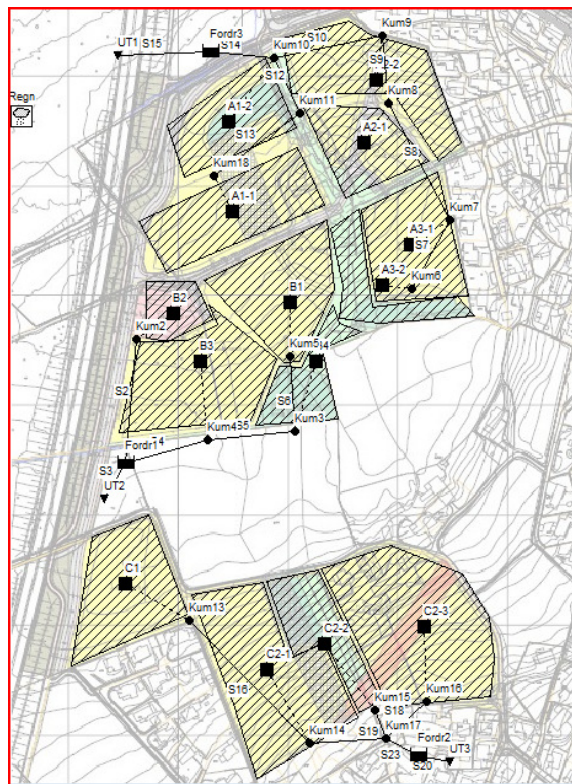


# Overvannshåndtering ved Aase Gård, Sandnes kommune

- en casestudie -



Skrevet av

Morten Brattebø Fenne

Ved

Universitetet i Stavanger  
Teknisk naturvitenskapelige fakultet  
Industriell Økonomi  
Masteroppgave 2012, 30 stp



Universitetet  
i Stavanger



Universitetet  
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

## MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Industriell økonomi	Vår.....semesteret, 20.12  Åpen / Konfidensiell
Forfatter: Morten Brattebø Fenne	..... (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Arnstein Øvrelid Veileder(e): Per Helge Ollestad (Dimensjon Rødgirning AS)	
Tittel på masteroppgaven: Overvannshåndtering ved tase gård, Sandnes kommune. En case studie Engelsk tittel:	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Vann og Avløp Overvannshåndtering	Sidetall: 72 + vedlegg/annet: ..... Stavanger, 14.06.12 dato/år

## Forord

Denne oppgaven er skrevet av Morten Brattebø Fenne i løpet av vårsemesteret 2012. Den inngår som en obligatorisk del av masterstudiet Industriell økonomi, ved Universitet i Stavanger. Jeg startet studiet høsten 2007 og er etter denne oppgaven ferdig utdannet sivilingeniør.

Gjennom faget *vann og avløp* og min bacheloroppgave "Vannlekkasjer i vårt vannledningsnett", har jeg fått interesse av VA faget, og jeg var aldri i tvil om at det var dette jeg skulle skrive masteroppgave om. I løpet av arbeidet med denne oppgaven har jeg tilegnet meg mye ny kunnskap om faget, noe som var mitt hovedmål for oppgaven.

Etter en litt treg start, har jeg jobbet med oppgaven jevnt og trutt gjennom hele semesteret. Arbeidet har vært interessant og lærerikt, men til tider litt frustrerende. Å sette seg inn i den hydrologiske modellen SWMM var svært tidkrevende, da simuleringene er avhengig av et høyt antall parametre, der hver enkelt av dem må være riktig innstilt. I tillegg har jeg måtte bruke mye tid på å forbedre mine grunnkunnskaper om VA faget generelt.

Jeg ønsker å takke Dimensjon Rådgivning AS for et godt samarbeid gjennom arbeidet med oppgaven. Jeg sendte forespørsler rundt til konsulentselskaper innen VA høsten 2011, og på grunnlag av svarene jeg fikk, valgte jeg Dimensjon som samarbeidsbedrift. Her har jeg fått all nødvendig hjelp i forbindelse med oppgaveskrivingen. En spesiell takk til Per Helge Ollestad i Dimensjon Rådgivning AS, som har vært min eksterne veileder og hjulpet meg underveis.

Takk også til Arnstein Øvreid, som har vært veileder fra UIS.

Stavanger 14.06.2012

Morten Brattebø Fenne



## Sammendrag

Aase Gård som ligger i Ganddal, Sandnes kommune, er i reguleringsplanen regulert til boliger. Ved arbeidet med detaljregulering av området blir det tidlig oppdaget kapasitetsproblemer med det eksisterende overvannsnett. Det er med andre ord ikke mulig å belaste nettet mer enn slik situasjonen er i dag. Oppgaven tar for seg ulike alternativ som løse problemet.

