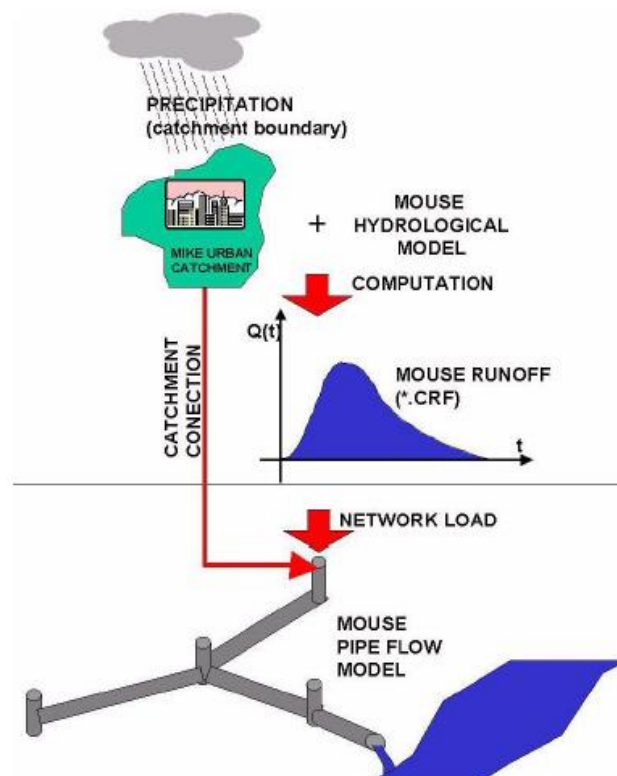
<sup>4</sup> Danish Hydraulic Institute

«Modelling Of Urban Sewers» og er DHI's egen beregningsmotor. MOUSE-pakken er et anerkjent og mye brukt verktøy for modellering av urbane avløpssystemer.

### 2.4.2. Modellering med MOUSE

Modellering av urbane avløpssystemer i MOUSE er i prinsippet en todelt prosess. Først modelleres avrenningen og deretter brukes resultatene som input i modelleringen av rørrnettverket.

Første steg går ut på å definere nedslagsfelt og tilkoblinger til nettverket. Hydrologisk modell og hydrologiske parametere defineres, og alle ønskede tidsserier legges inn (nedbør, temperatur, evapotranspirasjon osv.). Til slutt kjøres modellen og beregningene utføres. Andre steg er nettverksberegningene. Resultatene fra de første beregningene defineres som hydraulisk belastning på ledningsnettverket. Modellen for nettverket kjøres og vi får resultater også i ledningsnettverket (DHI, 2012a). En illustrasjon av informasjonsflyten i denne modelleringen vises i Figur 8.



Figur 8: Informasjonsflyten i avløpsmodelleringen i MOUSE (DHI, 2012a).

## 2.5. MOUSE-moduler

I denne oppgaven ble det i hovedsak benyttet 3 forskjellige MOUSE-moduler under modelleringen i Mike Urban. Videre følger en liten gjennomgang av disse modulene, samt hvilke ligninger og prinsipper som ligger bak dem.

### 2.5.1. MOUSE – Pipe Flow

Denne modulen håndterer strømninger i rør (som navnet tilsier) og kanaler. Modulen løser Saint Venant ligningene for dynamisk strømning gjennom hele avløpssystemet. Dette gjør at vi kan modellere ting som oppstuvning i nettverket og kummer, tilbakeslag i systemet, tidevannspåvirkninger, fordrøyningsbasseng, frie vannspeil og trykksatte strømninger (DHI, 2012a).

Saint Venant ligningene er i utgangspunktet to ligninger, én dynamisk ligning (også kalt momentligningen) og én kontinuitetsligning. De fremstilles ofte på følgende former:

Kontinuitetsligningen:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

Momentligningen:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} - gA(S_0 - S_f) = 0$$

hvor:

Q = Vannføring

x = Avstand

A = Areal vannføringstverrsnitt

t = Tid

$\alpha$  = Hastighetsdistribusjon-koeffisient

g = Tyngdeakselerasjon

y = Strømningsdybde

$S_0$  = Bunnhelning

$S_f$  = Friksjonshelning

Kontinuitetsligningen uttrykker, kort forklart, at vannvolumet ( $\partial Q$ ) som tilføres et rørstykke med lengde  $\partial x$ , balanseres ved å øke tverrsnittsarealet ( $\partial A$ ), altså lagring (DHI, 2012b).

Momentligningen ovenfor er presentert med hensyn til vannføringen (Q). Fremstilles den heller med tanke på hastigheten (v), er det lettere å identifisere leddene i ligningen (Butler and Davies, 2011).

Momentligningen fremstilt på hastighets-form:

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v}{g} \times \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{1}{g} \times \frac{\partial v}{\partial t}$$

hvor:

v = Hastighet

Når ligningen fremstilles på denne formen kan vi dele den inn i 3 deler og se hva de forskjellige delene representerer.

Første del:

$$S_f = S_0$$

Denne delen inneholder ingen variasjon i verken avstand eller tid, og beskriver uniforme stasjonære forhold.

Første og andre del:

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v}{g} \times \frac{\partial v}{\partial x}$$

Denne inkluderer variasjon i avstand, men ikke i tid, og gjelder da for ikke-uniforme stasjonære forhold.

Første, andre og tredje del:

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v}{g} \times \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{1}{g} \times \frac{\partial v}{\partial t}$$

Da er vi tilbake til den fulle Saint Venant momentligningen. Denne inkluderer altså variasjon i både avstand og tid, og gjelder da for ikke-uniforme ikke-stasjonære forhold.

(Butler and Davies, 2011)

### **2.5.2. MOUSE – Runoff**

Denne modulen inkluderer fire forskjellige avrenningsmodeller, i tillegg til tre hydrologiske nivå for beskrivelse av flater i urbane nedslagsfelt. Dette betyr at avrenningsberegningene fra

overflatene kan tilpasses tilgjengelig informasjon. Hydrografene som produseres i denne modulen kan videre benyttes som input i MOUSE – Pipe Flow (DHI, 2012a).

De fire avrenningsmodellene er (DHI, 2012d):

- Modell A – Tid/areal metoden
- Modell B – Kinematisk bølge
- Modell C – Lineært reservoar
- UHM – Enhetshydrogram (Unit Hydrograph Model)

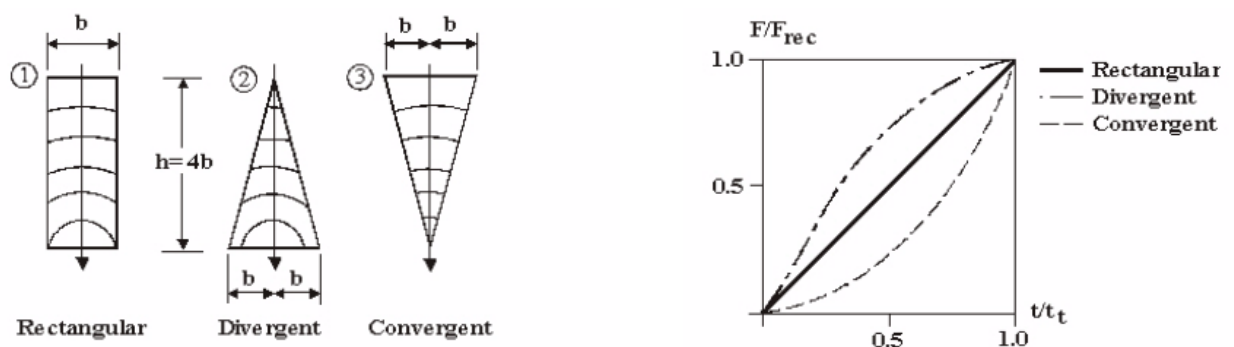
Modell A ble benyttet i denne oppgaven. Videre følger en liten innføring i modellens prinsipper.

#### Modell A – Tid/areal metoden

I denne modellen styres mengden avrenning av tre faktorer; et initielt tap (fukting av tette flater), et kontinuerlig hydrologisk tap (tap pga. hydrologiske prosesser) og størrelsen på deltagende område. Formen på avrenningshydrografen styres av konsentrasjonstiden og tid/areal-kurven som igjen er beskrivende for nedslagsfeltets responstid og form.

En tid/areal-kurve beskriver formen på området. I MOUSE finnes det tre forskjellige forhåndsdefinerte kurver; en for rektangulær form, en for divergent form og en for konvergent form. I tillegg finnes det muligheter for å lage egne kurver dersom området skulle ha en irregulær form.

De forhåndsdefinerte tid/areal-kurvene i MOUSE er vist i Figur 9.



**Figur 9: Forhåndsdefinerte tid/areal-kurver som finnes i MOUSE (DHI, 2012e).**



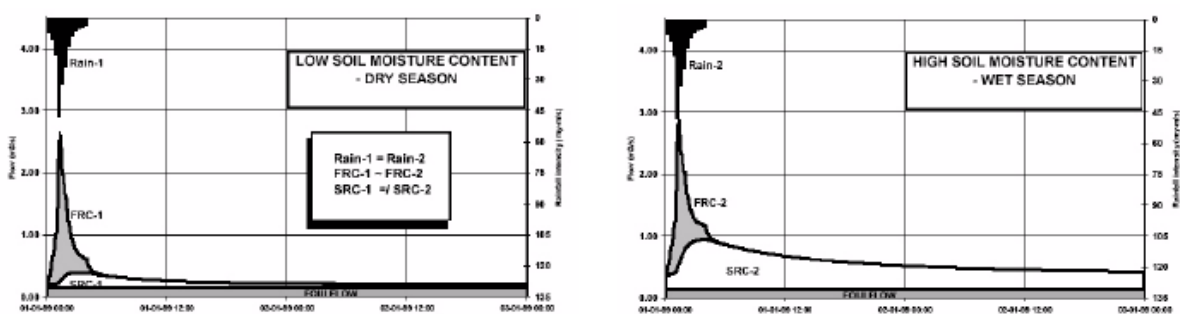
### 2.5.3. MOUSE – RDII

RDII-modulen (Rainfall Dependent Inflow and Infiltration) gir en detaljert og kontinuerlig modellering av hele den landlige delen av det hydrologiske kretsløp. Den fungerer dermed som god støtte til analyser av urbane, landlige og miksede nedslagsfelt.

Nedbør routes gjennom fire forskjellige typer lagring; snø, overflate, rotsone (umettet sone) og grunnvann, noe som resulterer i mer nøyaktige hydrogram. Dette betyr at man kan se på lengre tidsserier og gjøre langtidsanalyser med både våte og tørre perioder (DHI, 2012a).

Når man studerer de reelle vannmengdene i avløpssystemet gjennom en nedbørshendelse, ser man ofte at toppene er større enn hva bidraget fra de impermeable flatene alene gir. Dette skjer på grunn av det vi kaller «Rainfall Induced Infiltration», som gir bidrag fra den faktiske hydrologiske situasjonen, dvs. et slags «minne» fra tidligere nedbørshendelser. Dermed vil økningen i vannmengdene fra ulike nedbørshendelser være forskjellig, avhengig av de hydrologiske hendelsene som allerede har inntruffet. Figur 10 viser et eksempel på dette.

For å beskrive RDII-modulen og dens komponenter brukes begrepene FRC (Fast Response Component) og SRC (Slow Response Component). FRC påvirkes ikke av tidligere nedbørshendelser og den faktiske hydrologiske situasjonen. Den er en direkte konsekvens av en nedbørshendelse, og består av innstrømningen i avløpssystemet og den raske infiltrasjonskomponenten. SRC er derimot sterkt påvirket av tidligere hydrologiske forhold og responderer tregt på en nedbørshendelse. Komponenten består av resten av infiltrasjonen fra nedbøren og tørrværs infiltrasjon/strømning (DHI, 2012c).

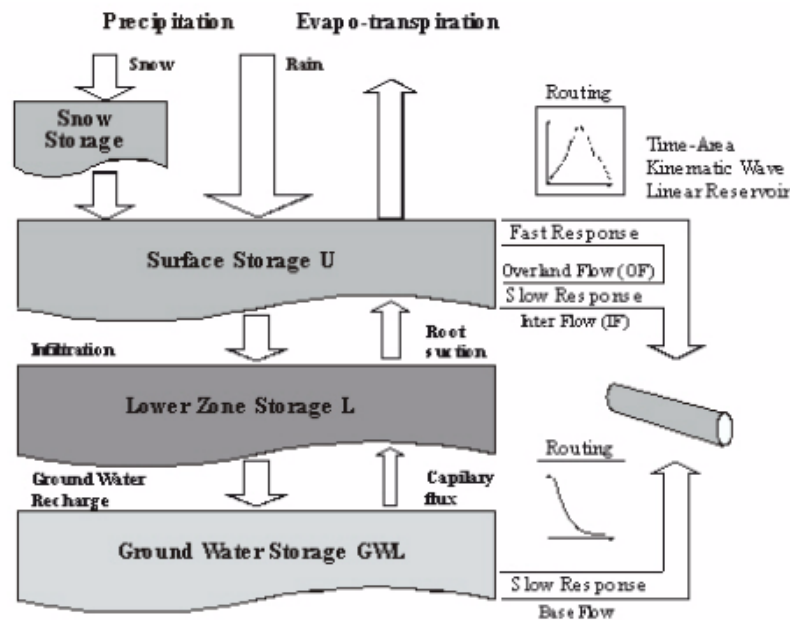


**Figur 10: Eksempel som viser effekten av lav og høy jordfuktighet på den genererte avrenningshydrografen (DHI, 2012c).**

De to prosessene som i hovedsak skiller RDII-modulen fra en standard avrenningsmodell er evapotranspirasjon-prosessen og snølagring/snøsmelting-prosessen. Disse prosessene tas hensyn til ved at det kan benyttes en snøsmeltingskoeffisient og tidsserier for temperatur og

evapotranspirasjon.

Som tidligere beskrevet router RDII-modulen nedbøren gjennom fire forskjellige lagringsstadier. Modellstrukturen vises i Figur 11.



Figur 11: Modellstruktur for RDII-modulen (DHI, 2012c).

Nedbøren som går gjennom snømassene kontrolleres av temperaturforholdene og mengden av snø på overflaten.

Intersepsjon på vegetasjonen, vann i forsenkninger i grunnen og vann i de helt øverste delene av jorda representeres som overflate-lagring. Vann i den umettede sonen (rotsonen) representeres som rotsone-lagring.

Mengden vann i overflate-lagringen blir konstant påvirket av evapotranspirasjon og horisontale «lekkasjer» (interflow) i de øverste lagene i jorda. Når maksimal overflate-lagring oppnås vil deler av vannet renne som overflateavrenning til bekker/elver/innsjøer, mens noe vil infiltrere og perkolere<sup>5</sup> videre ned til grunnvannsmagasinet.

Fuktighet i rotsonen (lower zone) påvirkes også av evapotranspirasjon. Denne prosessen starter når overflate-lageret er helt tømt. Den faktiske fordampningen er da avhengig av det relative fuktighetsforholdet i denne sonen. I tillegg påvirker fuktighetsforholdene i rotsonen avrenningsprosessene på overflaten og mengden vann som kommer ned til grunnvannsmagasinet (DHI, 2012c).

<sup>5</sup> Perkolering er når overskuddsvann fra umettet sone trenger ned til grunnvannssonen, altså vannets vei nedover gjennom umettet sone.

### **3. Presentasjon av caseområdet**

#### **3.1. Sandnes**

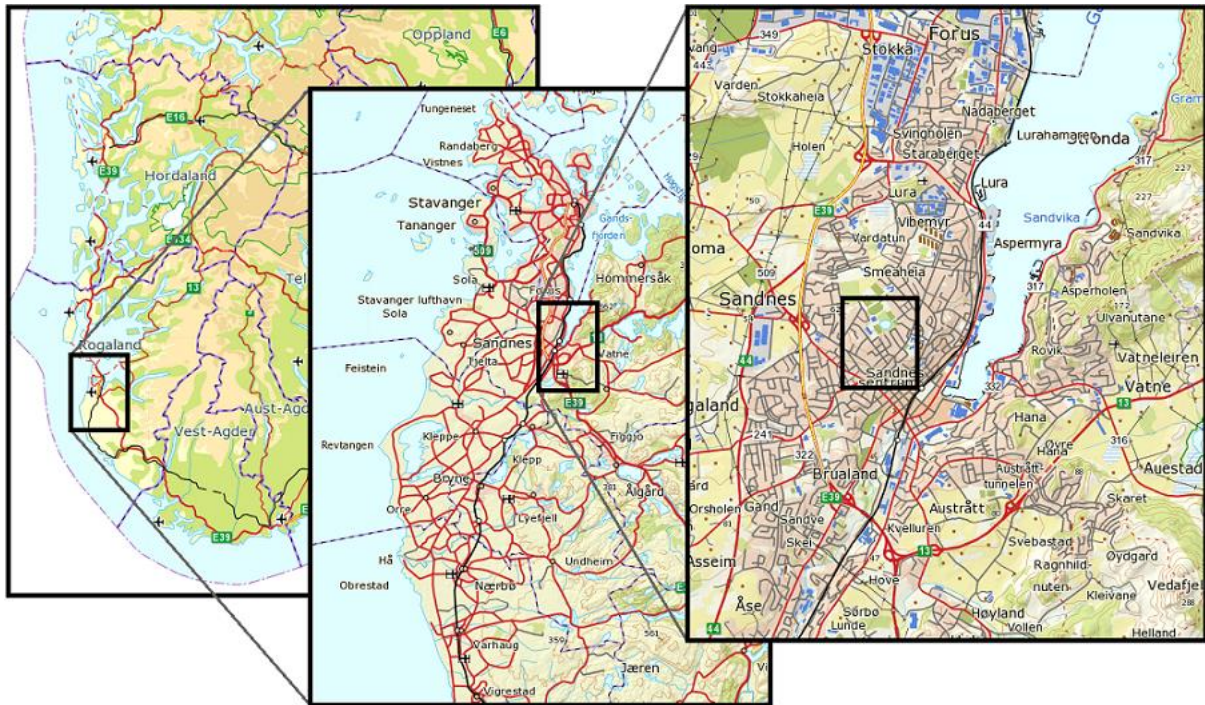
Sandnes er en by og kommune som ligger innerst i Gandsfjorden i hjertet av Rogaland. Det er Norges 9. største kommune og 8. største by, og med en årlig befolkningsvekst på ca. 2,4 % er Sandnes den av landets storbyer som har størst vekst (Sandnes-kommune, 2012b). Folketallet 1.oktober 2012 var på 69 487 (Sandnes-kommune, 2012c).

Stavanger/Sandnes-regionen er blant de aller raskest voksende regionene i landet, i mange målinger den aller raskeste. Dette gir store utfordringer i forhold til planlegging og byutvikling i de to byene. Sandnes ønsker å være en framtidsrettet kommune, noe som ses igjen i kommunes visjon: «Sandnes – i sentrum for fremtiden». Sandnes sentrum gjennomgår store forandringer og det er mange spennende utviklingsprosjekter på gang. Denne store utviklingen er noe kommunen tar på alvor og de er bl.a. medlem i WHO's nettverk av sunne byer i Europa. I tillegg deltar de i «Framtidens byer», som er et samarbeid mellom staten og de 13 største byene i landet om å redusere klimagassutslippene og gjøre byene bedre å bo i. Med dette ønsker Sandnes å sette fokus på en bærekraftig utvikling, noe som også går igjen i VA-sektoren.

Det røffe vestlandsklimaet gjør også sitt til at byen er nødt til å tenke langsiktige og bærekraftige løsninger for avløpssystemet.

#### **3.2. Trones-feltet**

Trones-feltet ligger i Sandnes by, like nord-vest for Sandnes sentrum, mellom Gandsfjorden og motorveien (E39) (se Figur 12). Feltet er litt i overkant av 28 hektar stort og består stort sett av eneboliger, tomannsboliger og rekkehus.



**Figur 12: Lokalisering av Trones-feltet (illustrasjon basert på kartdata fra statkart.no).**

I tillegg til boligbebyggelsen finnes det en barnehage (Trones barnehage), en skole (Sandnes videregående skole) og et idrettsanlegg (Sandnes stadion – fotballklubben Sandnes Ulf) i feltet. Det ligger også et lite tjern (Gisketjern) i den øvre delen av feltet.

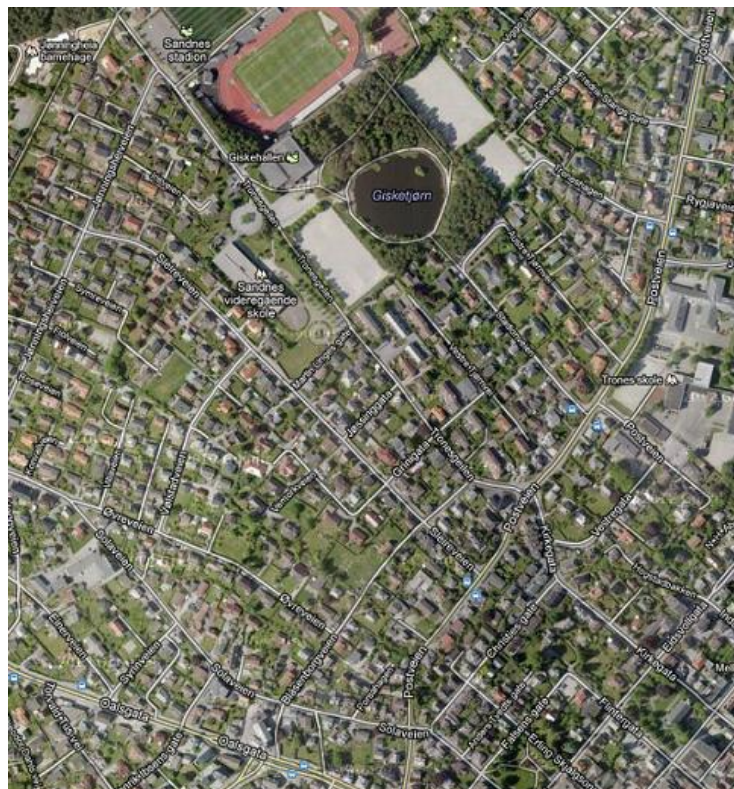
Figur 13 viser en oversikt over den øvre delen av feltet. Her ser man plasseringen av idrettsanlegget, Gisketjern og Sandnes videregående skole som er den avlange bygningen med flatt tak.





**Figur 13: Øvre del av Trones-feltet (skråfoto fra sandnes.kommune.no).**

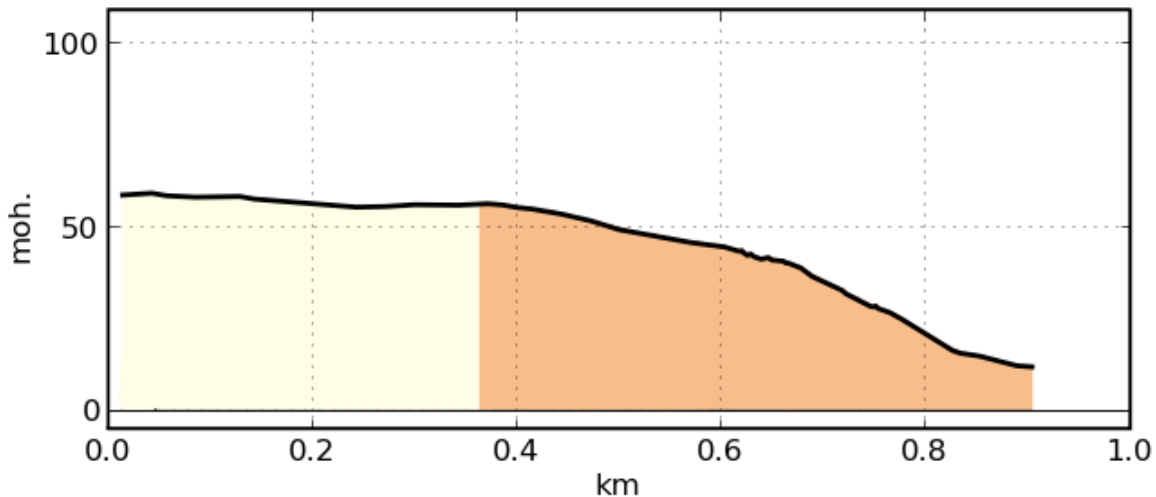
Trones-feltet er et forholdsvis grønt felt. De aller fleste boligene på området har egen hage, noe som er godt synlig i Figur 14, som er et satellittbilde over området.



**Figur 14: Satellittbilde over Trones-feltet (Google Maps).**

### 3.2.1. Topografi og grunnforhold

Stor deler av Sandnes sentrum ligger veldig lavt, nesten på havnivå. Flytter vi oss vestover mot motorveien stiger landskapet forholdsvis raskt, og idet vi går inn i Trones-feltet befinner vi oss på kote +10. Nedre del av feltet er nokså bratt, mens øvre del er mer flat. Toppen av feltet ligger på kote +59. Feltet har naturlig fall fra øvre til nedre del. Figur 15 viser et lengdeprofil tatt på langs av Trones-feltet.



**Figur 15: Lengdeprofil gjennom Trones-feltet på langs (statkart.no).**

På NGU<sup>6</sup> sine digitale løsmassekart er store deler av grunnen i Trones-feltet registrert som fyllmasser. Dette er i følge Odd Arne Vagle (Sandnes kommune) ikke riktig. Grunnen i Trones-feltet består i all hovedsak av morenemasser som burde ha gode infiltrasjonsevner.

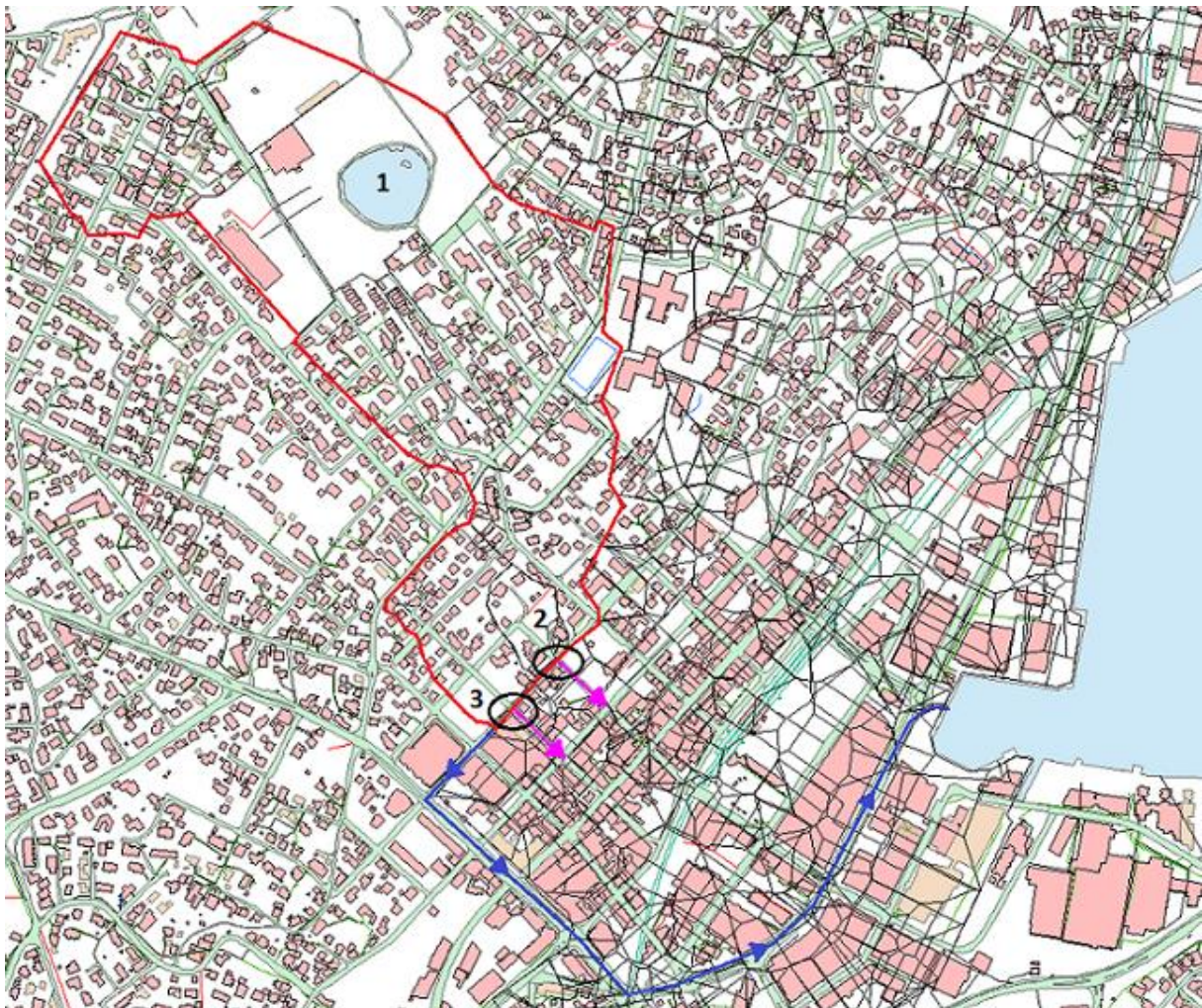
### 3.2.2. Avløpsnett i Trones-feltet

Avløpsnett i Trones-feltet er i hovedsak et separatsystem, med egne ledninger for spillvann og overvann (betongledninger). I tillegg finnes det noen eldre traséer med fellesledninger som er tilkoblet både overvannsnett og spillvannsnett.