Aktuell teori og nødvendig grunnlagsdata blir hentet inn. Tre ulike løsninger blir foreslått, disse skal vurderes opp mot hverandre. I det hydrologiske programmet SWMM blir det satt opp fire modeller som det kjøres simuleringer på. Alle modellene baserer seg på et konstruert reghyetogram, en regnbygge med 20 års hyppighetsintervall. I tillegg legges det inn flere andre parametre som får konsekvenser for utfallet. Modellene som brukes er:

- Modell 1: Modell over dagens situasjon. Gir resultater på hvor store mengder overvann som blir sluppet inn i ledningsnett fra området, slik det er før utbygging. Ved å bruke disse resultatene som en begrensning på mengde utslipp av overvann, gir en grunnlag for de neste modellene.
- Modell 2. Skal tilfredsstillere kravene til utslipp ved å bruke fordrøyning. Det legges opp til at tre store fordrøyningsmagasin etableres.
- Modell 3: Her skal mest mulig av overvannet håndteres lokalt. Det legges opp til at hver private eiendom får en egen infiltrasjonskum, som har til hensikt å infiltrere og fordrøye overvannet. Det må i tillegg etableres et felles fordrøyningsmagasin.
- Modell 4: Skal modellere situasjon med ny overvannsledning ned til nærmeste resipient, elva Storåna.

Ved å bruke fire kriterier, risiko, kostnader, vedlikehold og regelverk, blir det vurdert hvilken løsning som er den beste. Modell 4 blir for dyr og bryter regelverket. Modell 2 er den billigste løsningen, har liten risiko og behøver lite vedlikehold. Likevel konkluderes det med at løsning basert på modell 3 er den beste. Den følger regelverket "til punkt og prikke", det er en svært god løsning på lokal overvannshåndtering. Løsningen er ny, og det finnes derfor lite erfaringer, men Sandnes kommune er villige til å forsøke, og har stilt seg svært positive til denne løsningen. Løsningen krever noe vedlikehold fra privat huseier, men med god informasjon og oppfølging, skal det ikke oppstå problemer.

## Innholdsfortegnelse

Kapittel 1 - Innledning .....	9
<b>1.1</b> <b>PROBLEMSTILLING</b> .....	9
<b>1.2</b> <b>FREM GANGSMÅTE</b> .....	9
Kapittel 2 - Teori.....	10
<b>2.1</b> <b>AKTUELLE STØRRELSER OG FORKORTELSER</b> .....	10
<b>2.2</b> <b>DEFINISJONER</b> .....	10
<b>2.3</b> <b>LOKAL OVERVANNSDISPONERING (LOD)</b> .....	11
2.3.1 <i>Hovedprinsipp av overvannshåndtering</i> .....	11
2.3.2 <i>Regelverk</i> .....	12
2.3.3 <i>Aktuelt</i> .....	12
<b>2.5</b> <b>UTBYGGINGSFASEN</b> .....	18
<b>2.6</b> <b>FLOMVEIER</b> .....	18
<b>2.7</b> <b>AASE GÅRD</b> .....	19
2.7.1 <i>Sandnes kommune</i> .....	20
2.7.2 <i>Ledningsnettet i kommunen</i> .....	20
2.7.3 <i>Utbyggingsprosessen</i> .....	20
<b>2.8</b> <b>HYDROLOGISKE MODELLER</b> .....	21
2.8.1 <i>Generelt</i> .....	21
2.8.2 <i>SWMM</i> .....	21
<b>2.9</b> <b>EKLIMA</b> .....	22
Kapittel 3 - Grunnlagsdata.....	23
<b>4.1</b> <b>NEDBØRS DATA</b> .....	23
<b>4.2</b> <b>KART DATA</b> .....	25
<b>4.3</b> <b>EKSISTERENDE ANLEGG</b> .....	27
<b>4.4</b> <b>INFILTRASJONS DATA</b> .....	28
Kapittel 4 - Definerer mulige løsninger.....	31
Kapittel 5 - Etablere modeller .....	32
<b>5.1</b> <b>SIMULERING AV REGN</b> .....	32
<b>5.2</b> <b>PARAMETRE</b> .....	36
<b>5.3</b> <b>MODELL 1 (DAGENS SITUASJON)</b> .....	37
5.3.1 <i>Beskrivelse av hvert delområde inkludert innsatte verdier</i> .....	37

5.4	<b>MODELL 2 (MED STORE FELLES FORDRØYNINGSMAGASIN)</b> .....	39
5.5	<b>MODELL 3 (MED INFILTRASJON PÅ HVER EIENDOM)</b> .....	40
5.6	<b>MODELL 4 (NY LEDNINGSTRASE)</b> .....	42
<b>Kapittel 6 - Resultat av modell</b> .....		<b>43</b>
6.1	<b>RESULTAT AV MODELL 1</b> .....	43
6.2	<b>RESULTAT AV MODELL 2</b> .....	44
6.2.1	<i>Område A</i> .....	44
6.2.2	<i>Område B</i> .....	47
6.2.3	<i>Område C</i> .....	48
6.4	<b>RESULTAT AV MODELL 4</b> .....	53
6.5	<b>KOSTNADSBEREGNINGER</b> .....	55
6.5.1	<i>Modell 2</i> .....	55
6.5.2	<i>Modell 3</i> .....	56
6.5.3	<i>Modell 4</i> .....	58
<b>Kapittel 7 - Usikkerhet</b> .....		<b>61</b>
7.1	<b>GENERELT</b> .....	61
7.2	<b>USIKKERHET TIL GRUNNLAGSDATA</b> .....	61
7.2.1	<i>Nedbørsdata og simulering av regn</i> .....	61
7.2.2	<i>Kartdata</i> .....	61
7.2.3	<i>Eksisterende anlegg</i> .....	62
7.2.4	<i>Infiltrasjonsdata</i> .....	62
7.3	<b>USIKKERHET TIL MODELL I SWMM</b> .....	63
7.3.2	<i>Modell 1 (dagens situasjon)</i> .....	64
7.3.3	<i>Modell 2 (med store felles fordrøyningsmagasin)</i> .....	65
7.3.4	<i>Modell 3 (med infiltrasjon på hver eiendom)</i> .....	65
7.3.5	<i>Modell 4 (ny ledningstrase)</i> .....	65
7.4	<b>USIKKERHET TIL KOSTNADSBEREGNINGER</b> .....	66
<b>Kapittel 8 - Kost-nytte evaluering:</b> .....		<b>67</b>
8.1	<b>EVALUERINGSKRITERIER:</b> .....	67
8.2	<b>OVERSIKT</b> .....	68
8.3	<b>GRAFISK EVALUERING</b> .....	69
<b>Kapittel 9 - Konklusjon</b> .....		<b>70</b>
<b>Kilder</b> .....		<b>71</b>

## Figurliste

Figur 1: Fellessystemet ( <a href="http://www.svenskvatten.no">www.svenskvatten.no</a> ).....	11
Figur 2: Separatsystemet ( <a href="http://www.svenskvatten.no">www.svenskvatten.no</a> ).....	11
Figur 3: Avrenning fra et område med forskjellige typer overflate, med tilhørende regnskyll vist i grafen ovenfor.....	13
Figur 4: Eksempel på utførelse av porøs overflate .....	14
Figur 5: Eksempel på en type åpen fordrøyningsdam.....	15
Figur 6: Eksempel på utførelse av en lukket fordrøyningsdam .....	15
Figur 7: Eksempel på utførelse av en infiltrasjonsgrøft.....	16
Figur 8: Eksempel på en type infiltrasjonskum ( <a href="http://www.skjeveland.no">www.skjeveland.no</a> ) .....	17
Figur 9: Området Aase Gård plassert i kartet (generert fra <a href="http://norgeskart.no">norgeskart.no</a> ).....	19
Figur 10: Eksempel på en modell for overvannsystem for et område.....	22
Figur 11: IVF kurve fra Rovik målestasjon, Sandnes.....	23
Figur 12: Kart over Aase Gård med topografi og eiendomsgrenser ( <a href="http://www.norgeskart.no">www.norgeskart.no</a> ).....	25
Figur 13: Oppdeling av de tre områdene.....	26
Figur 14: Naturlige påkoblingspunkter .....	27
Figur 15: Infiltrasjonen i løpet av perioden, med tilhørende værtype. ....	29
Figur 16: Naturlig trasé for ny overvannsledning ( <a href="http://maps.google.com">maps.google.com</a> ).....	31
Figur 17: Symmetrisk regnhyetogram med 20 års gjentakintervall .....	34
Figur 18: Viser hvordan modellen ser ut i SWMM. Bakgrunnen er et flyfoto fra <a href="http://gulesider.no">gulesider.no</a>	38
Figur 19: Oppbygning av modell 2.....	39
Figur 20: Illustrasjon av modell 3 .....	40
Figur 21: Viser kum før og etter nedbør .....	41
Figur 22: Enkel modell av situasjon med ny ledningstrase.....	42
Figur 23: Grafen viser total vannstrøm over tid, ut fra de tre forskjellige områdene. ....	43
Figur 24: Viser vannmengde i utslagspunkt over tid. Maksimal vannmengde er 42 l/s. ....	44
Figur 25: Grafen viser mengde vann som lagret i fordrøyningsmagasinet over tid. ....	45
Figur 26: Illustrasjon over utførelse .....	45
Figur 27: En kombinasjon av lukket og åpent fordrøyningsmagasin. ....	46
Figur 28: Viser vannstrøm gjennom utslagsrør.....	47
Figur 29: Vannmengde i magasin over tid. ....	47
Figur 30: Vanngjennomstrømning fra område C .....	48
Figur 31: Volum av vann i fordrøyningsmagasin til område C.....	48
Figur 32: Viser et utklipp fra modellen, inkludert forklaring. ....	49
Figur 33: Vannmengde i felles fordrøyningsmagasin over tid. ....	50
Figur 34: Viser vannvolumet i en innfiltrasjonskum over en periode på fire timer.....	51
Figur 35: Viser virkning av infiltrasjon over tid. ....	52
Figur 36: Oppbygningen av modell 4.....	53
Figur 37: Total vannstrøm fra de tre områdene. ....	54
Figur 38: Brukt kapasitet til utløpsrøret fra feltet.....	54
Figur 39: Hentet fra simulasjoner gjort i modell 3. Viser mengde vann i ledninger og kummer på et kritisk tidspunkt. ....	57
Figur 40: Hentet fra simulasjoner gjort i modell 2. Viser mengde vann i ledninger og kummer på et kritisk tidspunkt.....	57
Figur 41: Sensitiviteten av parametre i forhold til maks avrenning ( <i>Forelesningsnotat, Lindholm, 2010</i> ).....	63
Figur 42: Grafisk fremstilling av evaluering .....	69