Det finnes også 4 overløp i systemet, hvorav to virker som en direkte avlastning av overvannsnett helt i enden/bunnen av feltet, og to er i overganger fra fellesledning til separatsystem. Figur 16 viser en oversikt over nedslagsfeltet og situasjonen for avløpssystemet i området.

<sup>6</sup> NGU: Norges geologiske undersøkelse





**Figur 16: Oversikt over Trones-feltet med tilknyttede elementer (kart fra Mike Urban, omarbeidet i Paint).**

Inntegnede elementer i Figur 16:

- Den røde linjen markerer nedslagsfeltet, Trones-feltet.
- Den blå traséen viser hvordan overvannet «normalt» renner ut/bort fra Trones-feltet. Vannet renner i en halvsirkel rundt deler av sentrum og videre til utslipp i Gandsfjorden.
- Tallene 2 og 3 (med tilhørende sirkler) markerer de to overløpene i enden av feltet.
- De to rosa pilene viser hvor overvannet renner dersom overløpene (2 og 3) trer i drift.
- Tallet 1 markerer Gasketjern.
- Ledningsnett i Trones-feltet og resten av sentrum er ikke tegnet inn her.

De to overløpene som ligger i enden av feltet befinner seg i vegkryssene Eidsvollgata – Flintergata og Eidsvollgata – Erling Skjalgsøns gate (Figur 17). Dersom disse trer i drift vil

overløpsvannet renne gjennom den delen av sentrum som det normalt renner rundt. Denne delen av sentrum er, som følge av et allerede overbelastet avløpsnett, spesielt sårbar når det gjelder tilførsel av nye vannmengder. Situasjoner hvor overløpene trer i drift bør derfor, om mulig, forsøkes å unngås.

Figur 17 viser utformingen av overløpet i krysset Eidsvollgata – Erling Skjalgsons gate. Overløpet ligger helt nederst i enden av Trones-feltet.

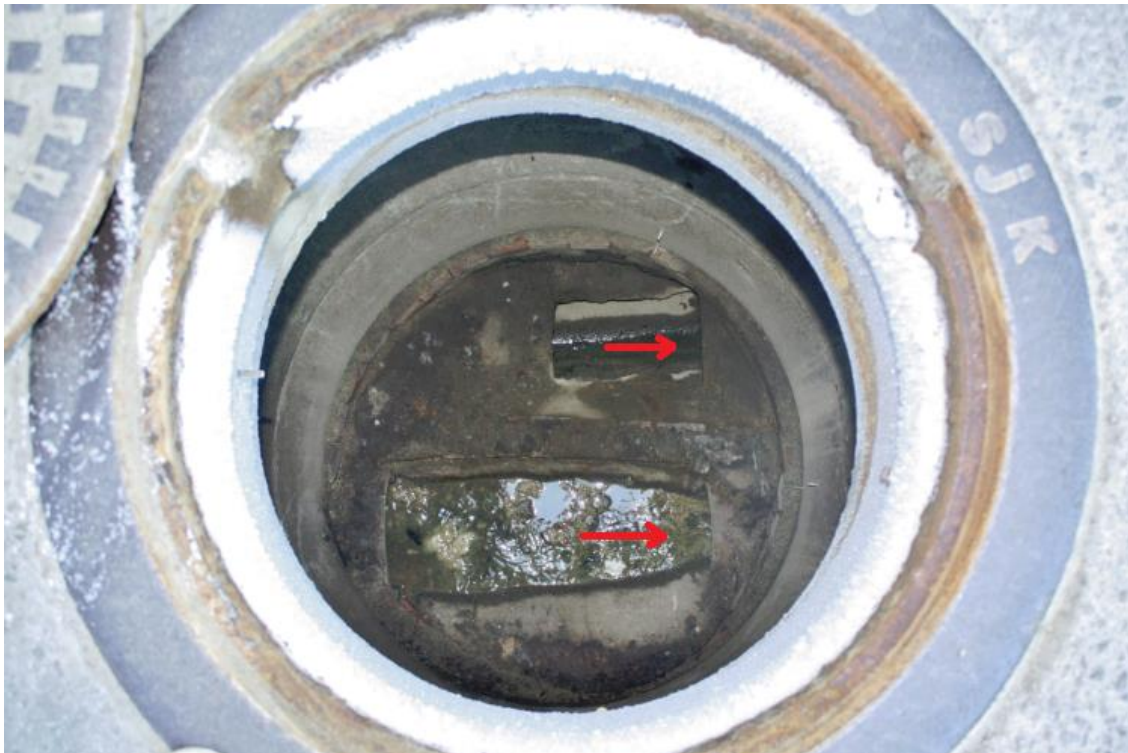


**Figur 17: Overløpet i krysset Eidsvollgata - Erling Skjalgsons gate. 1: Spillvannsledningen fra Trones som også har et overløp i kummen. 2: 800 mm overvannsledning som kommer fra Trones. 3: 300 mm overløpsledning som frakter vannet ned Erling Skjalgsons gate og videre gjennom sentrum. Som vi ser er det bare slått hull på den store overvannsledningen, så når denne går full renner vannet over i den 300 mm store ledningen som da er selve overløpet (Foto: T. A. Lende).**

Det er ikke registrert/målt noen driftstid på disse to overløpene, men Roar Karlsen (fagansvarlig VA-drift i kommunen) forklarer at hans erfaring er at de kun trer i drift under ekstreme nedbørshendelser.

I Figur 18 kan vi se en typisk utforming av et overløp hvor man går fra fellesledning til to separate ledninger. Bildet er fra fellessystemet øverst i Erling Skjalgsons gate.





**Figur 18: Overløp. Nederste ledning er en strupet fellesledning. Øverste ledning frakter overløpsvannet til overvannsnett (Her trengs det spyling!) (Foto: T. A. Lende).**

Selv om det finnes mye grøntarealer i området, fører alle boliger i Trones-feltet takvannet sitt direkte inn på overvannsnett, noe som gir et stort bidrag til vannmengdene i nettet.

Gisketjern, som ligger i den øvre delen av feltet, ble opprinnelig etablert som et høydebasseng for vannforsyningen i Sandnes. Drikkevann ble pumpet opp til tjernet og ledet ned til sentrum via vannledninger som nå er fjernet. I dag har tjernet en rekreasjonsmessig betydning i forbindelse med turstiene som går rundt det. I tillegg brukes det mye til å se på dyre- og amfibieliv i barnehage- og skoleundervisning. Det brukes også som skøytebane på vinteren. Det finnes ingen overvannsledninger med utløp i tjernet, det har kun tilførsel fra omliggende terreng. I den sørøstlige enden av tjernet er det et utløp som er tilknyttet overvannsledningen i Stadionveien.

Vannkvaliteten i tjernet er ikke bra. Det er lite utskifting av vannet og i tillegg påvirkes kvaliteten av aktiviteten i området. Likevel har tjernet en idyllisk framtoning, noe man kan se i Figur 19.



**Figur 19: Fotografier av Gisketjern, april 2013 (Foto: T. A. Lende).**

### **3.3. Mike Urban Avløpsmodell**

Det eksisterer en detaljert avløpsmodell over Sandnes sentrum. Modellen er laget i Mike Urban og ble utviklet av DHI på oppdrag fra Sandnes kommune. Den inkluderer både fellessystem og separatsystem, og har en hydrologisk og en hydraulisk del. Modellen er kalibrert mot data fra driftskontrollsystemet til Sandnes kommune og videre mot vannføringsmålinger utført av DHI (Vike, 2012).

Området som er modellert strekker seg fra Lura i nord og videre ned langs vestsiden av Gandsfjorden til Vågen og Sandnes sentrum. Et overblikk over modellen kan ses i Figur 27.

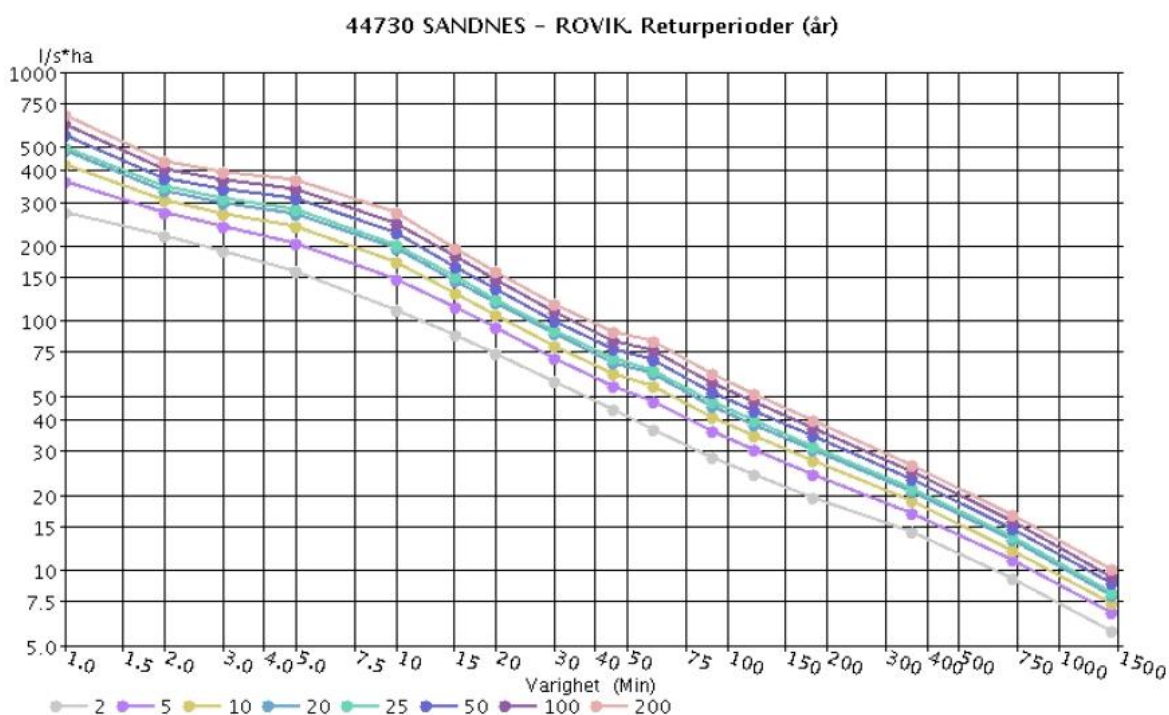
For å se på Trones-feltet og muligheter for å redusere avrenningen her, må den eksisterende avløpsmodellen utvides. Prosessen/arbeidsgangen som ble gjennomført for å lage den nye modellen for Trones-feltet er beskrevet i kapittel 5.1.

## 4. Metode

### 4.1. Nedbør

I Sandnes brukes det nedbørsdata fra Rovik målestasjon<sup>7</sup>. Denne målestasjonen ligger på kote +19 og befinner seg i overkant av 2 km nordøst for Sandnes sentrum. Nedbøren registreres ved hjelp av en pluviograf<sup>8</sup> av typen Lambrecht vippekarsmåler. Stasjonen har vært i drift siden juni 1974. Seniorrådgiver Odd Arne Vagle i Sandnes kommune påpeker at målestasjonen sannsynligvis ikke gir helt autentiske målverdier. Nedbørsverdiene er nok litt høyere enn hva som faktisk er tilfelle, grunnet påvirkning fra en nærliggende fjellvegg. Dette er noe Sandnes kommune ikke ser på som negativt i denne sammenheng, siden dette da vil virke som en ekstra sikkerhetsfaktor ved dimensjonering.

Fra Meteorologisk institutts klimadatabase «eKlima» kan nedbørsdata fra Sandnes-Rovik målestasjon hentes ut. IVF-kurve<sup>9</sup> for Sandnes som blir brukt i kommende beregninger og dimensjonering, er vist i Figur 20.



Figur 20: IVF-kurve fra Sandnes-Rovik målestasjon (eKlima).

<sup>7</sup> Stasjonsnummer: 44730

<sup>8</sup> Et instrument som brukes til automatisk registrering av nedbørens detaljerte fordeling over tid (Thorolfsson, 2012).

<sup>9</sup> Intensitet-Varighet-Frekvens-kurve. Kurve som viser sammenhengen mellom midlere regnintensitet og varighet for regntilfeller med gitt gjentaksintervall (Thorolfsson, 2012).

### **4.1.1. Dimensjonerende nedbørsmengder**

Når dimensjonerende nedbørsmengder for et område skal bestemmes, er det viktig å bruke representative nedbørstatistikker. Både over året og over korte avstander kan det være store stedlige variasjoner i nedbørsmengder (Lindholm et al., 2012). Som nevnt er det nedbørsdata fra Rovik målestasjon som benyttes ved dimensjonering i Sandnes kommune. Disse dataene danner grunnlaget for dimensjonerende nedbørsmengder, både faktiske og fiktive hendelser. Når det gjelder valg av dimensjonerende gjentakintervall for regn, anbefaler Norsk Vann å bruke 20 år for bysenter (Lindholm et al., 2008). Trones-feltet ligger såpass tett opp mot bysenteret i Sandnes at dette gjentakintervallet ses på som gjeldende også her. Dette valget støttes av Sandnes kommune som bruker tilsvarende i lignende tilfeller.

Dimensjonerende 20-års regn lages som et symmetrisk designregn (se 4.1.4).

### **4.1.2. Klimafaktor**

For å møte klimaendringene (kapittel 2.2) på best mulig måte, anbefales det å legge til et påslag, en såkalt klimafaktor, på de dimensjonerende nedbørsmengdene. Denne faktoren skal ta høyde for framtidig klimautvikling og gir på den måten en ekstra sikkerhet på toppen av det dimensjonerende nedbørstilfellet.

Estimatene for de framtidige klimaendringene varierer både lokalt og regionalt, så det er derfor vanskelig å gi klimafaktoren en generell størrelse. Forskjellige danske og svenske utredninger anbefaler en faktor mellom 1,2 -1,5 (Lindholm et al., 2012), noe som delvis støttes av Olsson mfl. (2009) som fant faktorer på 1,2 – 1,6 frem mot år 2100. Sandnes kommune opererer normalt med en faktor på 1,2 (Sandnes-kommune, 2012a).

Med bakgrunn i litteraturen og samtaler med veileder, ses det videre i denne oppgaven på to forskjellige klimafaktorer. I tillegg til en faktor på 1,2, som kommunen selv bruker, ses det også på en litt mer pessimistisk faktor på 1,6.

### **4.1.3. Syntetiske og symmetriske hyetogrammer**

Et syntetisk regn, eller et «design-regn» som det også kalles, har et nedbørsprofil som er idealisert ut fra et statistisk gjentakintervall. Det finnes mange forskjellige design-regn med tilhørende hyetogrammer<sup>10</sup>.

I Norge brukes ofte et symmetrisk hyetogram, særlig ved bruk av datamodeller (Thorolfsson, 2012). Med dette regnet får man dimensjonerende vannføringer i alle deler av ledningsnettet i en og samme beregning, og hyetogrammet kan benyttes til alle ledningsnett, uansett

---

<sup>10</sup> Kurve som viser nedbørintensitet som funksjon av tid.

konsentrasjonstid, så lenge man befinner seg innenfor samme meteorologiske forhold (Lindholm et al., 2012).

#### 4.1.4. Konstruksjon av symmetriske hyetogrammer

Symmetriske hyetogrammer kan konstrueres direkte fra en IVF-kurve ved å følge en bestemt prosedyre. Prinsippet er at regnvolumet innenfor de X mest intensive minuttene (X/2 minutter på hver side av midtlinjen) i hyetogrammet nøyaktig skal tilsvare regnvolumet i et kasseregner med varighet X minutter. Hyetogrammet antas å være symmetrisk om sin midtakse (varighet/2) (Lindholm et al., 2012).

Prosedyren for å konstruere et symmetrisk hyetogram, basert på en returperiode på 20 år, med et beregningssteg på 5 minutter og en total regnvarighet på 60 minutter, er etter (Lindholm et al., 2012) og (Thorolfsson, 2012) som følger:

Fra IVF-kurven (Figur 20) hentes det ut verdier for intensitet ved ulike varigheter. Disse plukkes direkte ut fra kurven og/eller tilhørende tabell. Verdiene som danner grunnlaget for konstruksjonen av hyetogrammet er vist i Tabell 1.

**Tabell 1: Nedbørintensiteter for ulike varigheter ved et 20-års regn, hentet fra IVF-kurve.**

Varighet (min)	Intensitet (l/s*ha)
10	193,6
20	118,1
30	88,3
40	74,0
50	67,0
60	60,7

Videre beregnes intensiteter etter følgende beregningsmetode:

$$I_{10} = \frac{V_{10}}{\Delta t} = \frac{193,6 * 10}{10} = 193,6 \text{ l/s} * \text{ha}$$

$$I_{20} - I_{10} = \frac{V_{20} - V_{10}}{\Delta t} = \frac{(118,1 * 20) - (193,6 * 10)}{10} = 42,6 \text{ l/s} * \text{ha}$$

$$I_{30} - I_{20} = \frac{V_{30} - V_{20}}{\Delta t} = \frac{(88,3 * 30) - (118,1 * 20)}{10} = 28,7 \text{ l/s} * \text{ha}$$

$$I_{40} - I_{30} = \frac{V_{40} - V_{30}}{\Delta t} = \frac{(74,0 * 40) - (88,3 * 30)}{10} = 31,1 \text{ l/s} * \text{ha}$$

$$I_{50} - I_{40} = \frac{V_{50} - V_{40}}{\Delta t} = \frac{(67,0 * 50) - (74,0 * 40)}{10} = 39,0 \text{ l/s} * \text{ha}$$

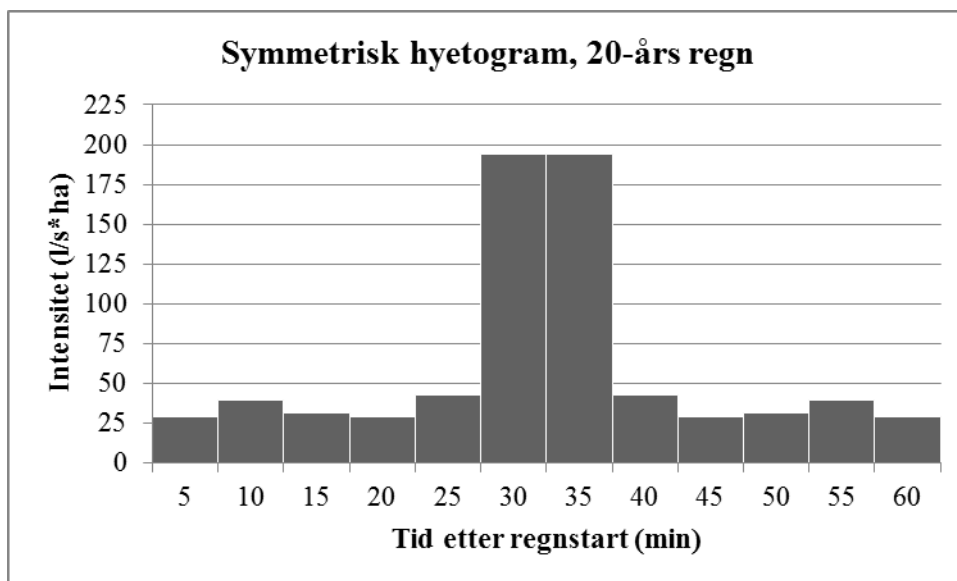
$$I_{60} - I_{50} = \frac{V_{60} - V_{50}}{\Delta t} = \frac{(60,7 * 60) - (67,0 * 50)}{10} = 29,2 \text{ l/s} * \text{ha}$$

Oppsummert får vi da et 60 minutters regn «fordelt» på 5 minutters intervaller, som danner det direkte grunnlaget for det symmetriske hyetogrammet. Varighet og intensiteter for det nå ferdige hyetogrammet er vist i Tabell 2.

**Tabell 2: Grunnlag for symmetrisk hyetogram.**

Minutter etter regnstart	Intensitet (l/s*ha)
5	29,2
10	39,0
15	31,1
20	28,7
25	42,6
30	193,6
35	193,6
40	42,6
45	28,7
50	31,1
55	39,0
60	29,2

Verdiene fra tabellen ovenfor fremstilles så grafisk for å få det visuelle hyetogrammet, som er vist i Figur 21.



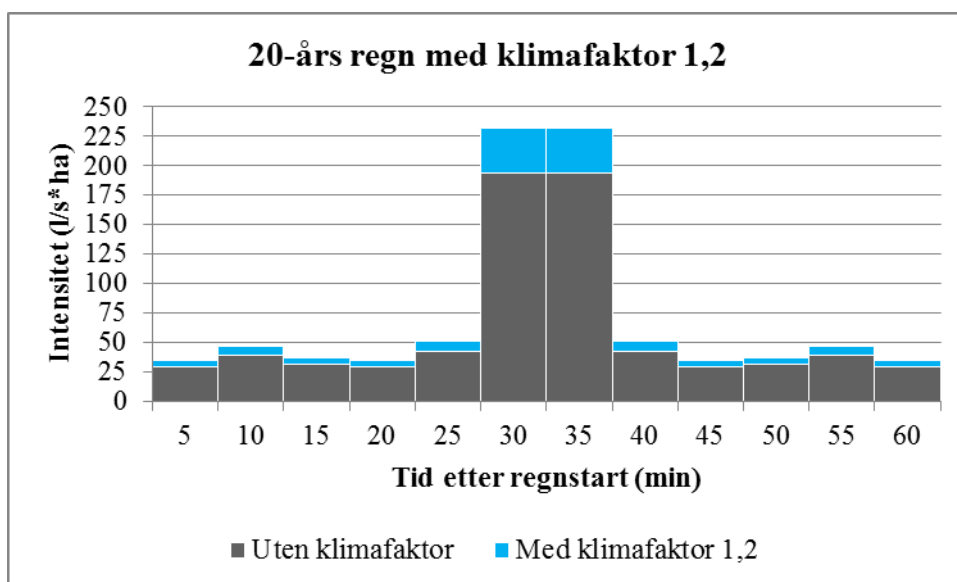
Figur 21: Symmetrisk hyetogram med en varighet på 60 min og en returperiode på 20 år.

#### 4.1.5. Nedbørsscenarioer

Under simuleringene i Mike Urban ble det valgt å se på følgende nedbørsscenarioer:

##### 20-års regn med klimafaktor 1,2

Det konstruerte hyetogrammet for dette scenarionet vises i Figur 22.



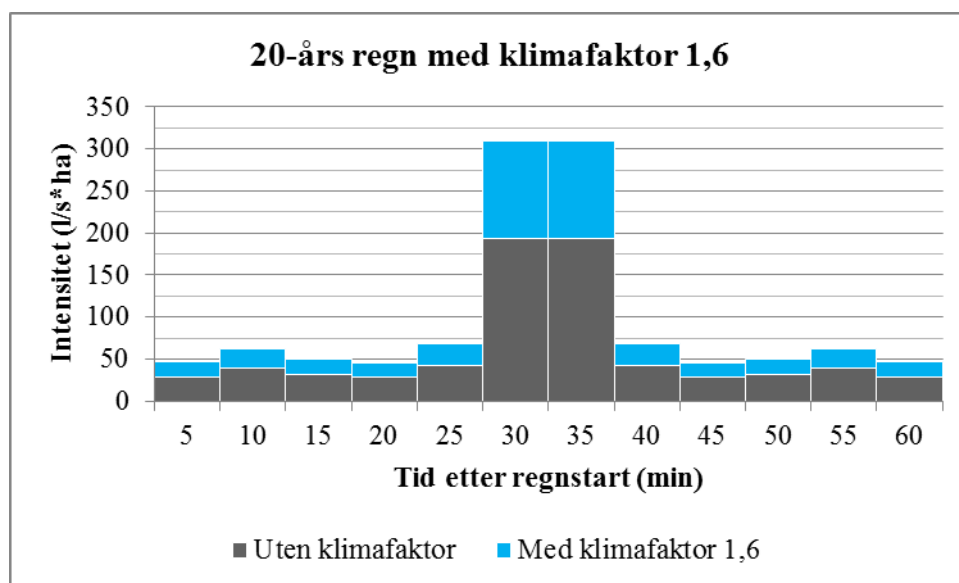
Figur 22: Hyetogram for et 20-års regn med klimafaktor 1,2.

Tilhørende verdier for intensiteten over tid vises i Tabell 3.



## 20-års regn med klimafaktor 1,6

Figur 23 viser hyetogrammet for dette nedbørsscenariot.



**Figur 23: Hyetogram for et 20-års regn med klimafaktor 1,6.**

Tilhørende verdier for intensiteten over tid vises i Tabell 3.

**Tabell 3: Intensitet (l/s\*ha) over tid ved 20-års regn, med og uten klimafaktor.**

Tid (min)	Intensitet (l/s*ha), 20-års regn		
	Uten klimafaktor	Klimafaktor 1,2	Klimafaktor 1,6
5	29,2	35,0	46,7
10	39,0	46,8	62,4
15	31,1	37,3	49,8
20	28,7	34,4	45,9
25	42,6	51,1	68,2
30	193,6	232,3	309,8
35	193,6	232,3	309,8
40	42,6	51,1	68,2
45	28,7	34,4	45,9
50	31,1	37,3	49,8
55	39,0	46,8	62,4
60	29,2	35,0	46,7



De konstruerte tidsseriene for nedbør som ble brukt i modellsimuleringene hadde en varighet på 4 uker. Det ble i hovedsak benyttet 3 forskjellige tidsserier:

- 3 uker med 5 mm/døgn + 20-års regnet + 1 uke med 0 mm/døgn
- 3 uker med 10 mm/døgn + 20-års regnet + 1 uke med 0 mm/døgn
- 3 uker med 0 mm/døgn + 20-års regnet + 1 uke med 0 mm/døgn

Ved å variere nedbørsmengdene i de 3 ukene før 20-års regnet fikk jeg sett på hvordan forskjellige grader av fuktighet i flatene påvirket avrenningen fra hendelsen. Uken etter 20-års regnet ble kjørt uten nedbør slik at også tømmingen av systemet og den «trege» avrenningen (fra RDI-arealet) kunne observeres.

## 4.2. Infiltrasjonsmålinger

### 4.2.1. Modified Philip-Dunne Infiltrrometer

Et MPD infiltrrometer (Modified Philip-Dunne infiltrrometer) er et instrument som ble utviklet for å måle overflateinfiltrasjonen i forskjellige typer SUDS og andre infiltrasjonsløsninger. Instrumentet er en modifisert utgave av det originale Philip-Dunne infiltrrometeret og er en forholdsvis enkel konstruksjon. I motsetning til det originale infiltrrometeret (som er avhengig av et borhull), brukes en MPD på overflaten, noe som i tillegg til å forenkle selve måleprosessen, gjør at vi kan måle infiltrasjonskapasiteten i overflatelaget (Nestingen, 2007).

MPD'ene som ble brukt i denne oppgaven var sylindereformede plastrør med lengde 0,5 meter og en indre diameter på 100 mm. Langs ytterveggen på instrumentene, 5 cm fra bunnen, er det festet et målebånd for avlesning av vannstand. Figur 24 viser et av infiltrrometerne fra en måling i Sandnes i april 2013.



**Figur 24: MPD infiltrrometer fra måling i Sandnes. Notatblokk og stoppeklokke er på plass (Foto: T. A. Lende).**

Før målingene kan utføres må det tas jordprøver rundt prøvetakingspunktet. Dette gjøres for å bestemme vanninnholdet i jorda, før infiltrasjon. Det tas flere prøver for å få en gjennomsnittlig riktig verdi. Prøvene analyseres i laboratoriet ved hjelp av tørkeskap. Prøvene

veies både før og etter tørking, slik at vanninnholdet kan bestemmes.

Selve infiltrasjonsmålingen utføres ved å stikke MPD'en 5 cm ned i jordoverflaten. Deretter fylles sylindren med vann og vannstanden over tid leses av med jevne mellomrom. Når infiltrometeret er tomt for vann, tas det jordprøve i målepunktet for å finne vanninnholdet i vannmettet jord.

Resultatene fra målingene og jordprøvene føres inn i en spesialutviklet matlabkode som beregner et estimat for jordens vannmettede hydrauliske konduktivitet ( $K_{sat}$ )<sup>11</sup> og tensjon (C). Matlabkoden, som er utviklet av Kim Paus etter prinsippene fra Nestingen (2007), beregner de nevnte parameterne basert på blant annet Green-Ampt metoden og Darcy's lov (Nesting, 2007).

For å få et bedre inntrykk av infiltrasjonskapasiteten gjøres det gjerne forsøk med flere MPD'er samtidig i samme område. Under infiltrasjonsmålingen i Sandnes (10.04.13) ble det benyttet 5 MPD'er på en gang, noe som vises i Figur 25.



**Figur 25: Flere MPD'er (5 stk.) i bruk samtidig. 4 vises på bildet, mens nr. 5 står utenfor høyre bildekant (Foto: T. A. Lende).**

Som følge av at dette er en metode modifisert for å kunne utføres på overflaten, anbefales det at den kun benyttes til å estimere vannmettet hydraulisk konduktivitet i de øverste 30 cm av jorda (Gulliver et al., 2010).

<sup>11</sup> Hydraulisk konduktivitet beskriver hvor lett geologisk materiale tillater en væske å strømme fra pore til pore (Brattli, 2011).

### 4.2.2. Hydraulisk konduktivitet

Løst forklart kan det sies at den hydrauliske konduktiviteten beskriver hvor lett et geologisk materiale tillater en væske å strømme fra pore til pore. Parameteren er i hovedsak avhengig av to forhold; væskens strømningssegenskaper og jordartens strømningssegenskaper. At en tyntflytende væske strømmer lettere gjennom et porøst medium enn en seig væske virker logisk, men i tillegg må også passasjen mellom porene i mediet være god. Eksempelvis har leire stor porøsitet, men de ekstremt små porene gjør at den hydrauliske konduktiviteten likevel er lav (Brattli, 2011).

Ved å bruke et MPD infiltrometer vil vi kunne estimere den vannmettede hydrauliske konduktiviteten ( $K_{sat}$ ), altså hydraulisk konduktivitet ved vannmettede forhold. USDA<sup>12</sup> (2006) har laget en klassifisering hvor  $K_{sat}$  rangeres fra *veldig høy* til *veldig lav*. Tabell 4 viser denne klassifiseringen.

**Tabell 4: Klassifisering av vannmettet hydraulisk konduktivitet.**

<b>Klasse</b>	<b><math>K_{sat}</math> (cm/time)</b>
<b>Veldig høy</b>	36 – 253,8
<b>Høy</b>	3,6 – 36
<b>Moderat høy</b>	0,36 – 3,6
<b>Moderat lav</b>	0,036 – 0,36
<b>Lav</b>	0,0036 – 0,036
<b>Veldig lav</b>	0 – 0,0036

<sup>12</sup> United States Department of Agriculture

### **4.3. Tiltak for å redusere avrenningen i Trones-feltet**

#### **4.3.1. Tiltak 1: Frakobling av takvann**

Hovedprinsippet for en bærekraftig overvannshåndtering bør være å tidligst mulig lede avrenningen tilbake til vannets naturlige kretsløp. Overvannet håndteres best ved kilden og den mest effektive måten å gjøre dette på er å redusere andelen impermeable flater (Stahre, 2006). Dette danner grunnlaget for det første avrenningsreduserende tiltaket i Trones-feltet.

Alle bygninger i Trones-feltet er tilkoblet overvannsnettet ved at alt takvann går direkte inn i rørene. I området er det mange bygninger, men samtidig mye grønne flater, så dermed vil en utkobling av takvannet kunne være et godt tiltak.

Frakobling av takvannet vil si å fjerne koblingen mellom taknedløpet og overvannsrørene i bakken, og i stedet lede vannet ut på en gressplen eller lignede for forsinkelse og infiltrasjon. Selvfølgelig er det en del forhold som vil påvirke hvor godt denne løsningen vil fungere, som f.eks. helningen på terrenget, infiltrasjonsevne, taknedløpets plassering osv. Disse forholdene, i tillegg til andre momenter, er blitt forsøkt tatt hensyn til i den grad det lar seg gjøre når man benytter seg av et digitalt modelleringsverktøy.

Et scenario hvor samtlige taknedløp blir frakoblet er trolig ikke veldig realistisk. Det er likevel benyttet et slikt scenario, siden man da får sett på den totale/maksimale virkningen tiltaket vil kunne ha på avrenningen fra feltet. I tillegg er det sett på 2 andre scenarioer; 50 % frakobling og 20 % frakobling, som nok er mer realistiske tilfeller.

#### **Erfaringer fra Fredrikstad kommune**

Etterfølgende avsnitt er basert mailkorrespondanse med overingeniør Ole Petter Skallebakke i Fredrikstad kommune. Avsnittet er ment å beskrive litt av fremgangsmåten og utfordringene knyttet til et slikt tiltak.

Fredrikstad kommune er en aktør som har gått litt bresjen for denne typen tiltak. De har gitt eiere av boliger i utsatte områder pålegg om frakobling av taknedløp, mens nye boliger som blir oppført har fått forbud mot å lede takvann til avløpsnettet.

For å få gjennomført dette tiltaket skjønte de at de trengte hjemmel i en lov, samtidig som de fikk boligeiernes forståelse. Måten de gikk frem på var å omtale saken i pressen før påleggene ble sendt ut, slik at folk skjønte at dette var et reelt problem og at noe måtte gjøres.

Med hjemmel i forurensningslovens § 22, 2. ledd, pkt. 2, sender de først ut et varsel om pålegget som vil komme. I dette varselet informerer de om situasjonen og hensikten med



tiltaket. I tillegg beskrives forhold rundt boligeiernes rettigheter, og det nevnes også at det gis økonomisk støtte til berørte boligeiere for å delvis dekke materielle kostnader.

En stund senere (noen måneder) sender de selve pålegget om frakobling av taknedløp.

Dersom utkobling av takvannet vil føre til åpenbare problemer for boligeiere eller naboer, oppfordres de til å kontakte kommunen.

For å unngå at vannet fra taknedløpet skal skape problemer f.eks. ved at det fører til skader eller at det renner ned på trappa til en nabo, har kommunen bestemt seg for å være relativt slepphendte når det gjelder dispensasjoner.

Etter hvert som disse påleggene blir gitt i nye og flere områder, har folks forståelse økt betraktelig. I begynnelsen forstod folk ingenting av dette, mens nå får kommunen knapt noen negative henvendelser i det hele tatt.

Oppfølgingen av påleggene, fra kommunens side, har vært i form av et påminnelsesbrev ca. ett år etter. En opptelling har vist at ca. 60 % har gjennomført det pålagte tiltaket. Selv om dette er et stykke fra alle, har det hatt en god effekt på vannmengdene i rørsystemet.

Figur 26 viser en enkel veiledende brosjyre laget av Fredrikstad kommune.



Figur 26: Brosjyre for veiledning om frakobling av taknedløp (Fredrikstad kommune).

### **4.3.2. Tiltak 2: Benytte Gisketjern til fordrøyning**

Gisketjern, som befinner seg i den øvre delen av Trones-feltet, har flere ganger tidligere vært tiltenkt en rolle som fordrøyningmagasin for overvann. Forslaget har imidlertid aldri blitt gjennomført, så dette er et tiltak som er interessant å utforske. Tjernet plassering gjør at mengdene som kan ledes ut i det er begrensede. Men dersom hele overvannsnettets oppstrøms tjernet tilkobles, vil dette trolig likevel gi god effekt på avrenningen.

Ledningsdatabasen til kommunen viser at det tidligere har blitt lagt et rør fra det eksisterende overvannsnettets ut mot tjernet. Røret går ikke helt bort til tjernet, men det kan se ut som en tidligere påbegynt sammenkobling. Ledningen er i dag ikke i bruk og er koblet ut ved hjelp av ventiler.

Tiltaket som skal utforskes baserer seg på en videreføring av den eksisterende ledningen, slik at den når helt ut i tjernet. Den nye ledningen vil ha en diameter på 400 mm, et fall på ca. 11 ‰ og en lengde på ca. 44 m. Hele overvannsnettets oppstrøms tjernet kobles på.

Vannkvaliteten i Gisketjern er som tidligere beskrevet ikke bra. En tilføring av ekstra vann vil trolig kunne ha en positiv effekt også på dette området, siden vi da vil få mer sirkulasjon og en hyppigere utskifting av vannet i tjernet.

I forbindelse med dette tiltaket ble det også utført infiltrasjonsmålinger med MPD infiltrometer (kap.4.2.1) i skogholtet som omkranser tjernet.

## **5. Resultater og diskusjon**

I dette kapitlet vil oppgavens resultater bli presentert. Først vil det bli gitt en punktvis opprømsing av hvordan modellen i Mike Urban ble bygget opp og hvordan den ble til slutt. Deretter vil resultatene fra simuleringene av de ulike tiltakene bli presentert. Resultatene vil bli diskutert underveis mens det i tillegg vil komme en mer oppsummerende diskusjon i kapittel 6.

### **5.1. Bygging av modell i Mike Urban**

#### **5.1.1. Bakgrunn**

Den eksisterende Mike Urban-modellen for Sandnes sentrum inkluderer ikke avløpsnett i Trones-feltet. Modellen dekker sentrumsområdet nedstrøms Trones, noe som betyr at vannet fra Trones «renner ned» i det eksisterende modellområdet.

For å kunne benytte meg av Mike Urban i denne oppgaven var det derfor nødvendig med en utvidelse av modellen.

#### **5.1.2. Modellering av Trones-feltet**

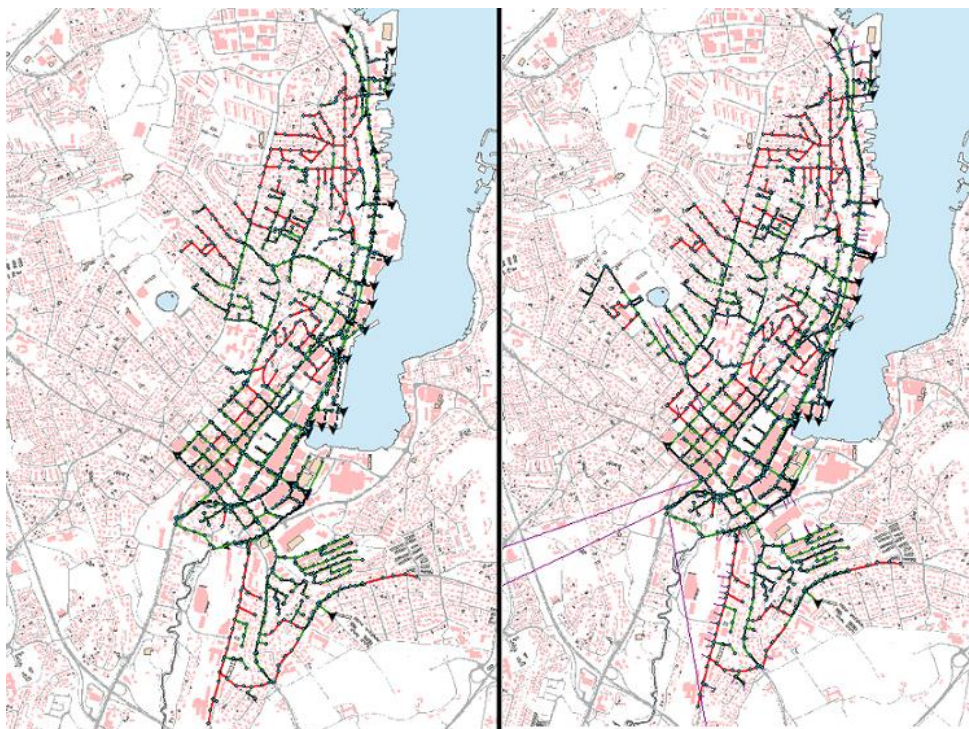
Videre følger en punktvis gjennomgang av prosessen som ble gjennomført for å bygge modellen, samt mange av verdiene og antagelsene som ble brukt underveis. Prosessen med å gjøre en slik jobb vil selvfølgelig variere mye fra prosjekt til prosjekt, så det som blir beskrevet under er på ingen måte dekkende for alt lignende modellarbeid. Likevel kan prosessen brukes som en generell fremgangsmåte for å bygge slike modeller. Feilmeldinger, problemer og utfordringer som dukker opp underveis vil naturligvis også variere fra prosjekt til prosjekt.

#### Proessen for Trones-feltet:

- Den eksisterende modellen for Sandnes sentrum ble supplert med ledningsdata fra Sandnes kommunes Gemini VA-database. Disse ble direkte importert, uten noen form for kvalitetssikring.

Hvordan modellen så ut før og etter importeringen av ledningsdataene fra Trones-feltet vises i Figur 27.





**Figur 27: På bildet til venstre er den opprinnelige modellen. Til høyre ses modellen etter importering av Trones-feltet fra Gemini VA (Skjerm bilde fra Mike Urban).**

- Det ble lagt inn shape-filer (bakgrunnsfiler) for terreng, veger, jernbane, bygninger og vannflater i modellen. Disse synes også i Figur 27.
- Siden både modellen og shape-filene er såpass store og detaljerte, gikk det veldig tregt å jobbe i Mike Urban. Shape-filene ble derfor forsøkt klippet vha. programvaren ArcMap for å få mindre filer. Dette viste seg å være en verre jobb en først antatt, så resultatet her ble heller dårlig. I tillegg fikk ikke dette så stor effekt som vi håpet på.
- For å få et grunnlag for å kontrollere ledningsnett i Trones-feltet måtte jeg gjøre meg skikkelig kjent med området (veger, flater, topografi og høydeforhold). Dette ble først gjort vha. ulike kart og karttjenester, og senere supplert med en befarings.
- Siden kommunenes Gemini VA-databaser ofte inneholder mye feil og mangler måtte alle ledningstraséer og noder manuelt kontrolleres for høyder, dimensjoner, materialer og generell sammenheng. Det ble gjort endringer der hvor løsningene var åpenbare, mens det ble laget en liste over alle punkt hvor jeg ikke klarte å se løsningene (pga. ulogiske sammenhenger og ingen forkunnskaper om VA-nettet i området).

- Modellområdet ble delt inn i mindre nedslagsfelt, basert på kart, høydekoter, shape-filer og antagelser. Dette var kun en foreløpig første inndeling for å få litt oversikt.
- Første besøk i Sandnes:  
Sammen med representanter fra Sandnes kommune, ble det gjennomført en befaring i Trones-feltet. Mange usikre punkter ble sjekket opp i og vi fikk sett ned i enkelte kummer og overløp for å se på utforming, terskler, høyder osv.  
Etter befaringen hadde vi et møte hvor vi diskuterte ulike momenter, løsninger og usikkerheter mht. modellen. Her kom det innspill fra Kirsten Vike, Odd Arne Vagle og Signe Kvandal, alle ansatt i Sandnes kommune.
- Andre besøk i Sandnes:  
Formålet med dette besøket var primært å få ryddet opp i alle uklarheter og feil med ledningsnett i modellen, slik at videre arbeid kunne fortsette.  
Listene med feil og mangler ble gjennomgått og kontrollert opp mot kumkort, Gemini VA og andre ledningskart.  
Jeg fikk tilgang på en ny shape-fil som inneholdt stikkledningene i området, noe som var nødvendig for å kunne dele inn i mindre og mer nøyaktige nedslagsfelt.
- Endelig inndeling av nedslagsfelt ble nå gjort. For ikke å gjøre modellen for komplisert, endte jeg opp med 18 (litt større) delfelt i Trones-feltet.
- Overflateavrenningen ble koblet sammen med rørsystemet ved at alle delfelt ble knyttet opp mot noder nedstrøms i feltet.
- For å få med Gisketjern som et element i modellen, måtte dette legges inn som en veldig stor kum/basseng med et definert utløp. Her ble det brukt følgende verdier:  
*Areal = 8270 m<sup>2</sup> (sandnes.kommune.no - karttjeneste)*  
*Tjernets gjennomsnittlige dybde, H = 1,0 m (Vagle, 2013, Vike, 2013)*  
*Høyde på utløp = 1,0 m over bunn*  
*Høyde på tjernets kant = 1,60 m (egne observasjoner og målinger)*  
Dette betyr da at tjernet representeres med et 8270 m<sup>2</sup> stort basseng, med en høyde på 1,60 m og et utløp plassert 1,0 m over bunnen.

- Impermeable flater og hydrologiske parametere for hvert delfelt ble så beregnet. Her benyttet jeg Mike Urbans eget verktøy, «Catchment Processing». Verktøyet beregner andelen (%) impermeable flater i hvert delfelt, basert på hvilke shape-filer som defineres som impermeable (i dette tilfellet: alle bygninger og veger).  
 Prosessen gikk langt fra smertefritt og det ble mye feilmeldinger og problemer med programmet. Etter en del korrespondanse med DHI-brukerstøtte og Kirsten Vike fant vi til slutt ut at problemet satt i shape-filene og at disse sannsynligvis overlappet hverandre enkelte steder. For å kunne benytte denne prosessen måtte shape-filene bearbejdes i programvaren ArcGIS. Der ble det brukt en «Geoprocessing-metode» til å slå de ulike shape-filene sammen til én fil som inneholdt alle tette flater i hele Tronesfeltet. Beregningene av de impermeable flatene gikk deretter greit.  
 Ved beregningen ble det antatt et initialtap på 0,6 mm som skyldes «fukting» av tette flater. Ifølge DHI er dette standard ved slike beregninger (Vike, 2013). Det ble også tatt utgangspunkt i en reduksjonsfaktor på 0,9, noe som betyr at det antas at 90 % av de tette flatene er direkte tilkoblet ledningsnett.

- Neste steg var å beregne de permeable flatene, det såkalte RDI-areale. Disse beregningene ble gjort manuelt. Her ble det brukt skaleringsfaktorer for å angi hvor stor del av det permeable arealet som bidrar til den indirekte avrenningen til ledningsnett. Erfaring viser at skaleringsfaktorer for felt med eget overvannsnett og felt med fellessystem ligger på henholdsvis 0,8 og 1,0 (Vike, 2013).  
 Alle arealer oppgis i %, så beregningene for RDI-areale ble gjort med følgende formler:

Felt med eget overvannsnett:

$$RDI_{areal} [\%] = (A_{Total} - A_{Impermeable}) \times 0,8$$

Felt med fellessystem:

$$RDI_{areal} [\%] = (A_{Total} - A_{Impermeable}) \times 1,0$$

- Konsentrasjonstider for alle nedslagsfelt måtte beregnes. Her ble det tatt utgangspunkt i en gjennomsnittlig vannhastighet på 1,0 m/s i ledning ( $t_{rør}$ ). Tilrenningstid ( $t_t$ ) fra ytterste punkt i hvert delfelt ble beregnet ved bruk av Mannings formel. Man måler da lengden vannet renner på overflaten, gjennomsnittlig helning på terrenget (I) og antar

at vi har en 1 cm høy vannstrøm med lang utstrekning ( $b > 20 \cdot h$ ) (Thorolfsson, 2012).  
I tillegg må det settes et Manningstall for overflaten.

Mannings formel:  $v = M \times R^{2/3} \times I^{1/2}$

Dersom  $b > 20h \rightarrow R = h$  (Chanson, 2004)

Dermed kan farten ( $v$ ) beregnes og tilrenningstiden kan finnes. Denne tiden må  
adderes med tiden vannet bruker i ledningene siden konsentrasjonstiden består av to  
faktorer:  $t_k = t_{rør} + t_t$ . Under vises et eksempel på en av beregningene som ble gjort.

Eksempel:

$L_{overflate} = 100 \text{ m}$        $\Delta h = 4 \text{ m}$        $n = 0,030$       Antar  $h = 0,01 \text{ m}$  og  $b > 20h$   
Lengde og høydeforskjell ble hentet fra kartdata mens Mannings  $n$  ble hentet fra  
(Pazwash, 2011).

$$I = \frac{\Delta h}{L_{overflate}} = \frac{4 \text{ m}}{100 \text{ m}} = 0,04 \text{ (m/m)}$$

$$M = \frac{1}{n} = \frac{1}{0,030} = 33 \text{ (m}^{\frac{1}{3}}\text{)}$$

$$v = M \times R^{2/3} \times I^{1/2} = 33 \times 0,01^{2/3} \times 0,04^{1/2} = 0,31 \text{ m/s}$$

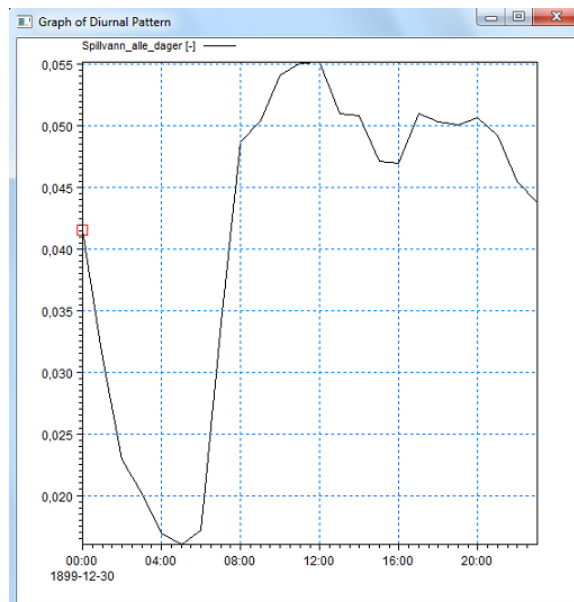
$$t_t = \frac{L_{overflate}}{v} = \frac{100}{0,31} = 323 \text{ sek.}$$

Denne tilrenningstiden ble lagt sammen med tiden vannet brukte i rør ( $t_{rør}$ ). I dette  
tilfellet var rørstrekningen 160 m. Med en antatt gjennomsnittlig hastighet i røret på  
1,0 m/s ble konsentrasjonstiden for dette feltet på 8 min:

$$t_k = t_{rør} + t_t = 160 + 323 = 483 \text{ sek.} = 8 \text{ min.}$$

- For å kunne beregne spillvannsmengder fra områdene med fellessystem, måtte jeg finne antall PE<sup>13</sup> i disse feltene. I disse beregningene ble det antatt 2,3 PE/bolig. Denne verdien er basert på tall fra (SSB, 2013) og boligmiksen i Trones-feltet.
- Videre i spillvannsberegningene ble det definert et 24-timers «spillvannsmønster» som gjelder for all spillvannsproduksjon i delfeltene med fellessystem. Dette ble satt til å gå i daglige sykluser.

Mønsteret, som er vist i Figur 28, er basert på målinger i Sandnes kommune og kan derfor anses som representativt for Trones-feltet. Verdiene i mønsteret er dimensjonsløse. Det er den relative størrelsen som reflekterer de daglige variasjonene.



**Figur 28: Spillvannsmønsteret som ligger til grunn for spillvannsberegningene i fellessystemene (skjermbilde fra modellen).**

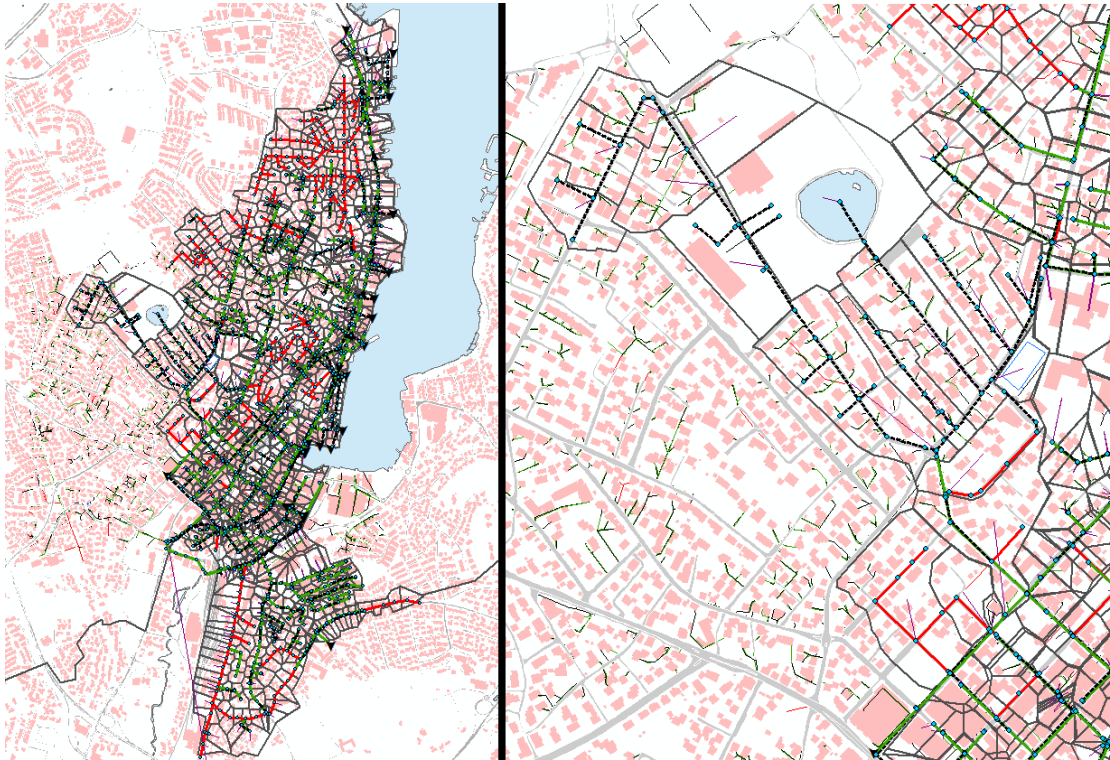
Det ble benyttet en spillvannsproduksjon på 180 l/PE\*døgn, som da vil følge det angitte daglige mønsteret.

- Det siste som måtte inkluderes i modellen for å få den klar til bruk var data for de ytre forholdene. Tidsserier for nedbør, temperatur og potensiell evapotranspirasjon ble laget og bearbeidet i Excel, basert på tall og verdier fra eKlima. Deretter ble de eksportert over i «.dfs0-format», som er formatet Mike Urban bruker.

<sup>13</sup> PE: Personekvivalenter

Alle tidsserier ble lagt inn som såkalte «Boundary Conditions», noe som betyr at de ligger som grensebetingelser for hele modellen.

Hvordan resultatet ble til slutt vises i Figur 29 som gir et ytre overblikk over den nye modellen.