## Tabelliste

Tabell 1: Hovedforskjellene mellom de to mest brukte hydrologiske modellene (Forelesningsnotat, Sælthun 2010) .....	21
Tabell 2: Tabell tilhørende IVF kurven (figur nr 11). Hentet fra <i>Eklima.no</i> .....	24
Tabell 3: Samme som i tabell 2, men her er nedbørsintensitet byttet ut med nedbørssum...24	
Tabell 4: Data fra infiltrasjonsmålingene.....	28
Tabell 5: Norsk Vanns anbefalte minimums dimensjonerende hyppigheter ( <i>norvar.no</i> ) .....	33
Tabell 6: Regnintensitet til de ulike regnvarighetene til et regn med hyppighet på 20 år. ....	33
Tabell 7: Tabell til regnhyetogrammet .....	34
Tabell 8: Oversikt over forskjeller i de tre modellene.....	55
Tabell 9: Viser hvilket ledningstrekk som det er tatt utgangspunkt i følgende eksempel.....	56
Tabell 10: Kostnadsoverslag til utbygging av ny overvannsledning.....	59
Tabell 11: Oversikt over oppsummert resultat.....	60
Tabell 12: Evalueringsoversikt .....	68
Tabell 13: Valgte verdier.....	69



# Kapittel 1 - Innledning

## **1.1 Problemstilling**

Temaet for oppgaven er håndtering av overvannet i forbindelse med utbygging av Aase Gård i Sandnes kommune. Aase Gård ligger langs ny RV44 ved Ganddal i Sandnes, og arbeidet med å detaljregulere området foregår. Tidlig i prosessen kommer det frem at det vil oppstå problemer med håndteringen av overvannet fra stedet, da kapasiteten til det eksisterende ledningsnett er allerede brukt slik situasjonen er i dag. Det må da vurderes ulike alternativer for å komme frem til en tilfredsstillende løsning.

Det er langt fra et uvanlig problem. Byene blir stadig mer fortettet uten at overvannssystemet er dimensjonert for dette. Å bytte ut hele ledningsnett er ofte svært dyrt og komplisert. Det blir derfor stadig viktigere og nødvendig med fokus på lokal overvannshåndtering. Ved å infiltrere og fordrøye overvannet, kan en løse problemer.

## **1.2 Fremgangsmåte**

Oppgavearbeidet startet med å innhente aktuell teori, både når det gjelder lokal overvannshåndtering, caseområdet og brukt modelleringsprogram. Hele oppgaven baseres på modeller som blir laget i det hydrologiske programmet SWMM. Det opprettes fire modeller, som det kjøres simuleringer på. For å få til dette kreves en hel del grunnlagsdata som modellene kan baseres på. Blant annet må det legges inn et nedbørsregn som skal være dimensjonerende. Ut i fra resultatene fra simuleringene, kostnadsestimeres hver løsning. Og på grunnlag av dette gjøres evalueringer som fører frem til en konklusjon. Det skal også ses på og belyses eventuelle usikkerheter.