**Figur 29: Ferdig modell, Sandnes sentrum inkludert Trones-feltet (Skjermbilder fra Mike Urban).**

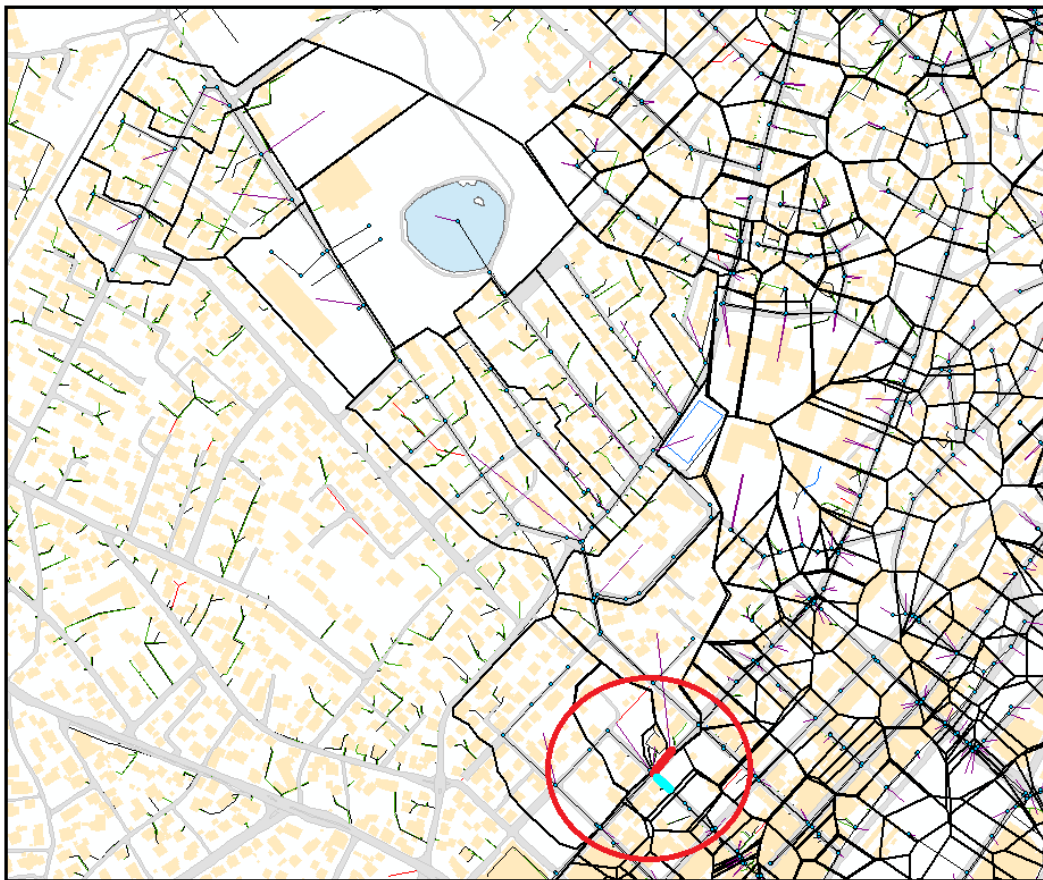


## 5.2. Generelt om simuleringene i Mike Urban

Simuleringene i Mike Urban ble gjort med modellen for Sandnes sentrum, inkludert den nye delen for Trones-feltet. Det ble gjort flere ulike analyser med tiltakene som ble presentert i kapittel 4.3. Det ble sett på vannføringen ut av feltet, flomtopper og overløpsdrift. I tillegg ble det gjort en studie av forregnets betydning for avrenningen fra feltet.

Det ble benyttet to betrakningspunkt for å hente ut resultater fra simuleringene; en ledning og et overløp. Begge befinner seg helt nederst i feltet slik at man får et mest mulig representativt bilde av den totale avrenningen. Ledningen som benyttes er en 800 mm overvannsledning som ligger i Eidsvollgata. Alle vannføringsmålinger som blir presentert er hentet fra denne ledningen. Overløpet (tidligere beskrevet i kapittel 3.2.2) befinner seg i vegkrysset Eidsvollgata – Flintergata og avlaster overvannsledningen fra Trones-feltet ved å lede vannet over på overvannsnettets i sentrum. Dette nettet er allerede overbelastet, så drift på dette overløpet er absolutt ikke å foretrekke.

Begge betrakningspunktene vises i den røde sirkelen i Figur 30.



**Figur 30: Betrakningspunkt for simuleringene i Mike Urban. Den røde streken er ledningen mens den turkise er overløpet.**

I alle simuleringene ble det benyttet 4 uker lange tidsserier, både for nedbør, temperatur og evapotranspirasjon. Først 3 uker med en gitt nedbørsmengde per døgn. Deretter et 20-års regn med klimafaktor (60 min varighet), etterfulgt av 1 uke uten nedbør. For enkelhets skyld ble 20-års hendelsen lagt til kl.10.00-11.00, noe som forklarer tidspunktene i de etterfølgende grafene og diagrammene. Tidsserier for temperatur og evapotranspirasjon ble hentet ut fra en representativ 4-ukers periode i juni 2011.

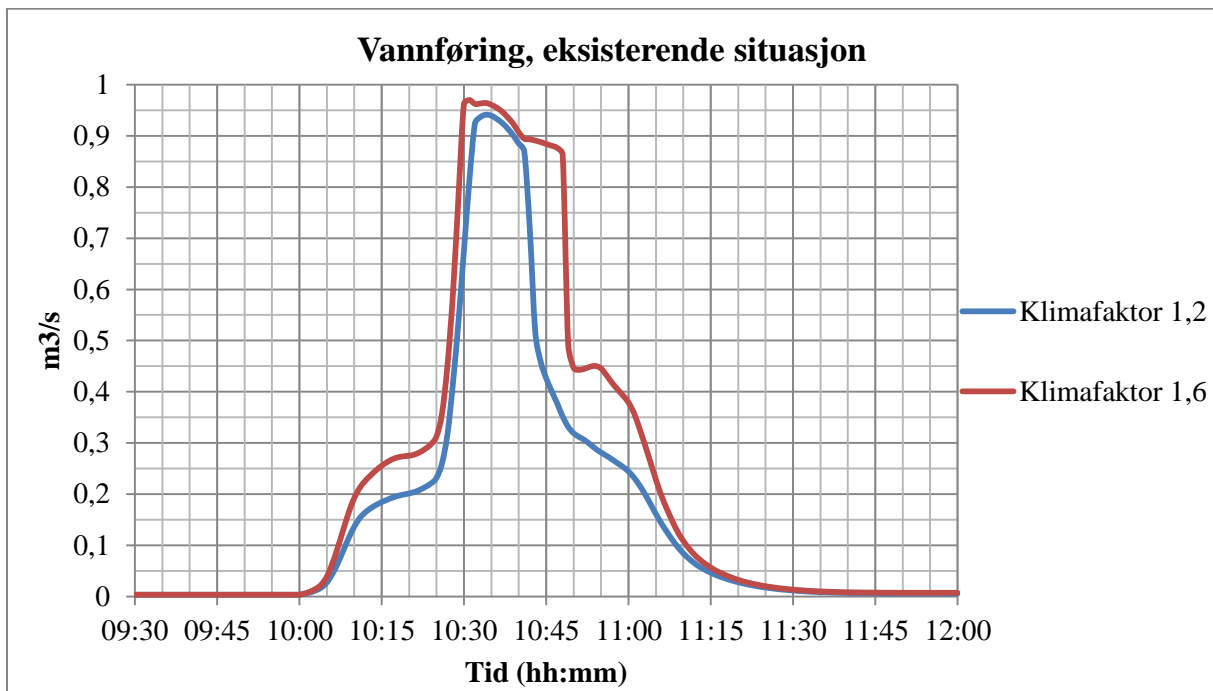


### 5.3. Analyse av vannføring og overløpsdrift

I disse simuleringene ble det benyttet et 3 uker langt forregn med gjennomsnittlig 5 mm nedbør per døgn. Ved å gjøre dette blir 20-års hendelsen analysert på bakgrunn av allerede oppfuktede flater, noe som vil gi dimensjonerende situasjon.

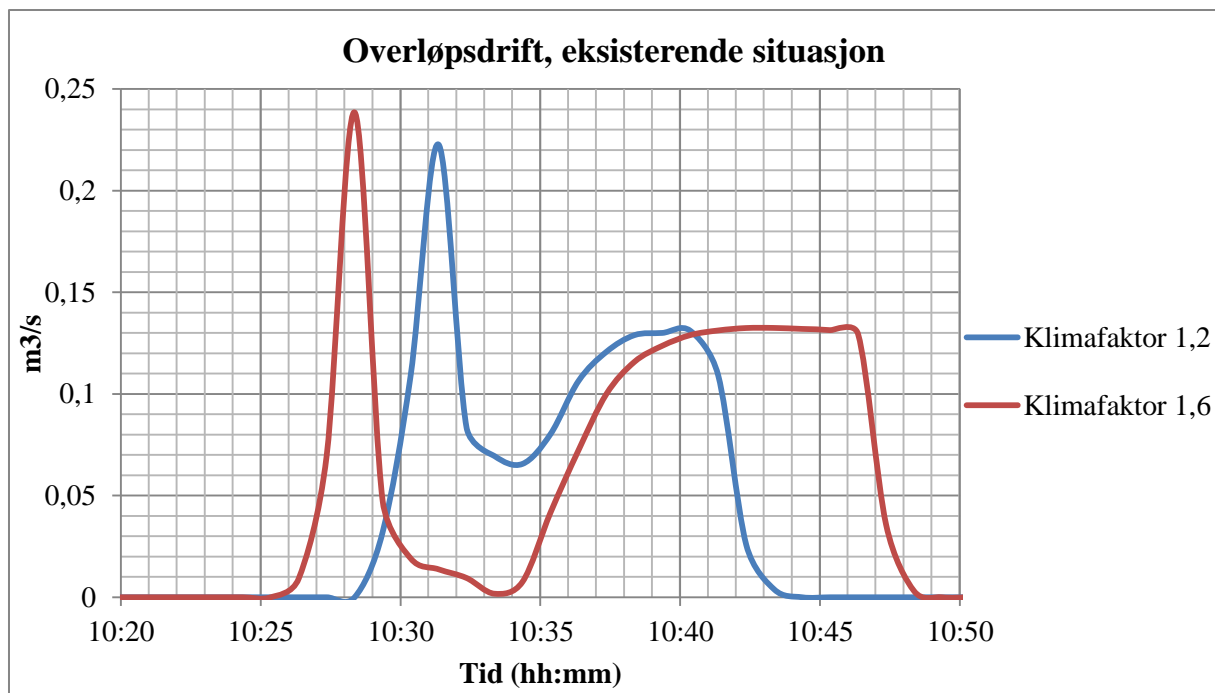
#### 5.3.1. Dagens situasjon

For å ha et sammenligningsgrunnlag ble det gjort simuleringer med dagens situasjon i feltet. Vannføringen ved en 20-års hendelse er vist i Figur 31.



**Figur 31: Vannføring fra Trones-feltet ved 20-års regn med klimafaktor. Dagens situasjon.**

Overløpsdriften ved eksisterende situasjon vises i Figur 32.



**Figur 32: Vannføring som går i overløp ved 20-års regn med klimafaktor. Dagens situasjon.**

Fra grafene ovenfor kan vi danne oss et bilde av dagens situasjon. Vannføringen fra Tronesfeltet har en markert topp ca. 35 min etter regnstart. Toppen på en hendelse med klimafaktor 1,6 er faktisk bare 3,1 % større enn med en faktor på 1,2, noe som tyder på at vannføringen i ledningen ligger helt opp under maksimal kapasitet under de gitte trykkforhold.

Noen få minutter etter regnstart øker vannføringen raskt og etter ca. 1,5 – 1,75 timer er den tilbake på et mer stabilt og lavt nivå igjen. Mellom kl.10.00 og kl.12.00 kommer det totalt 1482,78 m<sup>3</sup> vann fra en hendelse med klimafaktor 1,2, mens med en faktor på 1,6 er den totale vannmengden på 1973,10 m<sup>3</sup>, noe som tilsvarer 33 % mer vann.

Som vi ser er det også en god del drift på overløpet. Med en klimafaktor på 1,2 har vi en driftstid på 15 min hvor det totalt går 85,10 m<sup>3</sup> i overløp. Samme verdier med en klimafaktor på 1,6 er 109,62 m<sup>3</sup> vann i løpet av en driftstid på 22 min.

Formen på kurvene for overløpsdriften er noe spesiell, noe som trolig henger sammen med utformingen og den hydrauliske situasjonen i overløpet. Sammenligner vi kurvene for overløpsdriften og vannføringen ser vi at overløpet både trer i drift og ut av drift omtrent ved samme vannføring ved begge klimafaktorer.

De to kurvene for overløpsdrift har tilnærmet samme form, men det er en viss tidsforskyvning mellom dem. Det kraftigste regnværet gir tidligere drift på overløpet, noe som også virker intuitivt riktig. Jo mere og kraftigere regn, jo tidligere vil grunnen bli vannmettet og jo raskere

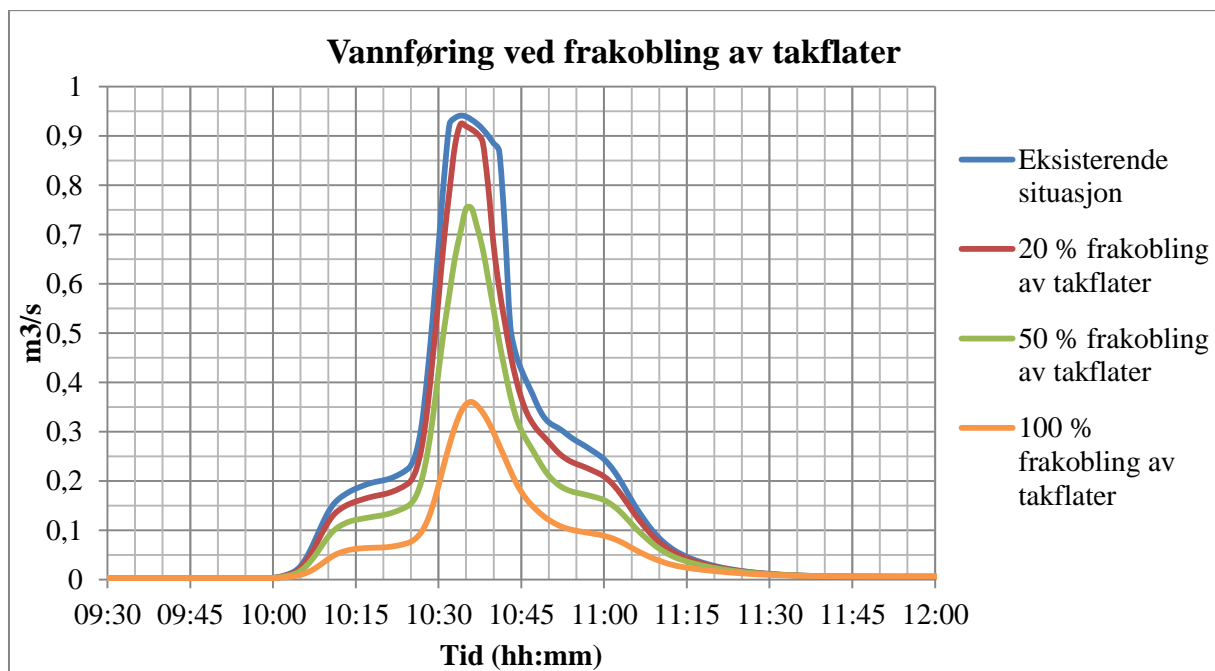
vil overløpet tre i drift. Et større og kraftigere regnvær vil dessuten også gi større vannføring over lengre tid, noe som gjenspeiles i overløpets totale driftstid.

### 5.3.2. Tiltak 1 – Frakobling av takvann

Tiltak 1 er som tidligere nevnt frakobling av takvann. Her er det valgt å se på 3 scenarioer; 20 % frakobling, 50 % frakobling og 100 % frakobling av alle takflater.

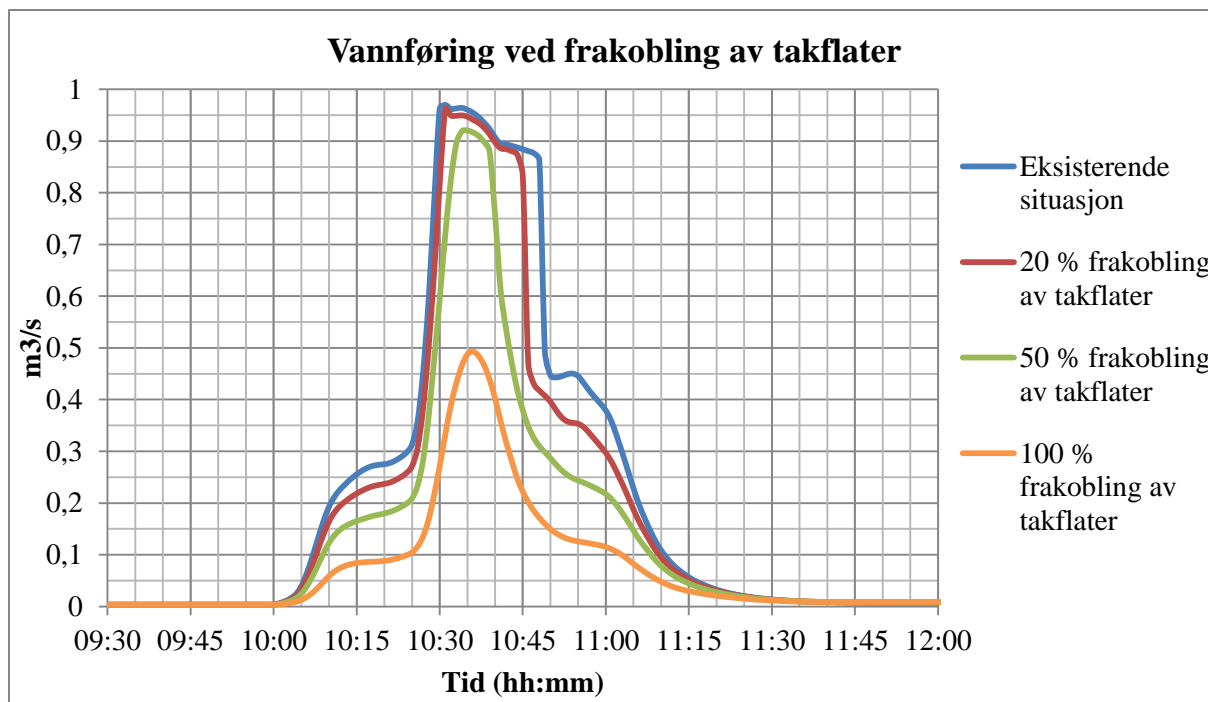
#### Vannføring:

Vannføringen fra et 20-års regn med klimafaktor 1,2 vises i Figur 33.



**Figur 33: Vannføring ved (%) frakobling av takflater. 20-års regn med klimafaktor 1,2.**

Vannføringen fra et 20-års regn med klimafaktor 1,6 vises i Figur 34.



**Figur 34: Vannføring ved (%) frakobling av takflater. 20-års regn med klimafaktor 1,6.**

Som grafene viser får vi en markert nedgang i vannføringen ved frakobling av takflater, spesielt ved 50 % frakobling og 100 % frakobling.

Vannmengder og reduksjon i tidsrommet kl.10.00-12.00 ses i Tabell 5.

**Tabell 5: Vannmengder og reduksjon av disse i tidsrommet kl.10.00-12.00. 20-års regn.**

	Klimafaktor 1,2		Klimafaktor 1,6	
	Vannmengde (m <sup>3</sup> )	Reduksjon (%)	Vannmengde (m <sup>3</sup> )	Reduksjon (%)
<b>Eksisterende situasjon</b>	1482,78	-	1973,10	-
<b>20 % frakobling av takflater</b>	1295,87	12,6	1726,18	12,5
<b>50 % frakobling av takflater</b>	1011,59	31,8	1343,06	31,9
<b>100 % frakobling av takflater</b>	538,28	63,7	712,76	63,9

Tabell 6 viser forandringen i flomtopp for de ulike scenarioene.

**Tabell 6: Flomtopper og reduksjon av disse. 20-års regn.**

	Klimafaktor 1,2		Klimafaktor 1,6	
	Vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Reduksjon (%)	Vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Reduksjon (%)
<b>Eksisterende situasjon</b>	0,941	-	0,970	-
<b>20 % frakobling av takflater</b>	0,924	1,8	0,961	0,93
<b>50 % frakobling av takflater</b>	0,753	20,0	0,920	5,2
<b>100 % frakobling av takflater</b>	0,361	61,6	0,493	49,2

Reduksjonen i vannmengdene må kunne sies å være forholdsvis store. Ved å koble fra 100 % av takflatene i Trones-feltet vil man kunne redusere vannmengdene fra feltet, i de to mest intensive timene, med nærmere 64 %. I tillegg kan flomtoppen reduseres med ca. 50 – 60 %, avhengig av hvilken klimafaktor som benyttes.

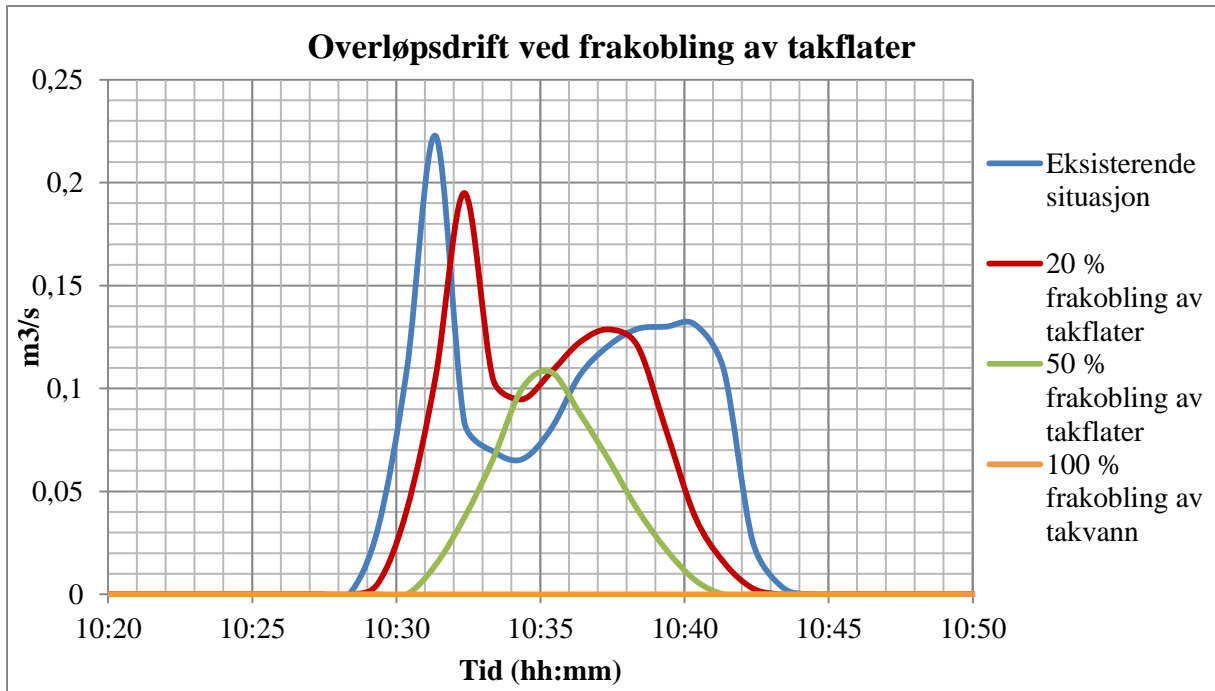
Et scenario som nok er mer realistisk er en frakobling på 50 %. Dette vil kunne gi opp mot 32 % mindre avrenning i de to nevnte timene, samtidig som flomtoppen kan reduseres med 20 % for et 20-års regn med klimafaktor 1,2. En klimafaktor på 1,6 gir derimot ikke samme reduksjonen i flomtopp, men også her kan det forventes en nedgang på over 5 %.

Ellers vil 20 % frakobling av takflater gi liten reduksjon av flomtoppen, men også her vil vi kunne få en betydelig reduksjon i vannmengdene på i overkant av 12 %.

En interessant observasjon er at reduksjonene av flomtoppen er mindre for alle tiltak ved den høyeste klimafaktoren. Infiltrasjonskapasiteten i grunnen er begrenset og etter en viss tid/mengde vil jorden være mettet. Nedbørshendelser som disse to er av såpass stor størrelse at man raskt vil oppnå full fuktighet i de permeable flatene. De permeable flatene vil derfor ha større prosentvis påvirkning på avrenningen fra et mindre regnvær enn de vil fra et større. Det er viktig å huske på at en gitt prosentandel av et lite regn selvfølgelig vil representere en mindre mengde enn den samme prosentandelen av et stort regn.

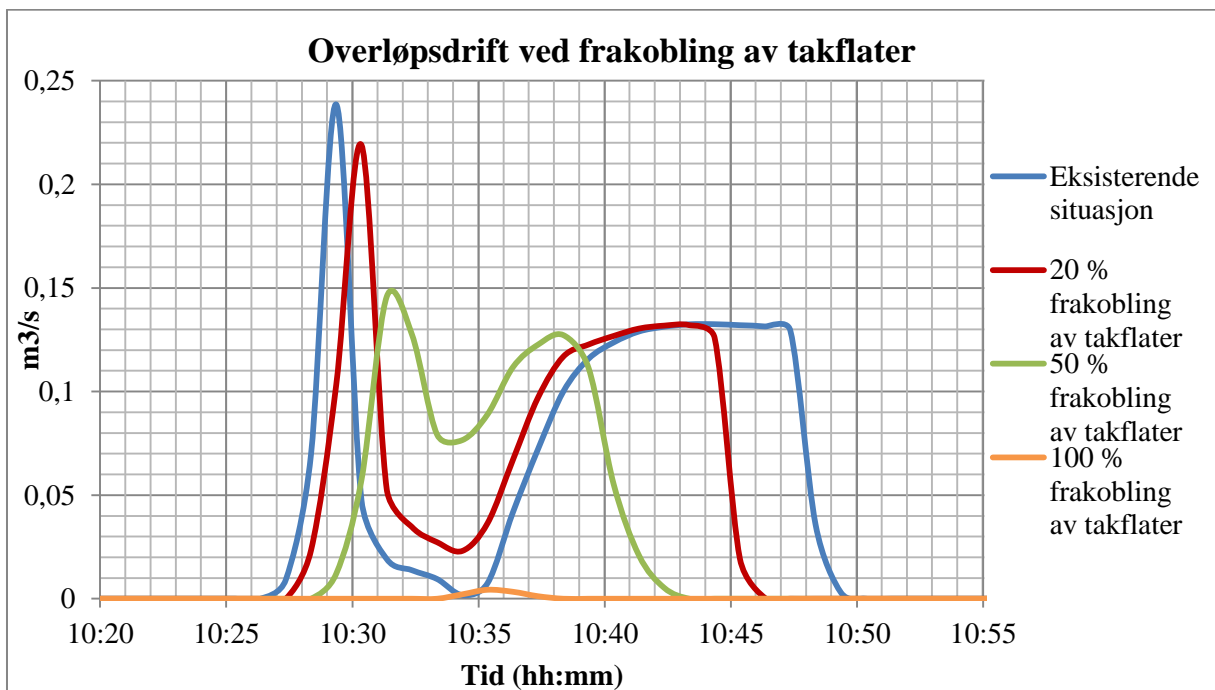
### **Overløpsdrift:**

Overløpsdriften ved de ulike frakoblingsscenarioene, fra et 20-års regn med klimafaktor 1,2, er illustrert i Figur 35.



**Figur 35: Overløpsdrift ved (%) frakobling av takflater. 20-års regn med klimafaktor 1,2.**

Samme grafene, men her fra et 20-års regn med klimafaktor 1,6, ses i Figur 36.



**Figur 36: Overløpsdrift ved (%) frakobling av takflater. 20-års regn men klimafaktor 1,6.**

De to figurene over gir beregningsgrunnlaget for verdiene i Tabell 7.

**Tabell 7: Overløpsmengder og reduksjon av disse. 20-års regn.**

	Klimafaktor 1,2		Klimafaktor 1,6	
	Vannmengde (m <sup>3</sup> )	Reduksjon (%)	Vannmengde (m <sup>3</sup> )	Reduksjon (%)
<b>Eksisterende situasjon</b>	85,10	-	109,62	-
<b>20 % frakobling av takflater</b>	69,69	18,1	95,42	13,0
<b>50 % frakobling av takflater</b>	32,94	61,3	68,51	37,5
<b>100 % frakobling av takflater</b>	0,00	100,0	0,07	99,9

Grafene og tabellen over viser at ved å koble fra 100 % av takflatene i feltet, vil vi få en reduksjon i overløpsmengdene på 100 %. Dette betyr at overløpet ikke trer i drift i det hele tatt ved en 20-års hendelse med et klimatillegg på 20 %. Også ved et klimatillegg på 60 % vil overløpsmengdene reduseres med 99,9 %, noe som gjør at vi i stedet for en overløpsmengde på 109,62 m<sup>3</sup>, nå «kun» får 70 liter.

Også ved 50 % frakobling må reduksjonen kunne sies å være veldig bra. En reduksjon på over 60 % ved et 20-års regn med klimafaktor 1,2, betyr at sentrumsområdet nedstrøms Tronesfeltet vil bli betydelig avlastet. Denne reduksjonen tilsvarer i overkant av 52 m<sup>3</sup> mindre vann, i tillegg til at overløpets driftstid går fra 15 min til 10 min, altså 2/3 driftstid.

Et scenario med 20 % frakobling av takflater vil også gi en god reduksjon av overløpsmengdene. Opp mot 18 % reduksjon kan utgjøre en stor forskjell for sentrumsområdet under en ekstremhendelse.

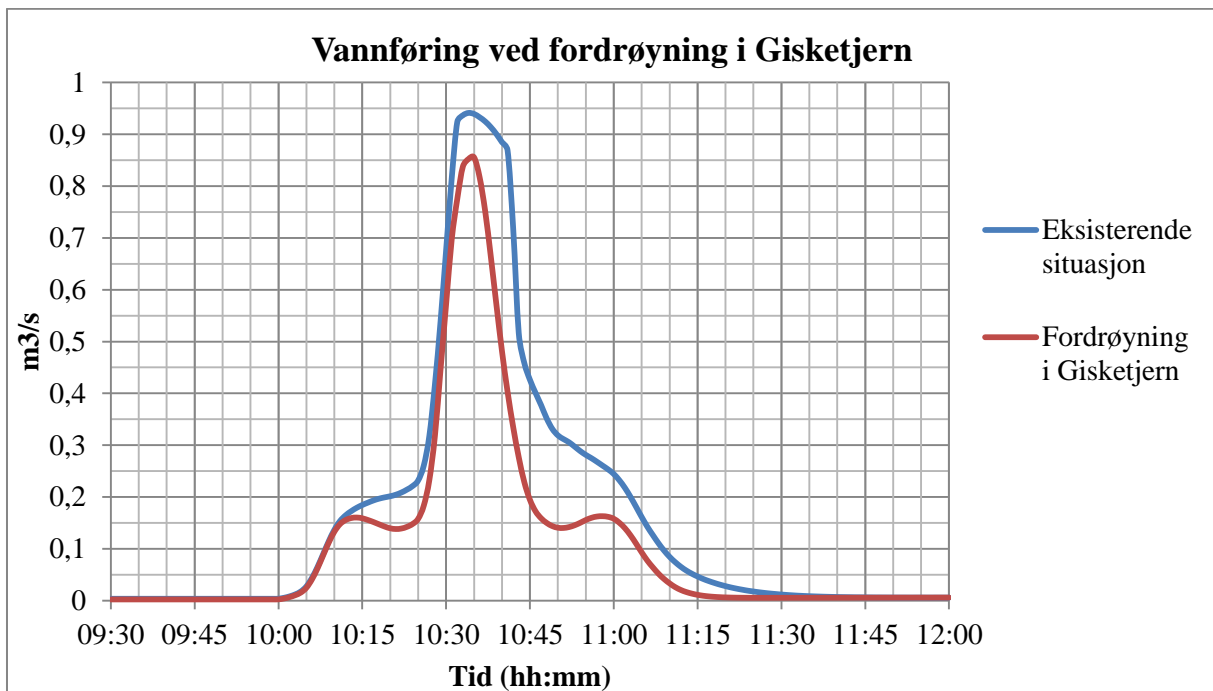
Ellers ser vi at tidspunktet for når overløpet trer i drift forskyves ved økende frakoblingsandel. Dette henger sammen med at mer og mer takvann ledes ut til infiltrasjon, mens under eksisterende situasjon vil alt takvann gå direkte i røret og med en gang bidra til å øke vannføringen.

### **5.3.3. Tiltak 2 – Fordrøyning i Gisketjern**

Tiltak 2 er å lede alt overvannet oppstrøms Gisketjern ut i tjernet, og derfra videre inn på det eksisterende overvannsnettet nedstrøms tjernet.

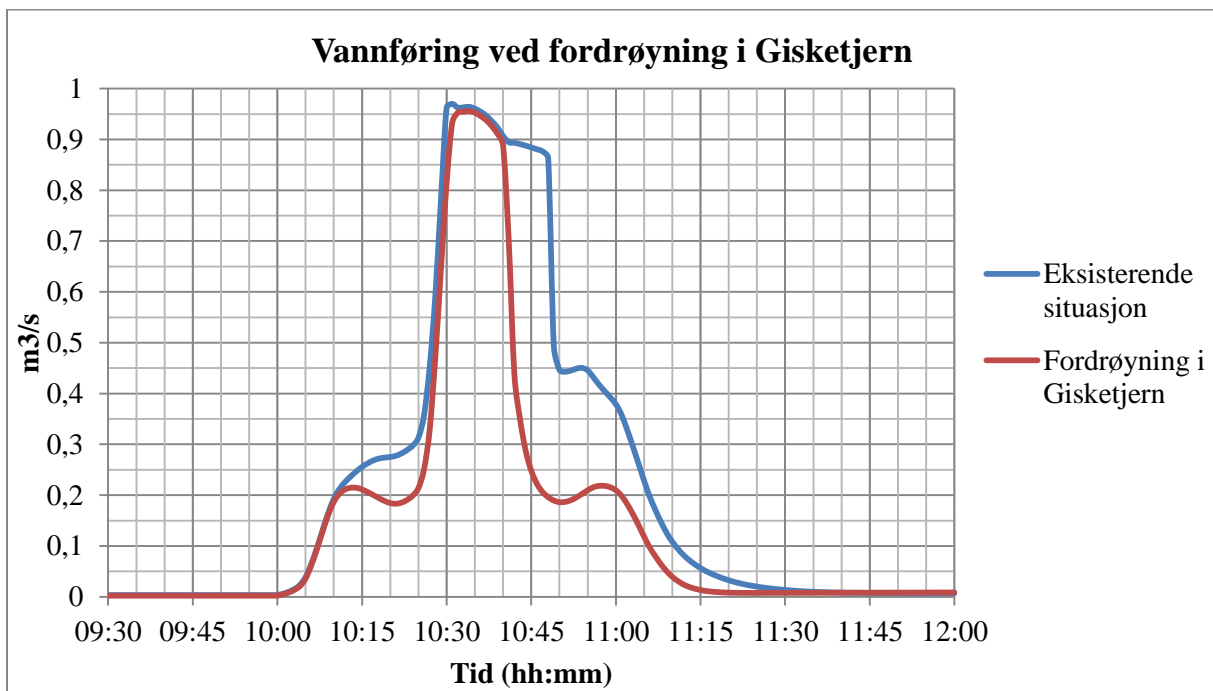
## Vannføring:

Figur 37 viser vannføringen i betraktningepunktet ved et 20-års regn med klimafaktor 1,2.



**Figur 37: Vannføring ved fordrøyning i Gisketjern. 20-års regn med klimafaktor 1,2.**

Vannføringen i samme punkt, ved et 20-års regn med klimafaktor 1,6, vises i Figur 38.



**Figur 38: Vannføring ved fordrøyning i Gisketjern. 20-års regn med klimafaktor 1,6.**



Beregnete vannmengder og reduksjoner ved tiltak 2, samt flomtopp og reduksjon av denne, finnes i henholdsvis Tabell 8 og Tabell 9.

**Tabell 8: Vannmengde og reduksjon av denne i tidsrommet kl.10.00-12.00. 20-års regn.**

	Klimafaktor 1,2		Klimafaktor 1,6	
	Vannmengde (m <sup>3</sup> )	Reduksjon (%)	Vannmengde (m <sup>3</sup> )	Reduksjon (%)
<b>Eksisterende situasjon</b>	1482,78	-	1973,10	-
<b>Fordrøyning i Gisketjern</b>	1006,23	32,1	1337,34	32,2

**Tabell 9: Flomtopp og reduksjon av denne. 20-års regn.**

	Klimafaktor 1,2		Klimafaktor 1,6	
	Vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Reduksjon (%)	Vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Reduksjon (%)
<b>Eksisterende situasjon</b>	0,941	-	0,970	-
<b>Fordrøyning i Gisketjern</b>	0,855	9,1	0,956	1,5

Tiltaket med å bruke Gisketjern som et fordrøyningsbasseng viser seg å ikke ha så stor effekt på reduksjon av flomtoppen. Med en klimafaktor på 1,2 får vi en reduksjon på 9,1 %, mens med klimafaktor 1,6 blir den 1,5 %.

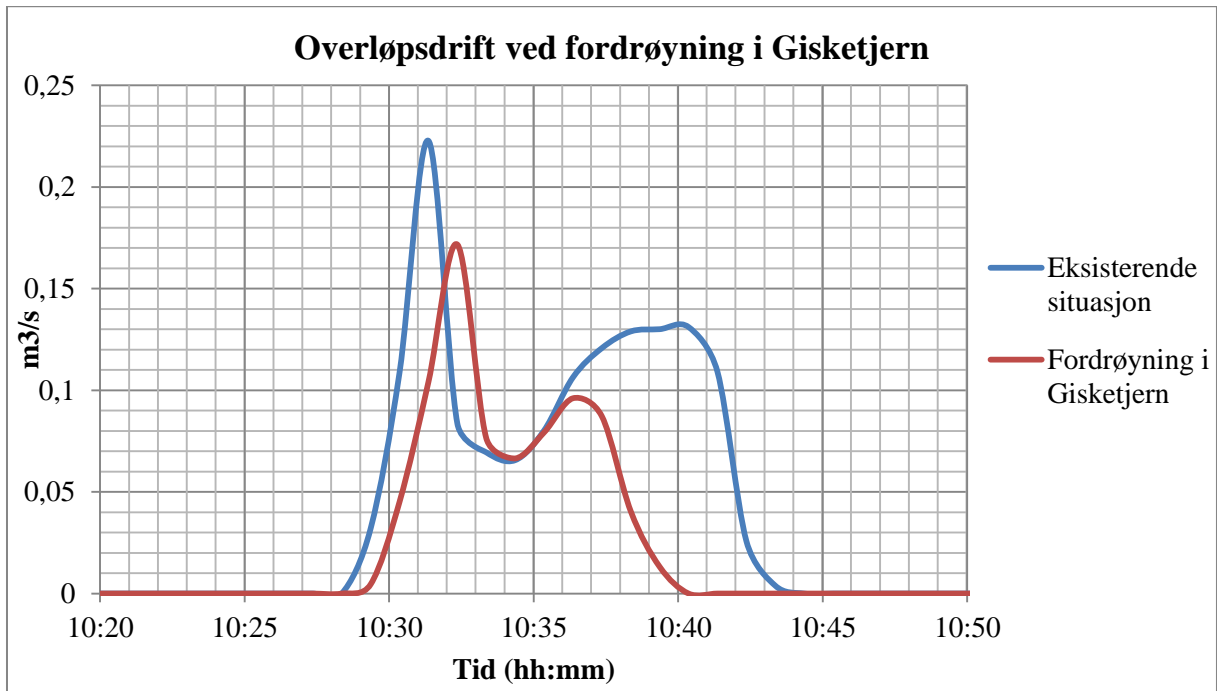
De totale vannmengdene i de to mest intense timene blir derimot betydelig mindre. Her er det snakk om en reduksjon på i overkant av 32 %, både for klimafaktor 1,2 og 1,6.

Som vi ser får vi en veldig liten tidsforskyvning av flomtoppen. Grunnen til at ikke forskyvningen er større ligger nok i at hovedbidraget til flomtoppen ligger i feltets nedre del som er brattere (se lengdeprofil i kapittel 3.2.1). Området ovenfor Gisketjern er flatere og generelt mer permeabelt enn resten, noe som betyr at avrenningen her er mindre enn i resten av feltet. Dermed vil ikke tiltaket bidra til å øke konsentrasjonstiden for feltet noe særlig, men likevel vil det føre til mindre avrenning.

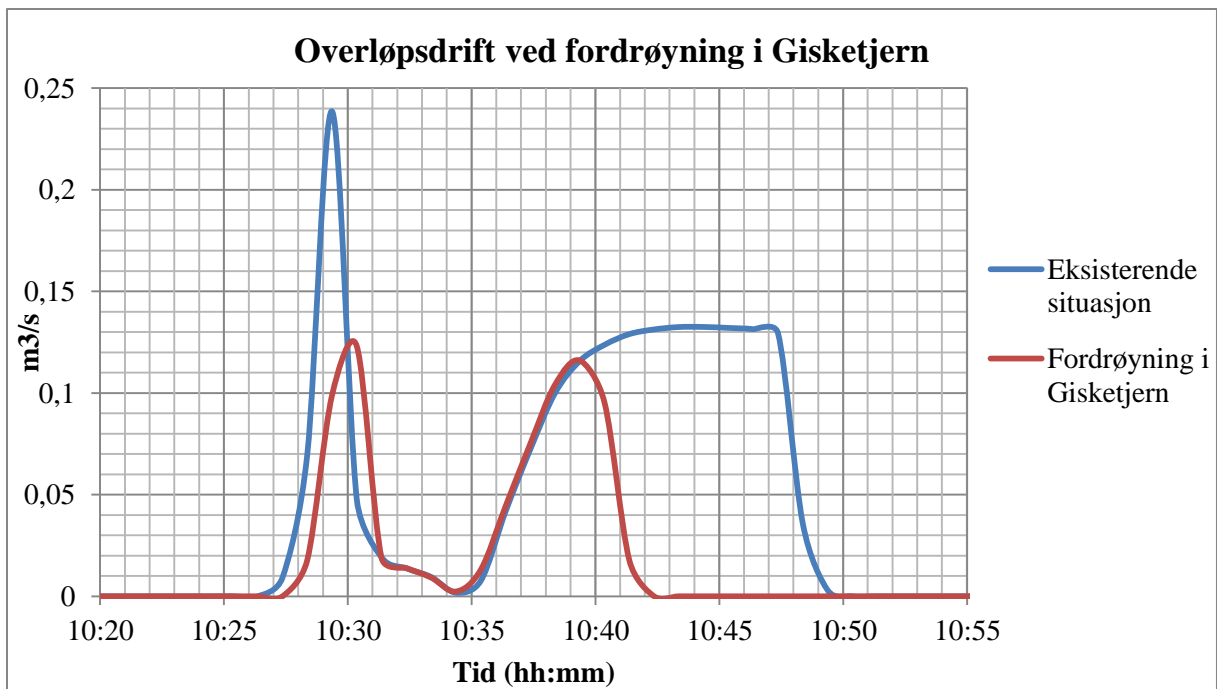
Formen på vannføringsgrafene ligner nå mer på formen på de benyttede hyetogrammene. Dette har nok også sammenheng med at den nedre delen er mer homogen enn den øvre, både når det gjelder helning og andel impermeable flater. Ved å fordrøye i Gisketjern blir bidraget fra den øvre delen mindre synlig i vannføringskurven.

### Overløpsdrift:

Figur 39 og Figur 40 viser hvordan tiltak 2 påvirker driften på overløpet. Figurene viser den detaljerte overløpsdriften for et 20-års regn med klimafaktor 1,2 og et 20-års regn med klimafaktor 1,6.



**Figur 39: Overløpsdrift ved fordrøyning i Gisketjern. 20-års regn med klimafaktor 1,2.**



**Figur 40: Overløpsdrift ved fordrøyning i Gisketjern. 20-års regn med klimafaktor 1,6.**

Nøkkeltall for overløpsdriften ved tiltak 2 er vist i Tabell 10.

**Tabell 10: Overløpsmengde og reduksjon av denne. 20-års regn.**

	Klimafaktor 1,2		Klimafaktor 1,6	
	Vannmengde (m <sup>3</sup> )	Reduksjon (%)	Vannmengde (m <sup>3</sup> )	Reduksjon (%)
<b>Eksisterende situasjon</b>	85,10	-	109,62	-
<b>Fordrøyning i Gisketjern</b>	47,07	44,7	44,94	59,0

Fra grafene og de tilhørende nøkkeltallene ser vi at overløpsdriften kan reduseres ganske kraftig, både når det gjelder mengder og varighet. Et 20-års regn med klimafaktor 1,2 vil gi 44,7 % mindre vann i overløpet, noe som tilsvarer over 38 m<sup>3</sup> mindre vann i overvannsnettet i sentrum. Reduksjonen ved et 20-års regn med klimafaktor 1,6 er på hele 59,0 %, og faktisk gir dette regnværet mindre overløpsmengde enn man får med klimafaktor 1,2.

De tidligere nevnte 15 min med overløpsdrift for den eksisterende situasjonen ved klimafaktor 1,2 kan forventes å bli redusert til 11 min, mens for en faktor på 1,6 vil driftstiden gå fra 23 min til 14 min.

### **Infiltrasjonsforsøk i forbindelse med tiltak 2**

Ved å benytte Gisketjern til fordrøyning vil man under ekstreme nedbørshendelser, og i tiden etter disse, utsette tjernet for flomfare. Dersom tjernet skulle fylles opp og gå over sine bredder, vil vannet renne ned i det lille skogområdet som omkranser tjernet. I dette skogområdet ble det gjennomført infiltrasjonsmålinger med MPD infiltrrometer. Målingene var ikke ment å skulle bestemme infiltrasjonskapasiteten, men heller gi en pekepinn på hvordan forholdene er. Metoden er beskrevet i kapittel 4.2.1.

Resultatene fra målingene er oppsummert i Tabell 11.

**Tabell 11: Resultater fra infiltrasjonsmålinger ved Gisketjern.**

Målepunkt	A	B	C	D
<b>K<sub>sat</sub> (cm/time)</b>	8,82	3,19	3,02	9,06

Opprinnelig ble det benyttet 5 målepunkt med en innbyrdes avstand på ca. 3 -5 meter. Kun 4 av dem presenteres her, da den siste ikke ble gjennomført etter riktig metode.

Som vi ser varierer verdiene fra ca. 3 til 9 cm/time, med en gjennomsnittsverdi på  $K_{\text{sat}} = 6,02$  cm/time. I følge Rawls et al. (1982) kan disse verdiene peke mot at jordtypen i området består av siltig sand, altså en jordart som vil kunne ha gode infiltrasjonsegenskaper. Følger vi USDA's klassifisering (se kapittel 4.2.2) havner den vannmettede hydrauliske konduktiviteten under klassen *høy*, noe som hentyder god strømning fra pore til pore i jordarten.

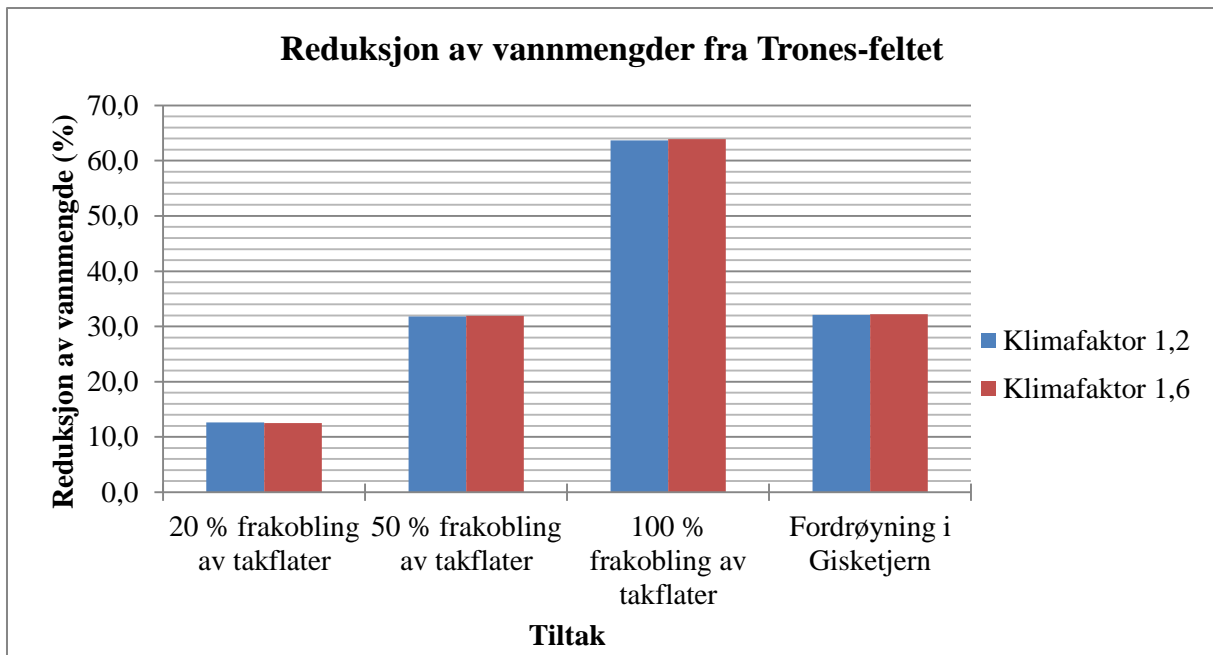
Som nevnt anbefales det kun å bruke denne metoden for å estimere  $K_{\text{sat}}$  i de øverste 30 cm. I et område med relativt homogene masser vil ofte det øvre jordlaget være begrensende for  $K_{\text{sat}}$  og følgelig vil man derfor kunne forvente en høyere verdi lengre nede i jorda.

For å kunne si noe mer bestemt om jordtypen og infiltrasjonskapasiteten i dette området må det gjøres mer omfattende forsøk. Resultatene fra forsøket ovenfor peker imidlertid mot gode infiltrasjonsmuligheter.

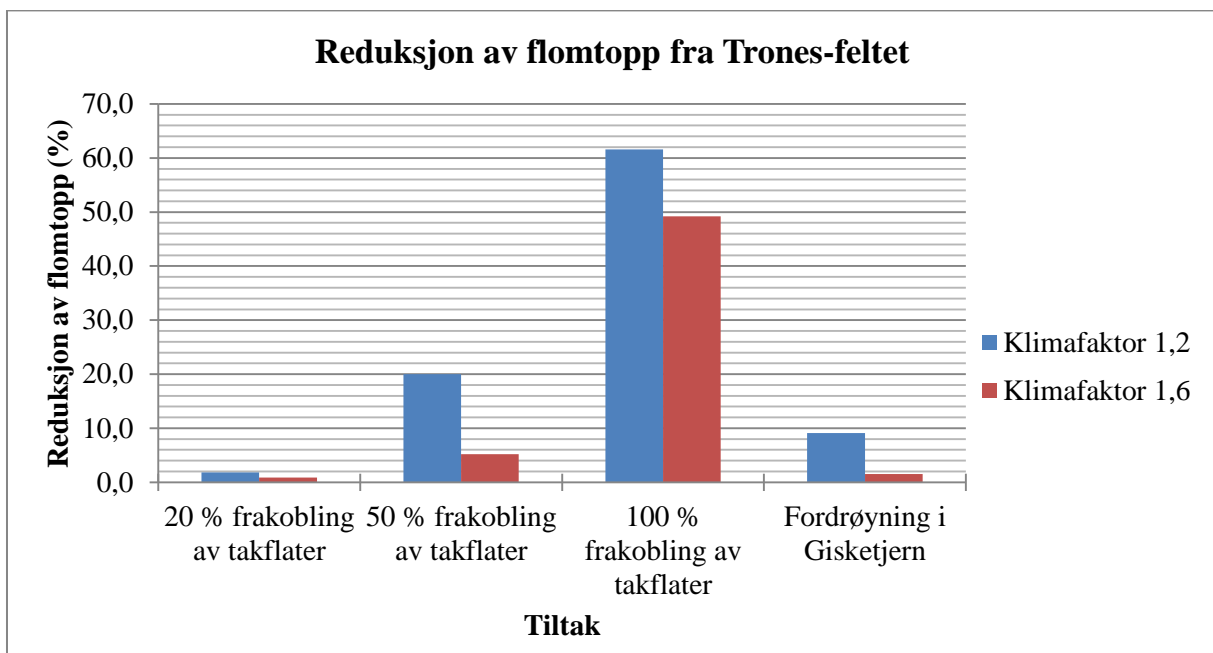
Grunnet en rekordlang vinter måtte forsøket gjennomføres før telen i bakken hadde sluppet skikkelig taket. I området hvor prøvene ble tatt var det trolig telefritt, men usikkerheten rundt dette representerer en feilkilde. Ellers vil selve utførelsen, i form av jordprøvene som ble tatt osv. også kunne ha påvirket resultatene noe.

#### **5.3.4. Oppsummering av analyse av vannføring og overløpsdrift**

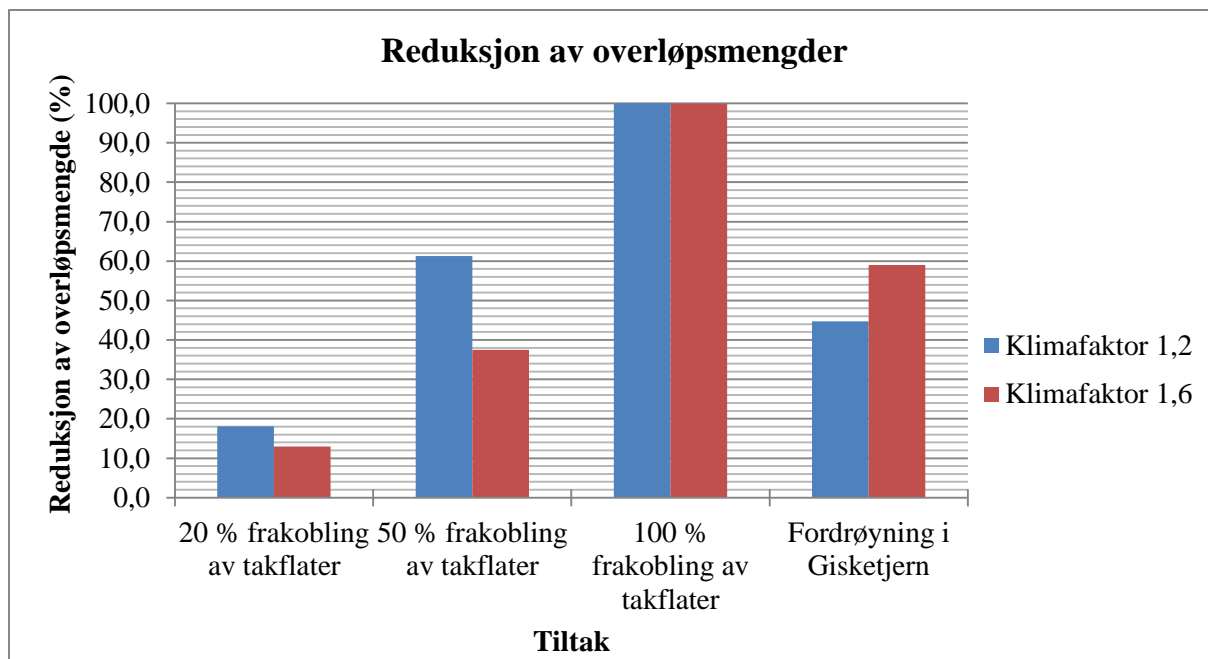
Her kommer en liten oppsummering av hvordan de ulike tiltakene påvirker avrenningssituasjonen i Trones-feltet. Figur 41 viser reduksjon av vannmengder i de to mest intense timene ved nedbørshendelsen, Figur 42 viser reduksjon av flomtopp og Figur 43 viser reduksjon av overløpsmengder.