## Kapittel 2 - Teori

### 2.1 Aktuelle størrelser og forkortelser

Hektar (ha) – Er en enhet for måling av areal. Hektar brukes ofte til å angi størrelse på skog, landbrukseiendommer og tomter.

$$1 \text{ hektar} = 10\,000 \text{ m}^2 = 10 \text{ mål} = 0,01 \text{ km}^2$$

l/s - Liter per sekund

IVF- kurver – Intensitet, varighet og frekvenskurver

### 2.2 Definisjoner

**Overvann:** er definert som overflateavrennende regnvann og smeltevann som dreneres til grunn, resipient eller avløpsrenseanlegg via markoverflater, grøfter, rennesteiner eller ledninger.

**Resipient:** er vannforekomst som mottar forurensninger fra avløpsanlegg. Resipient for infiltrasjonsanlegg er grunnvann. Resipient for alle andre typer anlegg er overflatevann (sjø, elv, vann, osv)

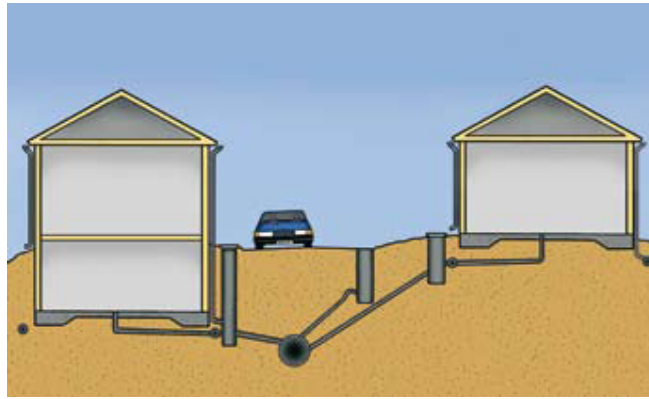
**Lokal overvannsdiskonering (LOD)/lokal overvannshåndtering (LOH):** går ut på å unngå å lede overvannet direkte til overvannsledningsnettet. Målet er å lede vannet fra tette overflater til områder som er tilrettelagt for infiltrering og fordrøyning. Dette fører til lavere belastning på ledningsnettet.

**Regnhyetogram:** Et regn med en bestemt intensitet over en bestemt tidsperiode. Fremstilles grafisk.

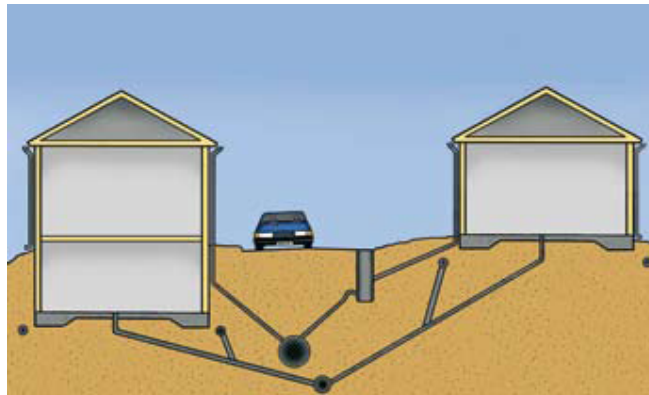
**Impermeable/permeable overflater:**      Impermeable overflater: Porøse overflater  
Permeable overflater: Tette overflater

**Oppstuvning:** Det skjer oppstuvning i kum når utløpet når sin maksimale kapasitet og vannet stiger over dette nivået.

**Fellessystem og separatsystemet:** Vi må skille mellom to typer ledningssystem, separatsystem og fellessystem. I fellessystemet går spillvann og overvann i samme ledningsnett, mens det i separatsystemet er to ledningssystemer.



Figur 1: Fellessystemet ([www.svenskvatten.no](http://www.svenskvatten.no))



Figur 2: Separatsystemet ([www.svenskvatten.no](http://www.svenskvatten.no))

Det er i dag mest vanlig å bruke separatsystemet som avløpssystem. Dette for å hindre overbelastning på ledningsnett, slik at spillvannet går i overløp og slippes urensset til resipient. I tillegg fører overbelastning på rensanleggene til dårligere renseseffekt. I byområder med mye tette flater og stor biltrafikk kan i midlertidig overvannet være sterkt forurenset slik at det er hensiktsmessig å behandle det sammen med spillvannet, det vil si bruke fellessystemet.