**Figur 41:** Oppsummerende framstilling av reduksjon av total avrenning fra Trones-feltet ved forskjellige tiltak, i tidsrommet kl.10.00-12.00. 20-års regn med klimafaktor.



**Figur 42:** Oppsummerende framstilling av reduksjon av flomtopp fra Trones-feltet ved forskjellige tiltak. 20-års regn med klimafaktor.

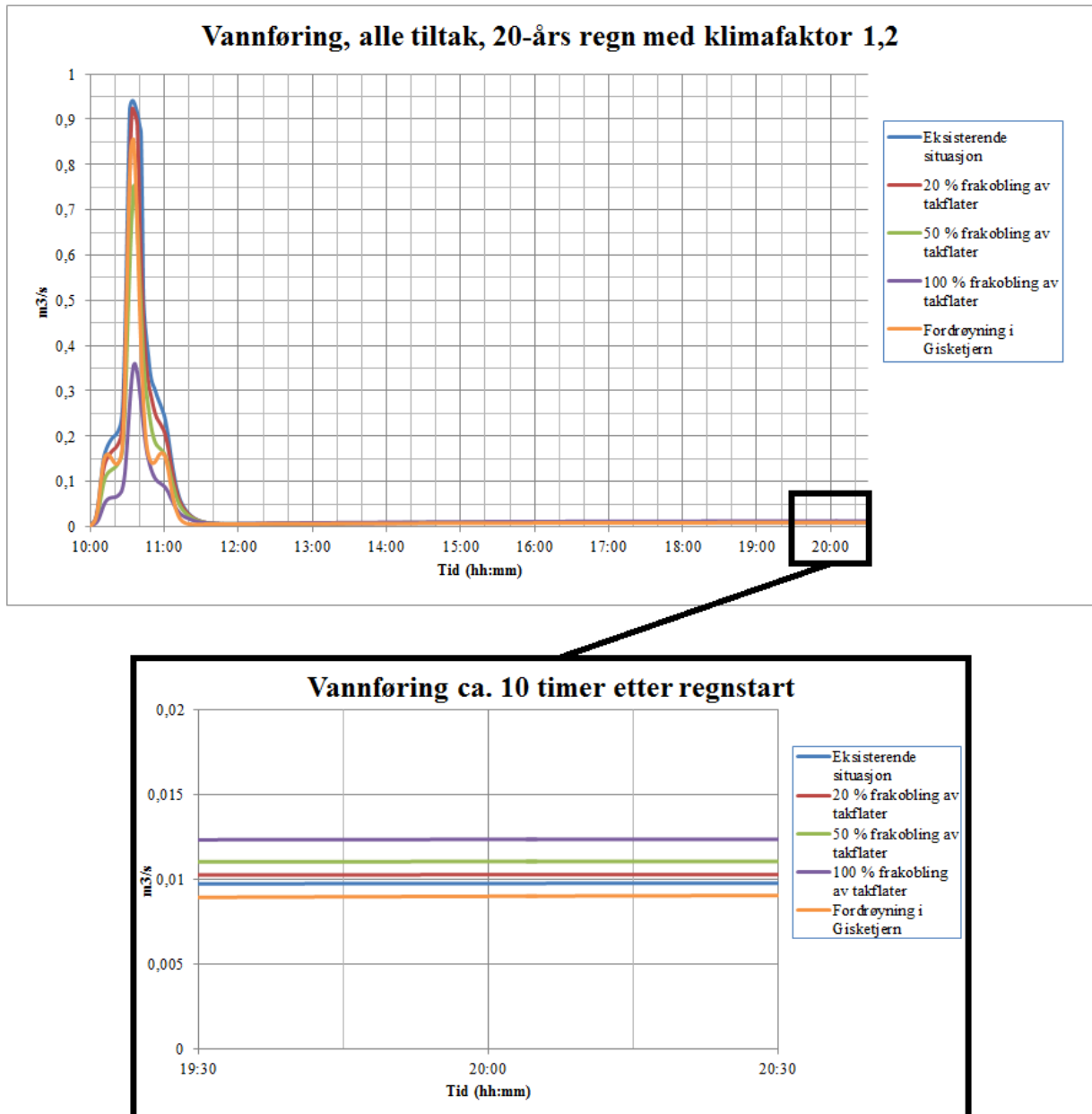


**Figur 43: Oppsummerende framstilling av reduksjon av overløpsmengder. 20-års regn med klimafaktor.**

Som vi ser av figurene ovenfor er det frakobling av takflater som er det mest effektive tiltaket, så lenge det kobles fra over ca. 50 %. Effektene fra en 50 % frakobling av takflater og tiltaket med å fordrøye overvannet i Gisketjern ser vi at kommer relativt likt ut på de tre framstillingene.

### 5.3.5. Illustrasjon av RDII-avrenningen

RDII-modulen er beskrevet i kapittel 2.5.3. Ofte kalles denne modulen for programmets hydrologiske minne. For å illustrere virkningene av denne modulen er det tatt med et eksempel som viser vannføringen i betraktningsspunktet 10 timer etter regnstart. Vannføringen over tid, samt et utsnitt fra kl.22.00 kan ses i Figur 44.



Figur 44: Illustrasjon av RDII-avrenningen. Vannføring 10 timer etter regnstart, kl.22.00.

10 timer etter regnstart ser vi at vannføringen plutselig er størst for scenarioet med 100 % frakobling av takflater. Dette skjer på grunn av bidraget fra den trege avrenningen, også kalt RDII-avrenningen. Tabell 12 synliggjør forskjellene i vannføring 10 timer etter regnstart ved de forskjellige tiltakene.

**Tabell 12: Vannføring 10 timer etter regnstart (kl.22.00) og økningen av denne ved forskjellige tiltak. 20-års regn.**

	Klimafaktor 1,2		Klimafaktor 1,6	
	Vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Økning (%)	Vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Økning (%)
<b>Eksisterende situasjon</b>	0,0098	-	0,0125	-
<b>20 % frakobling av takflater</b>	0,0103	5,1	0,0132	5,6
<b>50 % frakobling av takflater</b>	0,0111	13,3	0,0142	13,6
<b>100 % frakobling av takflater</b>	0,0124	26,5	0,0158	26,4
<b>Fordrøyning i Gisketjern</b>	0,0090	-8,9	0,0125	0,0

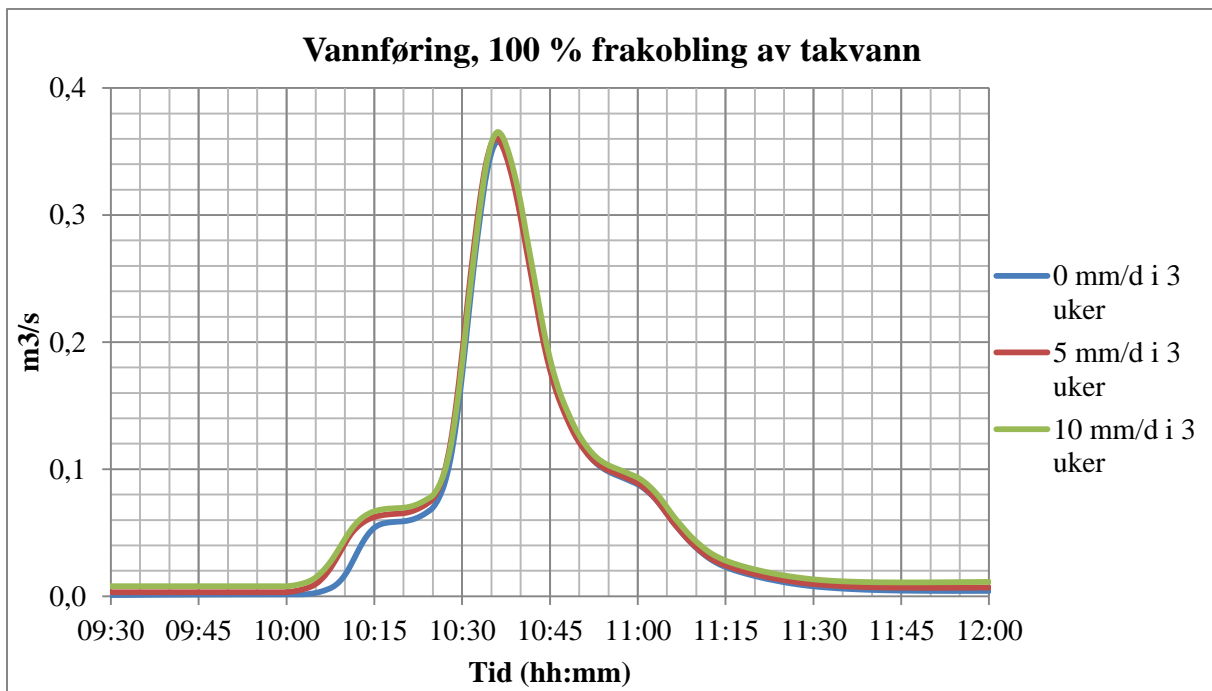


#### 5.4. Analyse av forregnets betydning for avrenningen

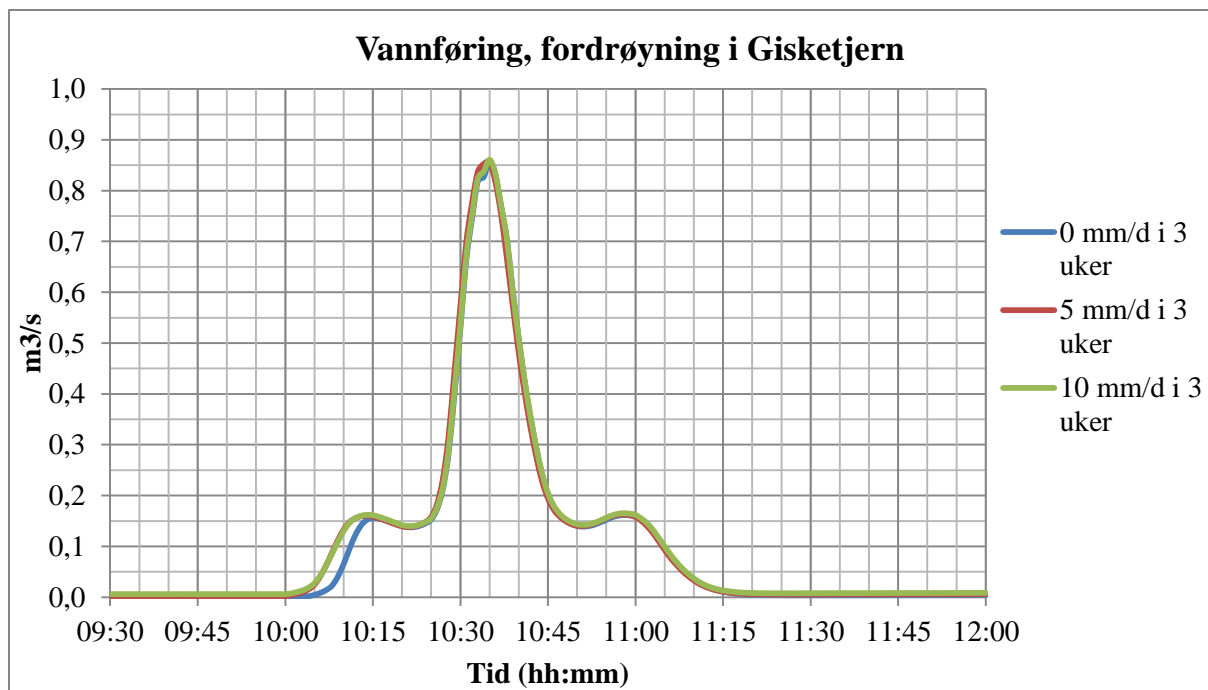
Analysen av vannføring og overløpsdrift ble gjennomført med et 3 uker langt forregnet med 5 mm nedbør per døgn, før selve 20-års regnet. For å sjekke hvor stor betydning dette forregnet har for resultatene i oppgaven, ble det også gjennomført simuleringer med andre forregn.

Vannføringen i betraktningpunktet i Eidsvollgata ble beregnet med to andre forregn; en tidsserie med 0 mm/d i 3 uker før designregnet, og en tidsserie med 10 mm/d i 3 uker før. I disse simuleringene ble det benyttet et 20-års regn med klimafaktor 1,2.

Figur 45 og Figur 46 viser vannføringen ved tiltak 1 (100 % frakobling) og tiltak 2 for alle de 3 forskjellige tidsseriene. I denne analysen hadde vannføringskurvene mange likhetstrekk, så derfor ble det valgt å kun ta med disse to eksemplene her. De resterende kurvene fra disse beregningene finnes i Vedlegg A.



**Figur 45: Vannføring ved 100 % frakobling av takvann, med 3 forskjellige forregn. 20-års regn med klimafaktor 1,2.**



**Figur 46: Vannføring ved fordrøyning i Gisketjern, med forskjellige forregn. 20-års regn med klimafaktor 1,2.**

Grafene har som nevnt mange likhetstrekk. Det er tydelig at avrenningen starter tidligere når grunnen er fuktet, noe den vil være i tilfellene med 5 mm/d og 10 mm/d i 3 uker. Det som er mer bemerkelsesverdig er at etter ca. 15 minutter sammenfaller kurvene for alle 3 scenarioene, og deretter følger de nesten eksakt samme mønster helt til avrenningen flater ut. I tillegg ser vi at flomtoppene også er tilnærmet identiske for alle scenarioene, noe som også er en interessant observasjon. 20-års regnet (med 20 % tillegg) er i seg selv en såpass stor hendelse at de permeable flatene vil mettes tidlig. Etter en liten stund vil da den forutgående fuktigheten i grunnen ha lite å si på vannføringen siden det raskt oppnås mettede forhold og avrenning også fra de permeable flatene.

Tabell 13 viser en sammenligning av vannmengdene mellom kl.10.00 og kl.12.00 ved forskjellige forregn. I de foregående analysene er det benyttet tidsserier med 5 mm/d i 3 uker, så dette blir derfor sammenligningsgrunnlaget i denne tabellen.

**Tabell 13: Sammenligning av vannmengder og økning av disse ved forskjellige typer tiltak og forskjellige forregn. Vannmengder tatt i tidsrommet kl.10.00-12.00. 20-års regn med klimafaktor 1,2.**

	5 mm/d i 3 uker	0 mm/d i 3 uker		10 mm/d i 3 uker	
	Vannmengde (m <sup>3</sup> )	Vannmengde (m <sup>3</sup> )	Økning (%)	Vannmengde (m <sup>3</sup> )	Økning (%)
<b>Eksisterende situasjon</b>	1482,78	1439,03	-3,0	1510,06	1,8
<b>20 % frakobling av takflater</b>	1295,87	1251,34	-3,4	1321,56	2,0
<b>50 % frakobling av takflater</b>	1011,59	975,53	-3,6	1039,25	2,7
<b>100 % frakobling av takflater</b>	538,28	512,02	-4,9	568,14	5,5
<b>Fordrøyning i Gasketjern</b>	1006,23	973,05	-3,3	1022,59	1,6

Tabellen viser den samme trenden for alle tiltak. Vi har en økning i total vannmengde ved økende intensitet på forregnet. Dette betyr at jo mer fukt vi har i grunnen før 20-års regnet setter inn, jo mindre infiltrasjon får vi, jo raskere starter avrenningen og jo mere avrenning får vi. I tillegg vil selvfølgelig forregnet i seg selv også gi en større avrenning med økende intensitet. Likevel ser vi fra Figur 45 og Figur 46 at denne forskjellen i hovedsak kommer i løpet av avrenningens første 15 – 20 minutter.

Siden det i den tidligere analysen ble sett på reduksjonen av vannmengdene ved forskjellige tiltak med et forregn på 5 mm/d i 3 uker, blir det i Tabell 14 gjort en lignende beregning med 0 mm/d og 10 mm/d.

**Tabell 14: Vannmengder og reduksjon av disse ved forskjellige typer tiltak og forskjellige forregn. 20-års regn med klimafaktor 1,2.**

	0 mm/d i 3 uker		10 mm/d i 3 uker	
	Vannmengde (m <sup>3</sup> )	Reduksjon (%)	Vannmengde (m <sup>3</sup> )	Reduksjon (%)
<b>Eksisterende situasjon</b>	1439,03	-	1510,06	-
<b>20 % frakobling av takflater</b>	1251,34	13,0	1321,56	12,5
<b>50 % frakobling av takflater</b>	975,53	32,2	1039,25	31,2
<b>100 % frakobling av takflater</b>	512,03	64,4	568,14	62,4
<b>Fordrøyning i Gisketjern</b>	973,05	32,4	1022,59	32,3

Sammenligner vi verdiene i tabellen ovenfor med verdiene i Tabell 5 og Tabell 8, ser vi at vannmengdene øker med økende intensitet på forregnet. Prosentvis reduksjon er tilnærmet identisk for alle 3 tidsserier, noe som også er den samme trenden vi så under analysen med 20-års regn med klimafaktor 1,2 og 1,6.

Vannføringskurvene hvor de ulike tiltakene sammenlignes med eksisterende situasjon, med forregn på 0 mm/d og 10 mm/d, ligger i Vedlegg B.

## 5.5. Sammenligning med den rasjonelle metode

Siden modellen ikke er kalibrert og justert opp mot faktiske målte data, ble det gjennomført en sammenligning av resultatene fra modellen og resultater fra en kjent manuell beregningsmetode. De manuelle beregningene ble utført med den rasjonelle metode, som er en anerkjent og mye brukt metode for beregning av overvann.

For enkelhets skyld ble arealene definert som enten «permeable» eller «impermeable».

Avrenningskoeffisienten for de permeable flatene (grøntarealer osv.) ble satt til 0,2, mens den for de impermeable flatene (veger, tak osv.) ble satt til 0,9. Koeffisientene ble valgt slik at de skulle være mest mulig sammenlignbare med verdiene i Mike Urban.

Varigheten på dimensjonerende nedbørshendelse ble satt til 60 min, noe den også var for de konstruerte nedbørshendelsene som ble benyttet i Mike Urban.

Eksempel på beregning (eksisterende situasjon ved et 20-års regn med klimafaktor 1,2):

Permeable flater:                     $A = 6,6 \text{ ha}$                      $\varphi = 0,9$

Impermeable flater:                 $A = 18,3 \text{ ha}$                  $\varphi = 0,2$

Nedbørintensitet fra IVF-kuve (I) = 60,7 l/s\*ha

Klimafaktor (K) = 1,2

Avrenningskoeffisient:             $\varphi = \frac{(6,6 \times 0,9) + (18,3 \times 0,2)}{24,9} = 0,3855$

Vannføring:

$$Q = \varphi \times A \times I \times K = 0,3855 \times 24,9 \times 60,7 \times 1,2 = 699 \text{ l/s}$$

Vannføring fra samme situasjon, beregnet i Mike Urban:  $Q = 941 \text{ l/s}$

Dette tilsvarer en forskjell på **25,7 %**.

Tilsvarende beregninger ble gjort for flere scenarioer. Resultatene vises i Tabell 15.

Fullstendig oppsett fra beregningene bak Tabell 15 finnes i Vedlegg C.

**Tabell 15: Sammenligning av vannføring fra Mike Urban (MU) og den rasjonelle metode (RM). Klimafaktor i parentes.**

Scenario	Q (l/s) - RM	Q (l/s) - MU	Forskjell (%)
<b>Eksisterende situasjon (1,2)</b>	699	941	25,7
<b>20 % frakobling av takflater (1,2)</b>	658	924	28,7
<b>50 % frakobling av takflater (1,2)</b>	592	753	21,4
<b>100 % frakobling av takflater (1,2)</b>	480	361	-33,0
<b>Eksisterende situasjon (1,6)</b>	932	970	3,9
<b>20 % frakobling av takflater (1,6)</b>	878	961	8,6
<b>50 % frakobling av takflater (1,6)</b>	790	920	14,2
<b>100 % frakobling av takflater (1,6)</b>	640	493	-29,8

Fra Tabell 15 ser vi at det skiller en del mellom verdiene fra Mike Urban og verdiene fra de manuelle beregningene, noe som må kunne forventes. Forholdet mellom de to vannføringene varierer mye og den maksimale forskjellen ser vi ligger på 33 %. Den rasjonelle metode gir på ingen måte noe fasitsvar for avrenningen, men må derimot betraktes som en forholdsvis grov tilnærming. Normalt forventer vi at den rasjonelle metode gir høyere verdier enn modellene, men dette kommer selvsagt an på arealet som faktisk bidrar til avrenningen og de reelle koeffisientene. Hovedgrunnen til forskjellene mellom verdiene ligger nok i bidraget fra RDII-modulen og de ulike verdiene og parameterne som ligger i den. Tidsseriene som ble benyttet i Mike Urban inneholdt 3 uker med 5 mm nedbør per døgn før selve 20-års regnet, noe som også klart har påvirket verdiene. Likevel må det sies at forskjellene ikke er skremmende store. Den rasjonelle metode gir bare et estimat for avrenningen og antagelsene bak metoden begrenser dens nøyaktighet. En sammenligning av resultatene fra Mike Urban med en annen manuell beregningsmetode vil kunne gi helt andre svar.

## 6. Vurderinger og diskusjon

De fleste av resultatene ble diskutert underveis i forrige kapittel. Videre følger det en mer oppsummerende vurdering og diskusjon rundt generelle momenter i oppgaven.

### 6.1. Modellen

Når man velger å benytte en hydrologisk/hydraulisk modell for å løse en oppgave som dette, introduseres det med en gang en rekke usikkerheter. En modell som dette er basert på en rekke matematiske tilnærminger mellom fysiske parametere, noe som aldri helt vil kunne tilpasses virkeligheten.

Den nye modellen er ikke kalibrert eller verifisert, noe som i praksis betyr at den ikke er kontrollert og justert opp mot faktiske målte data. Kalibreringsprosessen er altfor omfattende til at den kunne inkluderes i denne oppgaven. Dette må sies å representere den største usikkerheten ved modellens resultater. Skal modellen benyttes videre av Sandnes kommune anbefales det at en kalibrering/verifisering gjennomføres slik at resultatene får større verdi og kan benyttes mer direkte.

Alle VA-tekniske data i modellen ble hentet direkte fra kommunens ledningsdatabase, Gemini VA. En slik database inneholder ofte feil og mangler, noe som også var tilfelle for Tronesfeltet. Det måtte dermed gjøres noen antagelser underveis, noe som med en gang tilfører resultatene usikkerhet. Feil valg av for eksempel ledningsdiameter eller fall på ledninger kan forårsake flaskehals i modellen som egentlig ikke eksisterer i virkeligheten.

Manuelt innlagte verdier og parametere kan også ha påvirket resultatene. Feil ved de ulike nedslagsfeltenes størrelse og avgrensning kan gi for store eller for små vannmengder, noe som fort kan gi et feil bilde av den lokale avrenningssituasjonen. Konsentrasjonstiden for de ulike delfeltene ble manuelt beregnet med Mannings formel. Selv om de beregnede tidene virker fornuftige, er det likevel viktig å vite at bruk av denne metoden til dette formålet kun må håndteres som et estimat.

Beregningen av tette flater i modellen ble gjort med utgangspunkt i de såkalte shape-filene. Disse filene er bygget på digitale grunnkart fra kommunen. Dette betyr at andelen tette flater må kunne antas å være korrekt kalkulert.

Ellers er det benyttet en rekke standardinnstillinger i modellen. Noen av dem er forhåndsdefinerte i Mike Urban, mens andre ble definert av DHI under utviklingen av den

«gamle» delen av modellen. Disse kan være opphavet til feil i resultatene, men de er i utgangspunktet ment å skulle være fornuftige anslåtte verdier.

For at oppgaven i det hele tatt skulle la seg gjennomføre måtte modellen forenkles noe. Det ferdige resultatet er likevel en detaljert modell over avløpssituasjonen i feltet og den passer godt for den typen formål den har i denne oppgaven. Grovjobben med modellen er nå gjort og den kan videre detaljeres etter eget ønske og behov.

Generelt skal man alltid være forsiktig med å bruke resultatene fra slike modeller direkte. Når en modell i tillegg ikke er kalibrert og verifisert, må man være ekstra varsom med direkte bruk. Hydrologiske og hydrauliske prosesser er svært komplekst sammensatt, så en modell vil aldri kunne gi helt riktig bilde av virkeligheten. Selv om modellene gir en god pekepinn på den reelle situasjonen må de alltid ses på som en tilnærming til virkeligheten.

## **6.2. Tiltakene**

De foreslåtte tiltakene i oppgaven ble valgt med hensyn på hva som synes realistisk og gjennomførbart i Trones-feltet. Begge er tiltak som lett lar seg gjennomføre uten store inngrep fra kommunens side.

### **6.2.1. Tiltak 1 – Frakobling av takvann**

Frakobling av takvann faller inn under det som kalles kildekontroll (se kapittel 2.3.2). Dette er tiltak på privat grunn som skal håndtere overvannet ved kilden, og som beskrevet i kapittel 4.3.1 er den beste måten å håndtere overvann på nettopp ved kilden. Det er et ikke-strukturelt tiltak som krever veldig lite arbeid, både av kommunen og huseier.

Pålegg om frakobling av taknedløp er et tiltak som andre byer også har benyttet seg av. I kapittel 4.3.1 vises det til hvilke erfaringer Fredrikstad kommune har hatt med dette.

Erfaringene deres synes å være gode, og til tross for en viss skepsis blant huseierne i starten, har kommunen nå fått de fleste med på tankegangen. Dette vil være meget avgjørende i en lignende situasjon i Trones-feltet. Å få huseierne til å forstå og akseptere hvordan den framtidige situasjonen i Sandnes kan bli, vil være helt avgjørende for å få et slikt tiltak til å fungere. En problemstilling som nok kan dukke opp i dette tilfellet er at huseierne i Trones-feltet selv, som følge av feltets beliggenhet, ikke vil rammes av framtidige oversvømmelser i sentrum. Kommunen vil da få en viktig jobb med å få aksept hos innbyggerne i Trones slik at hele byen drar i samme retning.

Noe som synes å være viktig fra kommunens side ved en innføring av et slikt tiltak, er å være



litt medgjørlig med å gi dispensasjoner. Dette vil kunne spare dem for mye arbeid og i tillegg hjelpe dem med å opprettholde et godt forhold til beboerne. Trones-feltets topografi og terrengforhold gjør at det i flere tilfeller nok vil være problematisk å klare å holde takvannet sitt på egen tomt. I tilfeller hvor vannet skaper store ulemper for naboer eller huseier selv, bør dispensasjon derfor innvilges.

Skal kommunen innføre et slikt påbud, kan strategien de velger være veldig avgjørende for resultatet. Å basere framgangsmåten på erfaringene fra Fredrikstad kommune og andre kommuner vil da være å anbefale, slik at prosessen går mest mulig smertefritt.

Kostnadmessig er dette også et bra tiltak. Kommunens egne kostnader er minimale, mens kostnadene dette medfører huseierne kan forsvares med at de betaler for eget generert overvann.

### **6.2.2. Tiltak 2 – Fordrøyning i Gisketjern**

En tilkobling til Gisketjern vil, dersom man skal knytte tiltaket opp mot teorien, havne under kategorien Stahre definerer som på-stedet kontroll. Her håndterer vi overvann på offentlig grunn og forsøker å benytte et eksisterende tjern som et fordrøyningsmagasin. Dette er i og for seg et ikke-strukturelt tiltak, men det kreves likevel visse strukturelle inngrep i form av etablering av et nytt ledningsstrek.

Den eksisterende ledningen som går fra dagens nett og delvis ut mot tjernet, tyder på at dette er en løsning som har vært vurdert (og påbegynt) før. Odd Arne Vagle i Sandnes kommune nevner også at dette tiltaket tidligere har vært diskutert, men at det av uvisse grunner aldri har blitt gjennomført.