## 2.3 Lokal overvannsdisponering (LOD)

### 2.3.1 Hovedprinsipp av overvannshåndtering

Tilførselen av overvann til det offentlige avløpsnett skal minimaliseres. Om mulig skal alt overvann tas hånd om lokalt, det vil si gjennom infiltrasjon, utslipp til resipient, eller på en annen måte utnyttes som ressurs, slik at vannets naturlige kretsløp opprettholdes og naturens selvrensingsevne utnyttes.

*(Overvannshåndtering, Oslo kommune, 2011)*

## 2.3.2 Regelverk

Eiendomsselskaper og byggherren har en tendens til å glemme eller ignorere viktigheten av riktig overvannshåndtering. Det er derfor utarbeidet et regelverk som har til hensikt å sikre at arbeidet blir tatt på alvor og utført på best mulig måte.

*Vannressursloven § 7 andre ledd:* "utbygging og annen grunnutnytting skal fortrinnsvis skje slik at nedbør fortsatt kan få avløp gjennom infiltrasjon i grunnen."

*Plan- og bygningsloven § 27-2 Avløp, femte ledd:* " Før oppføring av bygning blir satt i gang, skal avledning av grunn- og overvann være sikret. Tilsvarende gjelder ved vedlikehold av drenering for eksisterende byggverk."

*Byggteknisk forskrift1 (TEK 10) til plan- og bygningsloven*

*§ 15-10 nr (1):* "bortledning av overvann og drenevann skal skje slik at det ikke oppstår oversvømmelse eller andre ulemper ved dimensjonerende regnintensitet".

*§ 15-10 nr (2) bokstav c):* "Overvann, herunder drenevann, skal i størst mulig grad infiltreres eller på annen måte håndteres lokalt for å sikre vannbalansen i området og unngå overbelastning av avløpsanleggene".

[www.lovdatab.no](http://www.lovdatab.no)

## 2.3.3 Aktuelt

Tiltak innen lokal håndtering av overvannet er "in i tiden". Flere kommuner setter mer og mer fokus på emnet. Tidligere sjef for vann og avløpsavdelingen til Stavanger Kommune, Svein Håkon Høyvik skriver i sitt lederinnlegg i Norsk Kommunaltekniske Forening sitt tidsskrift utgitt januar 2012:

"Økte tilførsler til avløpsanleggene er av mange grunner uønsket. Skal all nedbør tilføres kommunens avløpssystemer? Etter min mening nei. Legg heller til rette for flomveier og LOD! Tysk "Wasserhaushaltgesetz" – vedtatt 01.03. 2010 – forbyr fellessystemet, og det vises da til ulike LOD-løsninger.

LOD vil redusere tilførslene til kommunens avløpsledninger. Samtidig kan en øke andelen grønne arealer – heller enn å øke de tette flatene.

LOD på egen grunn er en variant av lokale løsninger. Denne praktiseres i flere land, blant annet i Tyskland. Her er avløpsgebyret splittet i et spillvannsgebyr og et overvannsgebyr. Også svenskene har denne muligheten, og mye tyder på at Danmark vil velge å splitte avløpsgebyret.

De norske gebyrreglene tillater ikke en splitting. Overvannskostnadene "lures" inn i de samlede avløpskostnadene og fordeles så etter "Vann inn = vann ut"- prinsippet. *Uheldig!*

Dersom kommunene gis anledning til å splitte avløpsgebyret, vil den enkelte eiendomseieren gjennom LOD på egen grunn kunne spare overvannsgebyret. Danske undersøkelser viser at overvannskostnadene utgjør 43 % av kommunenes samlede avløpskostnader. I Munchen er disse beregnet til 30 %. Det er med andre ord tale om betydelig sparemuligheter for