En gjennomføring av dette tiltaket vil selvfølgelig kreve litt arbeid, men ledningsstrekket som mangler er såpass kort at dette ikke kan anses som noen stor jobb. I tillegg vil det nye ledningsstrekket gå utenfor vei, over et område hvor det ligger en grusbelagt parkeringsplass, noe som vil forenkle hele arbeidsprosessen. Kostnadene forbundet med denne løsningen må sies å være små, spesielt dersom den eksisterende ledningen kan benyttes.

Tiltaket vil, som tidligere nevnt, også kunne ha god påvirkning på vannkvaliteten i tjernet.

### **6.2.3. Andre tiltak**

Selv om det i denne oppgaven ikke ble sett på andre tiltak enn de som er nevnt ovenfor, kan man likevel gjøre seg noen tanker om hva som kunne vært andre aktuelle løsninger i feltet. Tiltak som regnbed, swales og infiltrasjonsgrøfter kan absolutt være aktuelt. Siden det er mye

private eiendommer i Trones-feltet er det sannsynlig at dette da må gjennomføres på privat grunn. Siden dette vil båndlegge private arealer kan det fort medføre skepsis blant huseierne. Også forbedring av infiltrasjonsevnen i veigrøfter og utskifting av impermeable dekker (asfalt osv.) vil kunne gi gode resultater. Da befinner vi oss stort sett på offentlig grunn, så dette er nok lettere å få gjennomslag for.

Dersom det skulle vise seg å være vanskelig å gjennomføre tiltak i Trones-feltet er det naturlig å se på løsninger nedstrøms, der hvor problemene faktisk oppstår. Helt i bunnen av feltet ligger det noen grøntområder, og da spesielt to parker, som er interessante. Her burde det være muligheter for å anlegge ulike overvannstiltak. Dette blir da en slags blanding av påstedet kontroll og nedstrøms kontroll (etter Stahres kategorisering i kapittel 2.3.2) hvor man samler opp vann fra et større felt, men likevel håndterer det lokalt.

### **6.3. Resultatene**

Resultatene i denne oppgaven er beregnet med verdier fra simuleringer utført i Mike Urban. Med bakgrunn i diskusjonen rundt modellen (kapittel 6.1), må det sies at resultatene må behandles med forsiktighet. Spesielt verdiene for vannmengder og vannføringer er usikre, først og fremst fordi modellen ikke er kalibrert. Likevel er modellen såpass detaljert at man bør kunne benytte seg av verdiene, så lenge man er klar over og tar hensyn til modellens usikkerheter.

Reduksjonen i vannmengder og vannføring vil derimot være representativ for hva man vil kunne forvente ved de ulike tiltakene. Selv om de enkelte verdiene før og etter tiltak enten er litt for høye eller for lave, vil forholdet mellom dem likevel kunne betraktes som riktig. Det er derfor nettopp disse resultatene som bør legges mest vekt på ved en vurdering av tiltakene.

Tiltakene i oppgaven ble simulert med to forskjellige nedbørshendelser. Det ble brukt et 20-års regn med en klimafaktor på 1,2, noe som er i henhold til både Norsk Vann og Sandnes kommunes anbefalinger. I tillegg ble det benyttet et 20-års regn med 60 % klimatillegg, som var ment å representere et «worst case-scenario».

Frakobling av takvann ser vi at kan gi meget bra resultater på avrenningen i Trones-feltet. Men spørsmålet vil selvfølgelig være hvor stor andel av takflatene det er realistisk å få koblet fra. Et scenario med 100 % frakobling er nok veldig urealistisk. 50 % frakobling høres mer fornuftig ut. I Fredrikstad har de oppnådd at ca. 60 % av de pålagte eiendommene har fulgt opp pålegget. Dette er positive tall, tatt i betraktning at den eneste oppfølgingsjobben kommunen har gjort er i form av et påminnelsesbrev.

En frakoblingsandel på 50 % vil gi stor reduksjon av overvannsmengder fra Trones-feltet. Over 30 % mindre vann de to mest intensive timene rund et 20-års regn representerer betydelige mengder. Også overløpsdriften, som er det mest alvorlige for situasjonen i sentrum, har et bra reduksjonspotensiale ved denne frakoblingsandelen. I overkant av 60 % mindre vann fra Trones-feltet betyr veldig mye for kapasiteten på ledningsnettet i gatene like nedstrøms overløpet. Når mengdene det er snakk ligger på rundt 50 m<sup>3</sup> mindre vann i løpet av 15 minutter, kan dette faktisk være forskjellen på oversvømmelse og ikke oversvømmelse for disse gatene.

Selv om scenarioet med 100 % frakobling er urealistisk, viser det oss likevel hvor stort det maksimale potensiale som faktisk ligger i et slikt tiltak er. Dette bør være en god motivasjonsfaktor ved en gjennomføring av tiltaket.

Også tiltaket med å lede overvann ut i Gisketjern viste seg å medføre gode resultater. Over 30 % mindre vann i de to timene etter regnstart og ca. en halvering av overløpsdriften, betyr at det er snakk om store vannmengder.

En observasjon som er verdt å ta med seg er at størrelsen på nedbørshendelsene virker å ha stor påvirkning på effekten av de ulike tiltakene. Jo kraftigere nedbøren er, jo mindre effekt ser vi på flomtoppene. Det hadde derfor vært interessant og sett på hvordan avrenningen påvirkes under regn med lavere returperioder. Hydrogrammene gir et bedre bilde av feltets hydrologi ved mindre nedbørshendelser.

De foreslåtte tiltakene har noen fellestrekk. De er forholdsvis enkle å gjennomføre, de krever lite ressurser, de er kostnadseffektive og ikke minst har de et bra reduksjonspotensiale. Det er klart at tiltakene må gjennomgå en dypere vurdering før iverksettelse. Både kapasiteten på tjernet og infiltrasjonsmulighetene på folks eiendommer må utforskes grundigere. Resultatene her gir i hvert fall en oversikt over hvilket potensiale som ligger i tiltakene, noe som forhåpentligvis kan være med å bidra i en beslutningsprosess.

## 7. Konklusjon

For å hindre framtidige oversvømmelser i Sandnes sentrum vil det være naturlig for Sandnes kommune å se etter muligheter for å redusere avrenningen fra oppstrøms beliggende områder. Trones-feltet er et grønt felt med gode muligheter for innføring av bærekraftige avrenningsreducerende tiltak.

Den eksisterende avløpssituasjonen i Trones-feltet gjør, i følge modellen, at overvannsmengdene som renner ut av feltet er meget høye. Forventet maksimal vannføring ved en 20-års hendelse med et klimatillegg på 20 % er 941 l/s, noe som fører til at hele 85 100 liter vann går via overløp og videre inn på det overbelastede avløpsnettet i sentrum.

Et tiltak som ser ut til å kunne redusere avrenningen betraktelig er påbud om frakobling av takvann i feltet. Det totale potensialet ved 100 % frakobling av takflater ser ut til å være en flomtoppreduksjon på ca. 61 %, mens overløpsdriften kan fjernes helt. Samtidig vil reduksjonen av vannmengdene fra de to mest intensive timene ved 20-års regnet bli på mer enn 63 %. Også scenarier med 50 % frakobling og 20 % frakobling viser seg å kunne gi gode resultater på avrenningen.

Et annet mulig tiltak er å lede oppstrøms overvann ut i Gisketjern og benytte tjernet som et fordrøyningsmagasin. Modellen viser at potensialet her ligger på ca. 32 % reduksjon av vannmengdene i de to mest intensive timene. Flomtoppen kan reduseres med nesten 10 % mens overløpsmengdene nærmest kan halveres.

Begge de nevnte tiltakene ses på som realistiske og gjennomførbare løsninger som ikke krever store inngrep.

Ved en vurdering av de ulike tiltakene anbefales det at de prosentvise reduksjonene tillegges mest oppmerksomhet, da disse vil være de mest representative resultatene. Direkte bruk av tall og verdier fra modellen bør man være forsiktig med.

Prosessen med å bygge en modell i Mike Urban viste seg å være en utfordring. Ingen forkunnskaper om verken området, avløpsnettet eller modelleringsverktøyet bidro til å komplisere arbeidet. Likevel er Trones-feltet nå blitt en fullstendig del av avløpsmodellen over Sandnes sentrum. Ved videre bruk er det viktig å være klar over modellens begrensninger og usikkerheter. For å oppnå best mulig kvalitet på resultatene anbefales det at modellen kalibreres.

## 8. Forslag til videre arbeid

For videre utforsking av avrenningsreducerende tiltak i Trones-feltet anbefaler jeg følgende arbeid:

- Dersom modellen skal benyttes i videre arbeid anbefales det at den kalibreres og verifiseres. I tillegg kan det utføres en følsomhetsanalyse for å finne ut hvilke parametere som er de mest følsomme/kritiske.
- Modellere tiltakene med annen programvare som for eksempel STORM og sammenligne med resultatene fra Mike Urban for å få et bedre beslutningsgrunnlag.
- I forbindelse med tiltakene som ble presentert i denne oppgaven bør det utføres grundigere undersøkelser av kapasiteten i Gisketjern og av de reelle mulighetene for frakobling av takvann.
- Omfattende målinger av infiltrasjonskapasiteten på flere steder i feltet. Studere hvordan infiltrasjonskapasiteten forandrer seg med årstidene.
- Undersøke mulighetene og viljen blant beboerne til å innføre andre bærekraftige overvannsløsninger som f.eks. regnbed, swales og infiltrasjonssandfang.

## Referanser

BCCR 2007. IPCC - Fourth Assessment Report 2007, FNs klimapanels fjerde hovedrapport, del 1. Klimaforståelse - Hovedfunn i første delrapport. Bergen.

BCCR. 2009. *Klimaendringer i fortiden* [Online]. Bergen: Bjerknes Centre for Climate Research. Available: <http://www.bjerknes.uib.no/filer/1372.pdf>.

BRATTLI, B. 2011. *Fysisk og kjemisk hydrogeologi*, Trondheim, Tapir akademisk forlag.

BUTLER, D. & DAVIES, J. W. 2011. *Urban drainage*, Hoboken, Taylor & Francis.

CHANSON, H. 2004. *The hydraulics of open channel flow: an introduction ; basic principles, sediment motion, hydraulic modelling, design of hydraulic structures*, Oxford [UK], Elsevier Butterworth Heinemann.

DHI 2011. Software catalogue, Modelling the world of water. MIKE by DHI.

DHI 2012a. Mike Urban, Collection System. MIKE by DHI.

DHI 2012b. MOUSE Reference Manual, Pipe Flow. MIKE by DHI.

DHI 2012c. MOUSE Reference Manual, RDII. MIKE by DHI.

DHI 2012d. MOUSE Reference Manual, Runoff. MIKE by DHI.

DHI 2012e. Software catalogue 2012-13, Software for water environments. DHI.

DINGMAN, S. L. 2008. *Physical Hydrology, second edition*, University of New Hampshire, Waveland Press, Inc.

EBELTOFT, M. 2012. Overvann, flom, ras og ekstremvær - Hva forsikringsbransjen er opptatt av! : FNO-Finansnæringens fellesorganisasjon.

FREDRIKSTAD-KOMMUNE 2007. Overvannsrammeplan. Fredrikstad.

GULLIVER, J. S., ERICKSON, A. J. & WEISS, P. T. 2010. *Stormwater Treatment: Assessment and Maintenance*, Minneapolis, MN, University of Minnesota, St. Anthony Falls Laboratory.

HANSSEN-BAUER, I., DRANGE, H., FØRLAND, E. J., ROALD, L. A., BØRSHEIM, K. Y., HISDAL, H., LAWRENCE, D., NESJE, A., SANDVEN, S., SORTEBERG, A.,

- SUNDBY, S., VASSKOG, K. & ÅDLANDSVIK, B. 2009. Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing. Oslo.
- LINDHOLM, O., ENDRESEN, S., SMITH, B. T. & THOROLFSSON, S. T. 2012. Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportssystem. *In: NORSK-VANN-BA* (ed.) *Norsk Vann Rapport nr.193*. Hamar.
- LINDHOLM, O., ENDRESEN, S., THOROLFSSON, S. T., SÆGROV, S., JAKOBSEN, G. & AABY, L. 2008. Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. *In: NORSK-VANN-BA* (ed.) *Norsk Vann Rapport nr.162*. Hamar.
- LINDHOLM, O., NIE, L. & BJERKHOLT, J. 2007. Klimaeffektens betydning for oppstuvinger og forurensningsutslipp fra avløpssystemer i byer, IMT-Rapport nr. 16. Ås.
- METEOROLOGISK-INSTITUTT. 2012a. *Klima* [Online]. Meteorologisk institutt. Available: <http://met.no/Klima/>.
- METEOROLOGISK-INSTITUTT. 2012b. *Klimaet i Norge* [Online]. Meteorologisk institutt. Available: [http://met.no/Klima/Natidsklima/Klima\\_i\\_Norge/](http://met.no/Klima/Natidsklima/Klima_i_Norge/).
- METEOROLOGISK-INSTITUTT. 2012c. *Vestlandet* [Online]. Meteorologisk institutt. Available: [http://met.no/Vestlandet.b7C\\_wljM1i.ips](http://met.no/Vestlandet.b7C_wljM1i.ips).
- NESTINGEN, R. S. 2007. *The Comparison og Infiltration Devices and Modification of the Philip-Dunne Permeameter for the Assessment of Rain Gardens - Master's thesis*. University of Minnesota.
- NOU-KLIMATILPASSING. 2009a. *Mer ekstrem korttidsnedbør på Sør-Vestlandet* [Online]. Miljøverndepartementet. Available: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/kampanjer/klimatilpassing-norge-2/fylker-2/rogaland.html?ANNOTATIONPAGEID=577804&TAB=3&id=540023>.
- NOU-KLIMATILPASSING. 2009b. *Nedbørøkning på Sør-Vestlandet* [Online]. Miljøverndepartementet. Available: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/kampanjer/klimatilpassing-norge-2/fylker-2/rogaland.html?ANNOTATIONPAGEID=577709&TAB=3&id=540023>.
- OLSSON, J., BERGGREN, K., OLOFSSON, M. & VIKLANDER, M. 2009. Applying climate model precipitation scenarios for urban hydrological assessment: A case study in Kalmar City, Sweden. *Atmospheric Research*, 92, 364-375.
- PAUS, K. A. H. 2012. Forelesningsmateriale - TVM4130 Urbane Vannsystemer. NTNU.
- PAZWASH, H. 2011. *Urban storm water management*, Boca Raton, FL, CRC Press.

RAWLS, W. J., BRAKENSIEK, D. L. & SAXTON, K. E. 1982. Estimation of Soil Water Properties. Transactions of the ASAE. St. Joseph, Michigan: The American Society of Agricultural Engineers.

REGCLIM. 2000. Klimaet i Norge om 50 år. Available: [http://regclim.met.no/presse/download/regclim\\_brosjyre.pdf](http://regclim.met.no/presse/download/regclim_brosjyre.pdf).

SANDNES-KOMMUNE 2012a. Kommunalteknisk VA-norm, Vedlegg 9  
Overvannshåndtering. Sandnes.

SANDNES-KOMMUNE. 2012b. Om Sandnes. Available: [www.sandnes.kommune.no](http://www.sandnes.kommune.no).

SANDNES-KOMMUNE. 2012c. *Sandnes i tall* [Online]. Sandnes kommune. Available: <https://www.sandnes.kommune.no/Globalmeny/Om-Sandnes/Om-Sandnes/Sandnes-i-tall/2013>].

SSB. 2013. *Folke- og bolig tellingen. Boliger* [Online]. Statistisk sentralbyrå. Available: <http://www.ssb.no/befolkning/statistikker/fobbolig/hvert-10-aar/2013-02-26#content>.

STAHRE, P. 2006. *Sustainability in urban storm drainage : planning and examples*, Stockholm, Svenskt vatten.

THOROLFSSON, S. T. 2012. *Overvannsteknologi*, Trondheim, NTNU.

USDA. 2006. *MO-1 Technical Note Number 26 (2nd Revision)* [Online]. United States Department of Agriculture. Available: [ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/MO1/tech\\_pdf/tech26.pdf](ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/MO1/tech_pdf/tech26.pdf)

VAGLE, O. A. 2013. Personlige meddelelser, Odd Arne Vagle.

VASSKOG, K., DRANGE, H. & NESJE, A. 2009. Havnivåstigning - Estimer av framtidig havnivåstigning i norske kystkommuner, Revidert utgave.

VIKE, K. 2012. Sandnes kommune, Tiltaksanalyse - Sone 3 Sentrum, Mike Urban. Trondheim.

VIKE, K. 2013. Personlige meddelelser, Kirsten Vike.

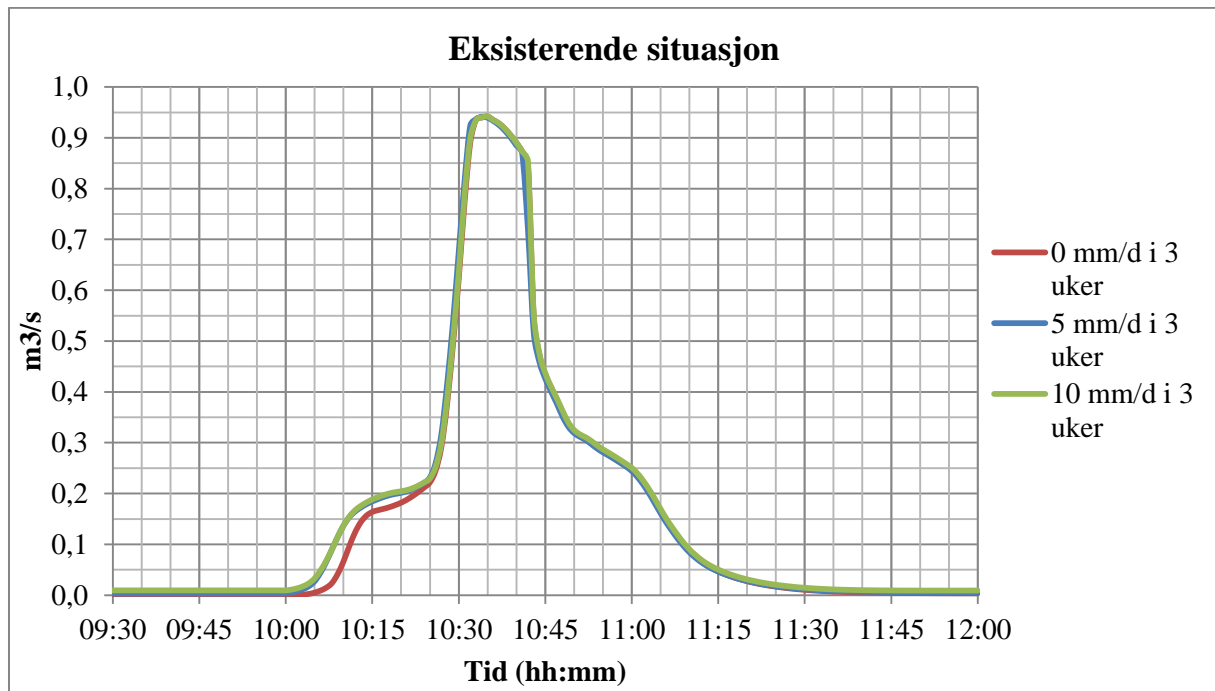
ØDEGAARD, H., SÆGROV, S., ØSTERHUS, S., THOROLFSSON, S. T., LINDHOLM, O., HEISTAD, A. & MOSEVOLL, G. 2012. *Vann- og avløpsteknikk*, Hamar, Norsk Vann.



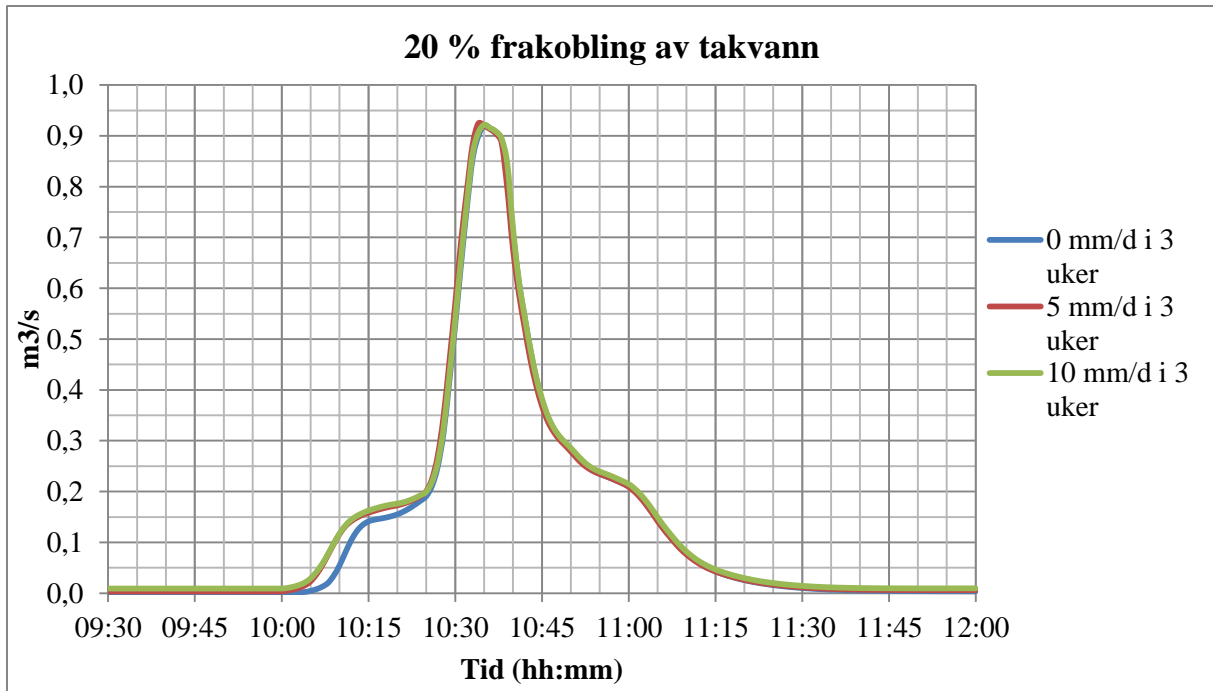
## Vedlegg A – Vannføring ved forskjellige forregn

Kurver fra analysen av forregnets betydning for avrenningen. Kurvene viser vannføring i betraktningpunktet ved forskjellige tiltak i Trones-feltet, med forskjellige forregn.

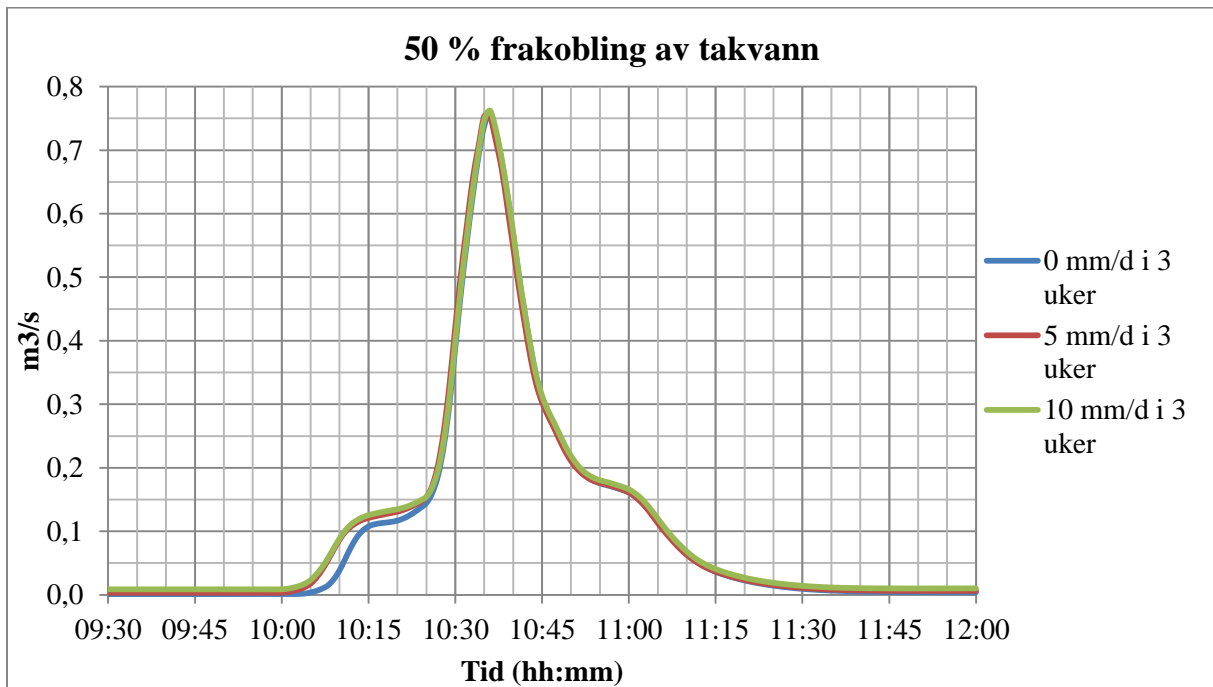
Nedbørshendelse: 20-års regn med klimafaktor 1,2.



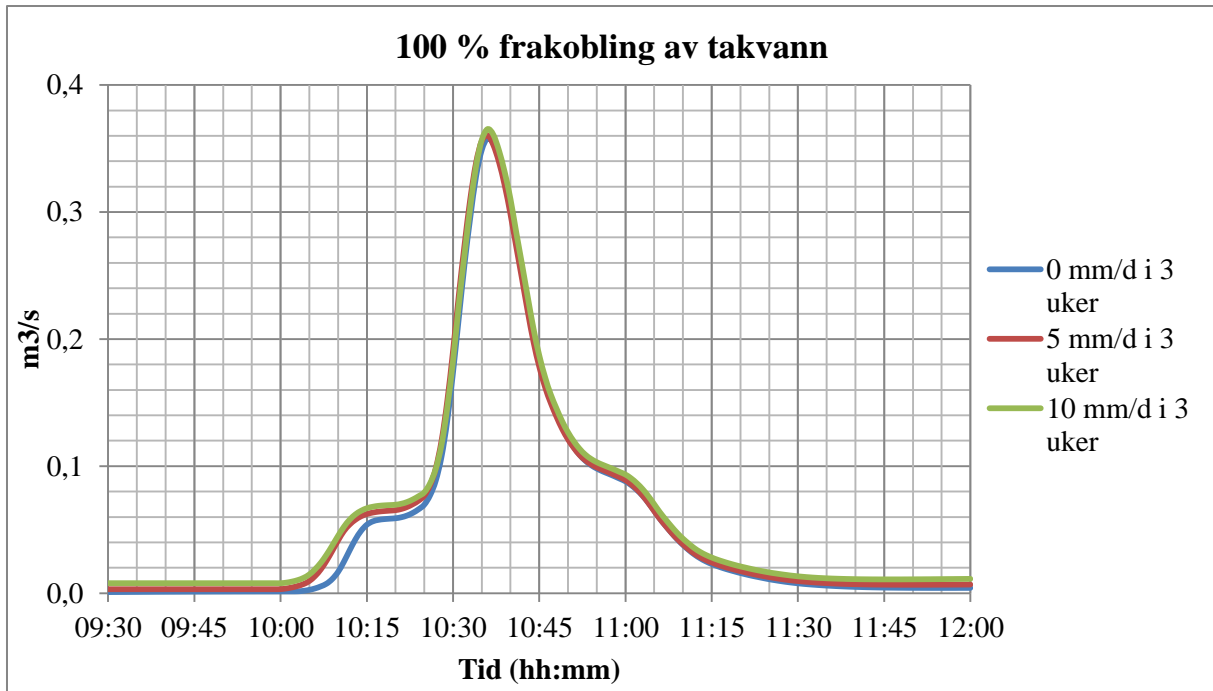
Figur A.1: Vannføring eksisterende situasjon. Ulike forregn.