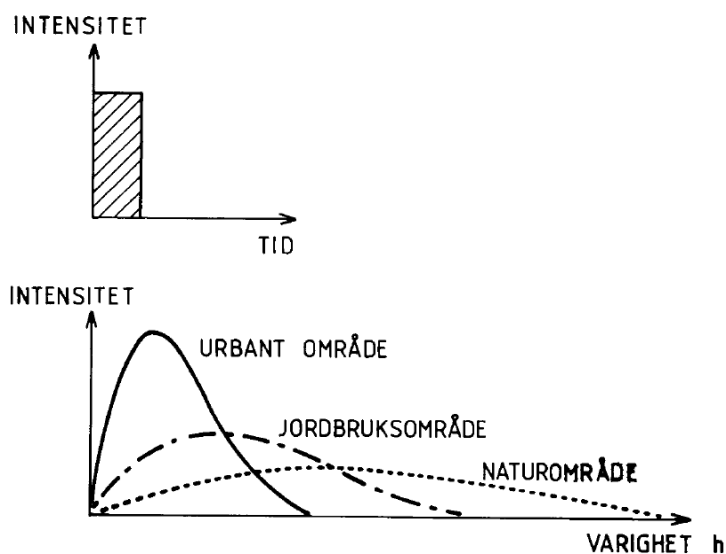
eiendomseiere som velger egne LOD-løsninger. Samtidig reduseres nedbørstilførslene til kommunens avløpssystemer, og som allerede nevnt: nedbygging av grønne flater i kommunene kan reduseres.

Myndighetene bør snarest endre gebyrregelverket slik at kommunene kan omfordele avløpsgebyret i et spillvannsgebyr og et overvannsgebyr. Kommunene får da et godt verktøy til å møte noen av klimautfordringene.”

Svein Håkon Høyvik har jobbet med VA i Stavanger kommune siden 1979 og fra 1988 har han vært vann og avløpssjef for kommunen. Han blir omtalt som ”et levende leksikon” innenfor faget. Dette innlegget setter lys på noen av problemene ved håndtering av overvannet i Kommune-Norge.

## 2.4 Tiltak til god LOH

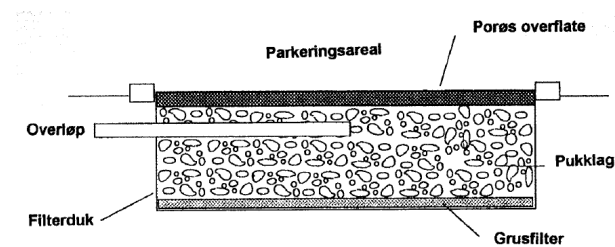
Ved urbanisering øker andelen tette flater på bekostning av naturlig permeabel grunn, vegetasjon og trær. Den naturlige infiltrasjon, fordrøyning, absorpsjon og fordampning av regnvann reduseres kraftig og medfører en betydelig økning av overflateavrenningen, både i volum og intensitet. Vannet vil finne raskeste naturlige vei til kummer og ledningsnett. Nettet må dermed være i stand til å ta i mot mye vann på kort tid, ved kraftige regnskyll.



Figur 3: Avrenning fra et område med forskjellig typer overflate, med tilhørende regnskyll vist i grafen ovenfor.

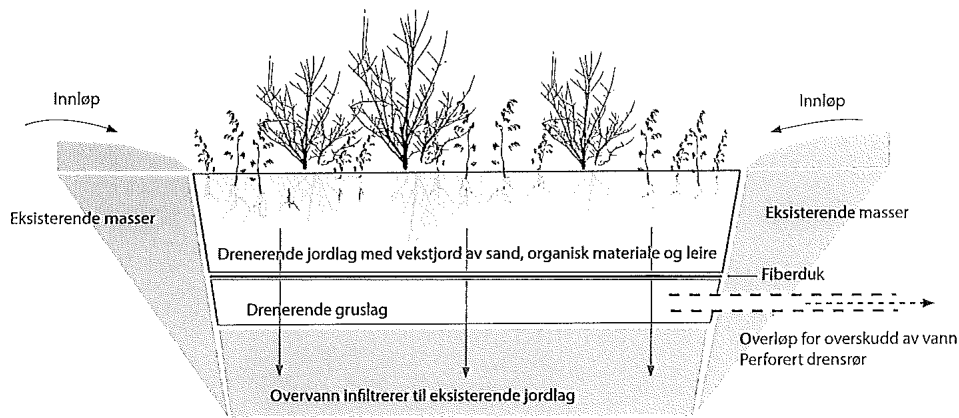
Det finnes flere effektive tiltak for å bedre håndtering av overvannet lokalt:

- Bevaring av eksisterende infiltrasjonsgrunn: Det gjelder å utnytte mest mulig av infiltrasjonsgrunnen som allerede eksisterer på området.
- Porøse flater: Vegetasjonsflater, dekker av finpukk/grus og gress (med armering), kombinasjon av gress og belegningsstein, permeabel asfalt, brosteinsdekker, betongsteindekker (med grusfylte mellomrom).