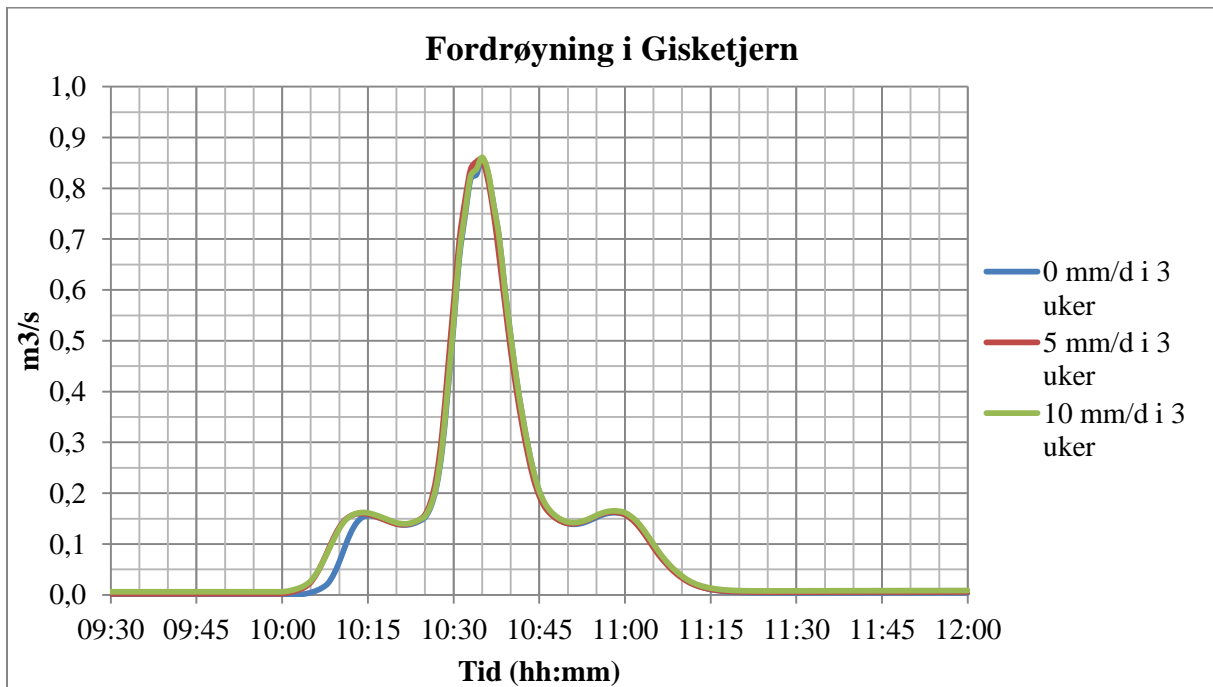
**Figur A.2: Vannføring ved 20 % frakobling av takflater. Ulike forregn.**



**Figur A.3: Vannføring ved 50 % frakobling av takflater. Ulike forregn.**



**Figur A.4: Vannføring ved 100 % frakobling av takflater. Ulike forregn.**



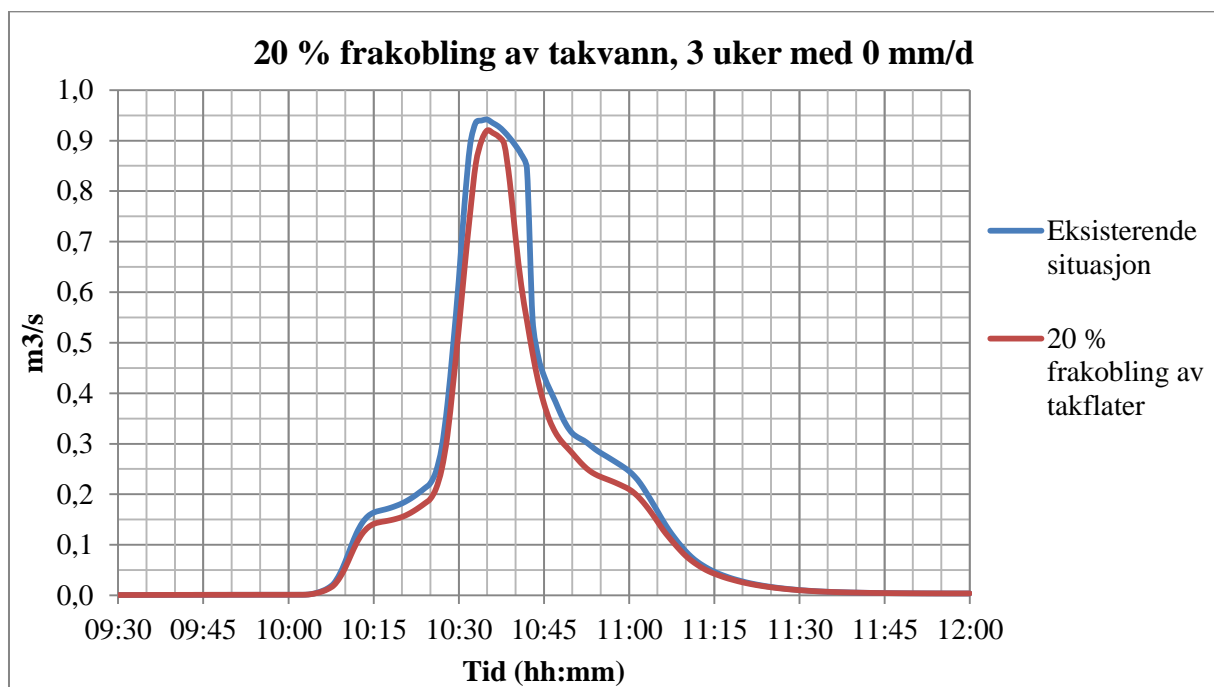
**Figur A.5: Vannføring ved fordrøyning i Gisketjern. Ulike forregn.**

## Vedlegg B – Endring i vannføring ved ulike tiltak med forskjellige forregn

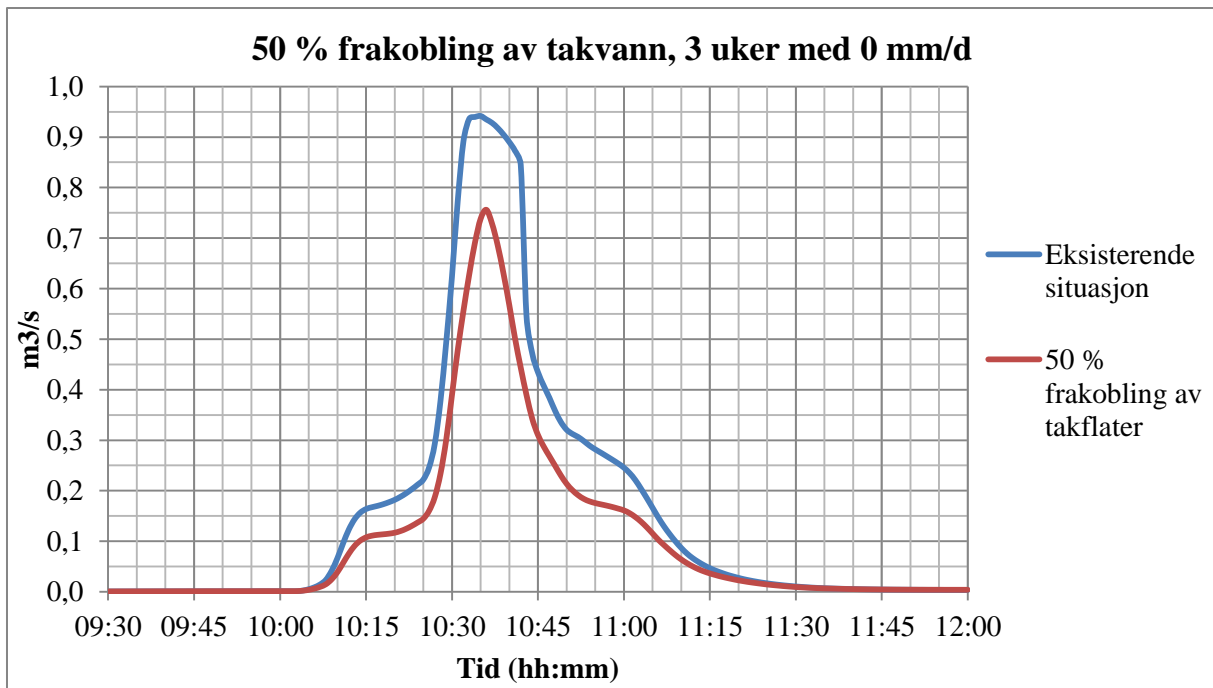
Kurver fra analysen av forregnets betydning for avrenningen. Kurvene viser vannføring ved ulike tiltak sammenlignet med eksisterende situasjon. Tidsserier med ulike forregn.

Nedbørshendelse: 20-års regn med klimafaktor 1,2.

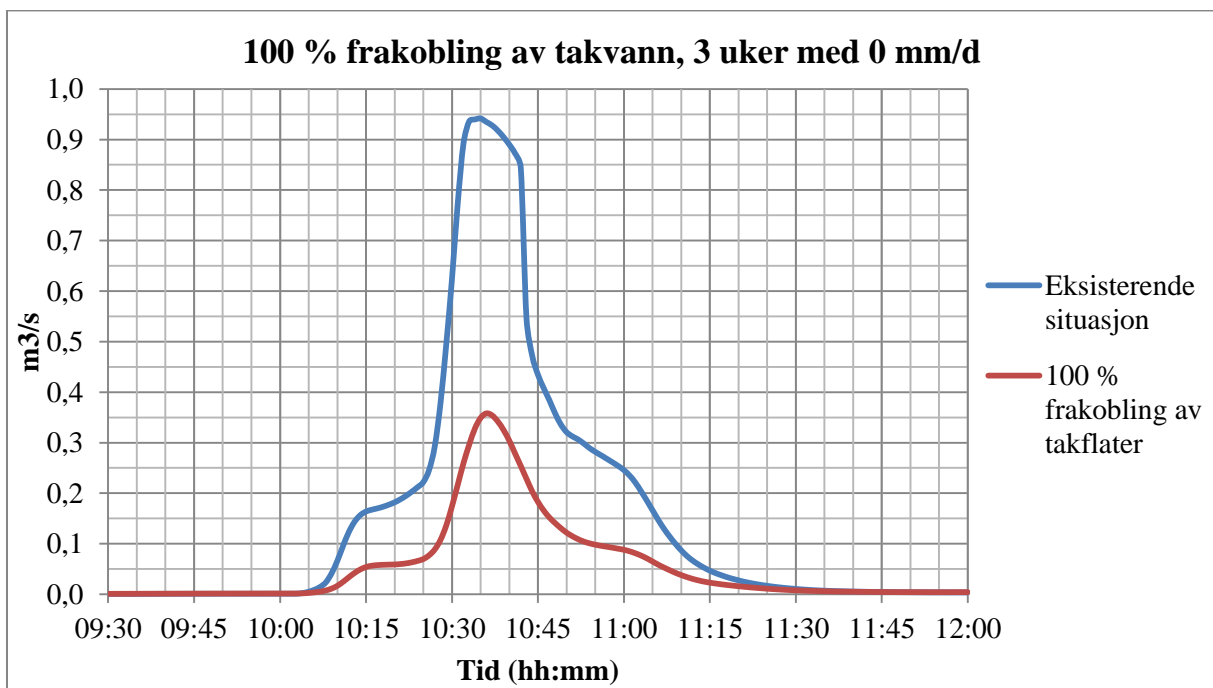
### Forregn: 0 mm/d i 3 uker



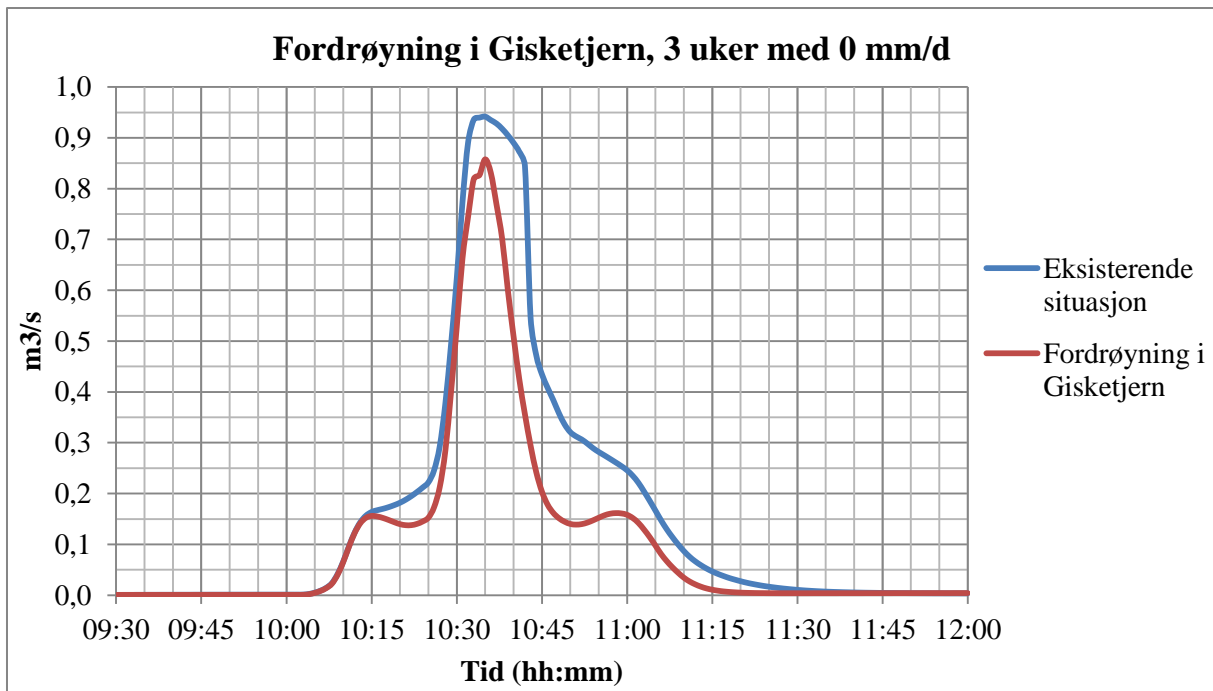
**Figur B.1: Vannføring ved 20 % frakobling av takflater sammenlignet med eksisterende situasjon. Tidsserie: 3 uker med 0 mm/d + 20-års regn + 1 uke med 0 mm/d.**



**Figur B.2: Vannføring ved 50 % frakobling av takflater sammenlignet med eksisterende situasjon. Tidsserie: 3 uker med 0 mm/d + 20-års regn + 1 uke med 0 mm/d.**

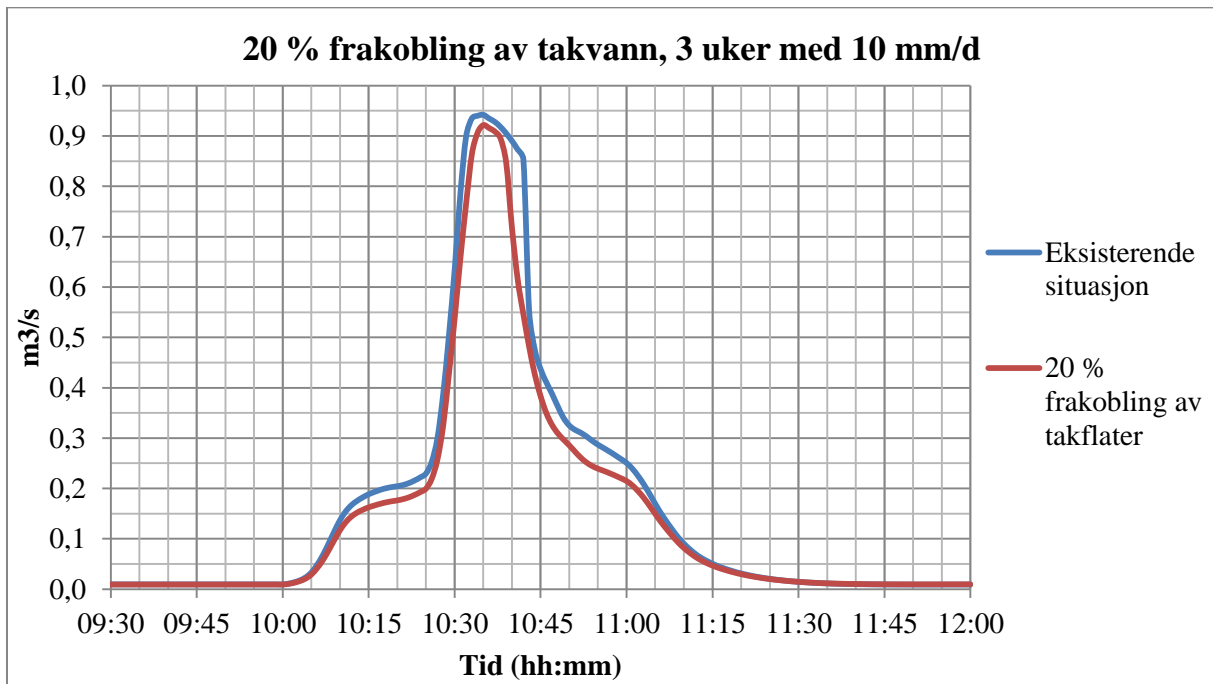


**Figur B.3: Vannføring ved 100 % frakobling av takflater sammenlignet med eksisterende situasjon. Tidsserie: 3 uker med 0 mm/d + 20-års regn + 1 uke med 0 mm/d.**

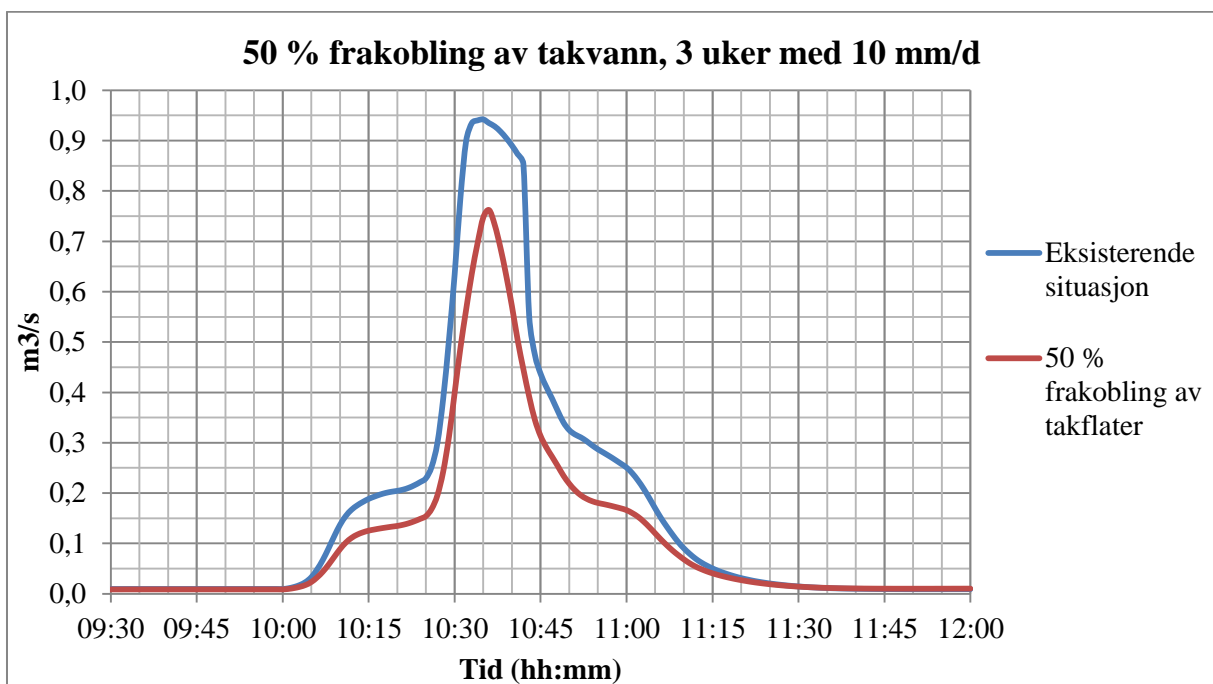


**Figur B.4: Vannføring ved fordrøyning i Gisketjern sammenlignet med eksisterende situasjon. Tidsserie: 3 uker med 0 mm/d + 20-års regn + 1 uke med 0 mm/d.**

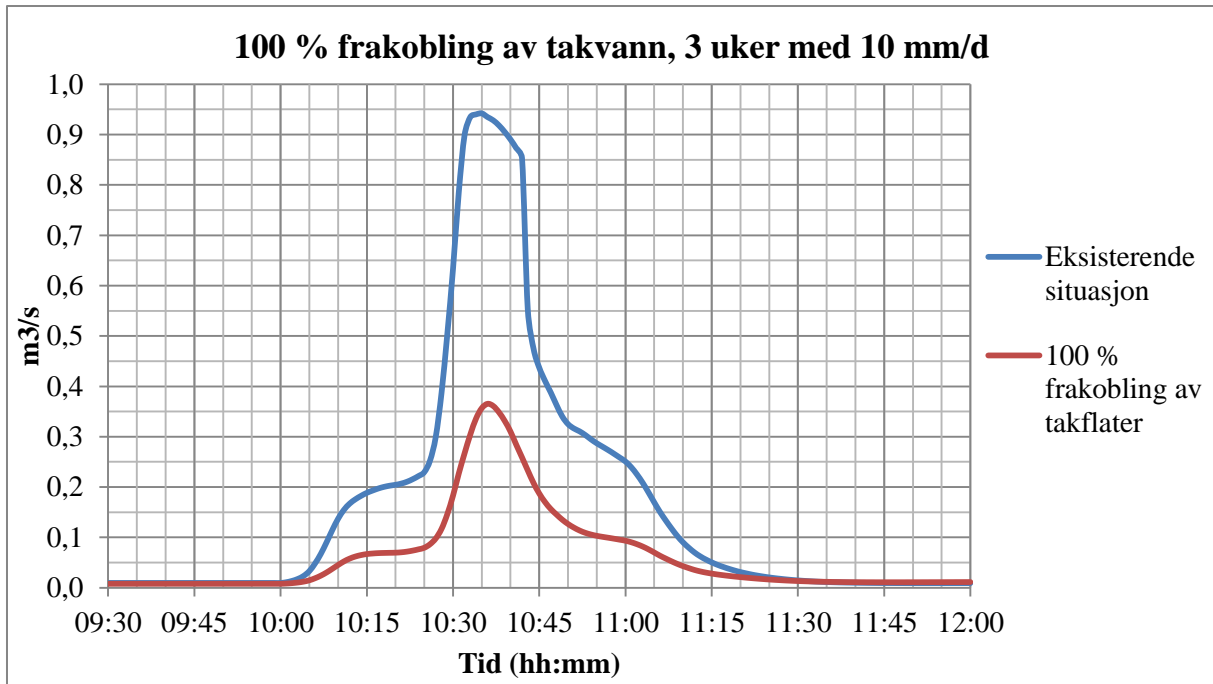
**Forregn: 10 mm/d i 3 uker**



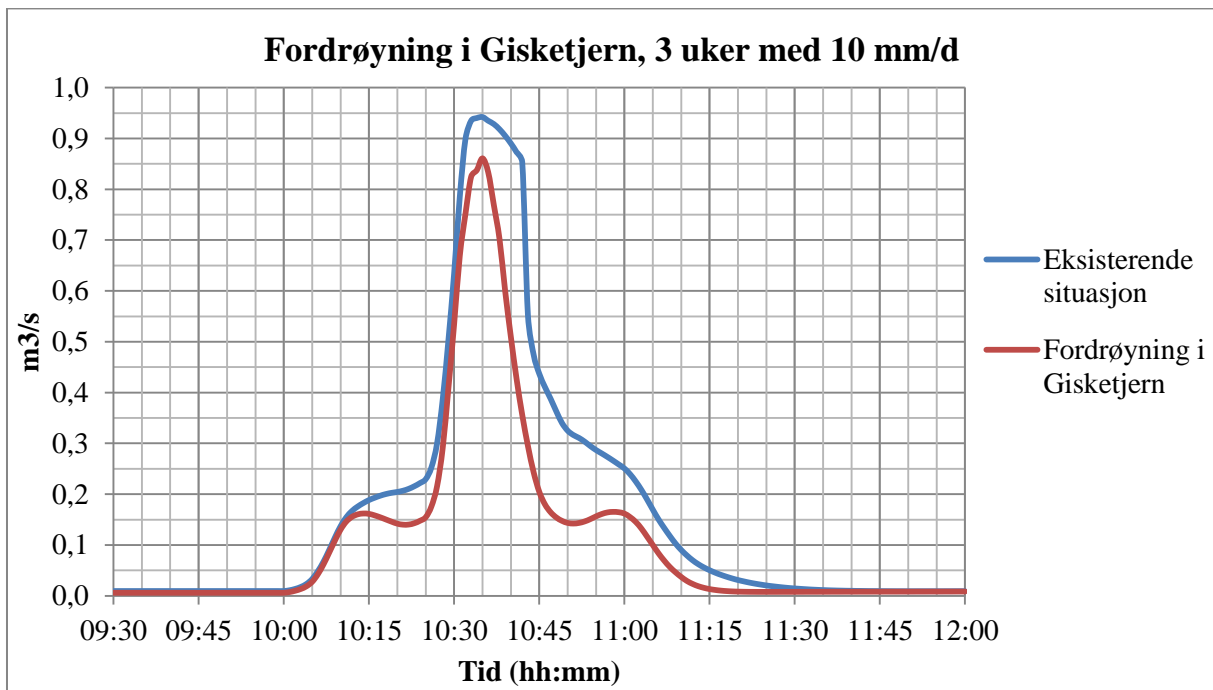
**Figur B.5: Vannføring ved 20 % frakobling av takflater sammenlignet med eksisterende situasjon. Tidsserie: 3 uker med 10 mm/d + 20-års regn + 1 uke med 0 mm/d.**



**Figur B.6: Vannføring ved 50 % frakobling av takflater sammenlignet med eksisterende situasjon. Tidsserie: 3 uker med 10 mm/d + 20-års regn + 1 uke med 0 mm/d.**



**Figur B.7: Vannføring ved 100 % frakobling av takflater sammenlignet med eksisterende situasjon. Tidsserie: 3 uker med 10 mm/d + 20-års regn + 1 uke med 0 mm/d.**



**Figur B.8: Vannføring ved fordrøyning i Gisketjern sammenlignet med eksisterende situasjon. Tidsserie: 3 uker med 10 mm/d + 20-års regn + 1 uke med 0 mm/d.**



## Vedlegg C – Beregninger fra sammenligning av Mike Urban og den rasjonelle metode

	Avot (ha)	Aperm. (ha)	Aimperm. (ha)	$\phi_{perm.}$	$\phi_{imperm.}$	Intensitet ( $l/s^+ha$ )	$\phi$	K	Q (l/s)	Q fra MU	% forskjell
Ekisterende situasjon	24,9	18,3	6,6	0,2	0,9	60,7	0,39	1,2	699	941	25,7
20 % frakobling av takflater	24,9	19,1	5,8	0,2	0,9	60,7	0,36	1,2	658	924	28,7
50 % frakobling av takflater	24,9	20,4	4,5	0,2	0,9	60,7	0,33	1,2	592	753	21,4
100 % frakobling av takflater	24,9	22,6	2,3	0,2	0,9	60,7	0,26	1,2	480	361	-33,0
Ekisterende situasjon	24,9	18,3	6,6	0,2	0,9	60,7	0,39	1,6	932	970	3,9
20 % frakobling av takflater	24,9	19,1	5,8	0,2	0,9	60,7	0,36	1,6	878	961	8,6
50 % frakobling av takflater	24,9	20,4	4,5	0,2	0,9	60,7	0,33	1,6	790	920	14,2
100 % frakobling av takflater	24,9	22,6	2,3	0,2	0,9	60,7	0,26	1,6	640	493	-29,8

Figur C.1: Beregninger med den rasjonelle metode. Sammenligning med flomtopper fra simuleringer Mike Urban.