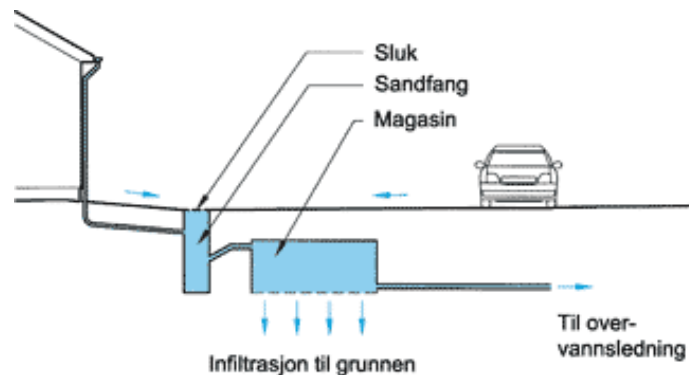
Figur 4: Eksempel på utførelse av porøs overflate

- Ved riktig bruk av porøse flater infiltreres deler av vannet ned i grunnen. Jo mer gjennomtrengelig, og jo mer porøs grunnen er, jo større er infiltrasjonskapasiteten til arealet. Men det har vist seg at over tid har flatene blitt tettet igjen av små partikler og dermed fungert som tilnærmet tette overflater.
- Takrenner: Det er vanlig å koble takrenner til overvannsnett. Ved og heller føre takvannet til grunnen minsker en belastningen på ledningsnett. Det er derimot en fare for små "oversvømmelser" på overflaten.
  - Gresskledde forsenkninger: Kan brukes ved siden av veier og lignende i boligområder for å ta unna vannet som renner på overflaten. En slik forsenkning vil infiltrere og lede bort overvannet.
  - Grønne tak: Kan benyttes for å dempe avrenningen fra taket ved mye nedbør over kort tid. Taket "holder" på vannet til det renner bort, fordampes eller blir tatt opp av planter. Men dette tiltaket har en begrensning på kapasitet, da effekten vil være liten eller ingen når infiltrasjonskapasiteten er nådd. Taket vil da fungere som en tilnærmet tett flate. Metoden er foreløpig lite brukt på hustak i Norge.
  - Åpen fordrøyingsdam: Med fordrøyning menes at vannet bremses på sin vei fra oppsamlingspunktet til utslippspunktet. Dette kan for eksempel gjøres ved at vannet mellomlagres i et magasin før det infiltreres i grunnen på en kontrollert måte, eller at det tilføres resipient eller offentlig avløpsnett. Ved å lage slike dammer med permanent vannoverflate kan man bidra til økt trivsel i nærmiljøet og økt biologisk mangfold. For å unngå ukontrollert algeoppblomstring og gjenntetting er det viktig å innføre et trinn med biologisk filtrering før vannet blir tilført dammen. Det kreves også noe vedlikehold av en fordrøyingsdam.



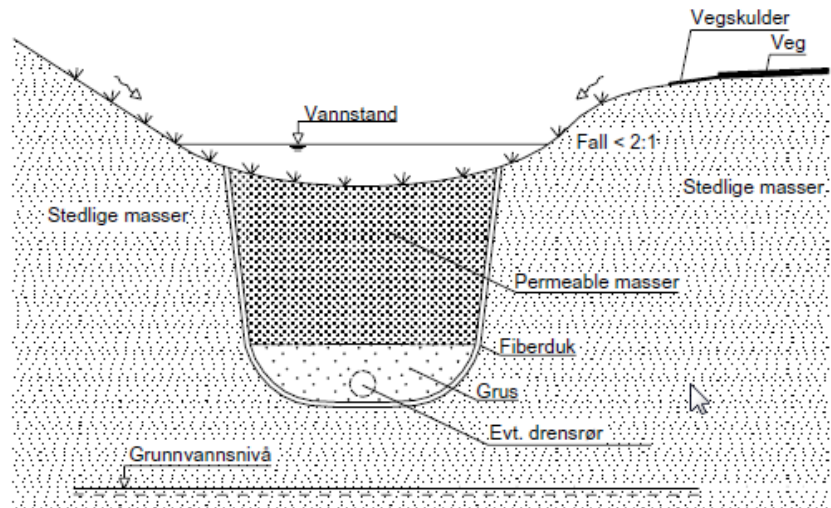
Figur 5: Eksempel på en type åpen fordrøyningsdam.

- Lukket fordrøyningsdamm: Fungerer på samme måte og har til samme hensikt som en åpen fordrøyningsdam. Det kan brukes steinmasse eller plastkassetter for å oppnå ønskelig porevolum. Det er viktig at disse magasinene ligger høyere enn grunnvannspeilet slik at det ikke suger inn grunnvann.



Figur 6: Eksempel på utførelse av en lukket fordrøyningsdam

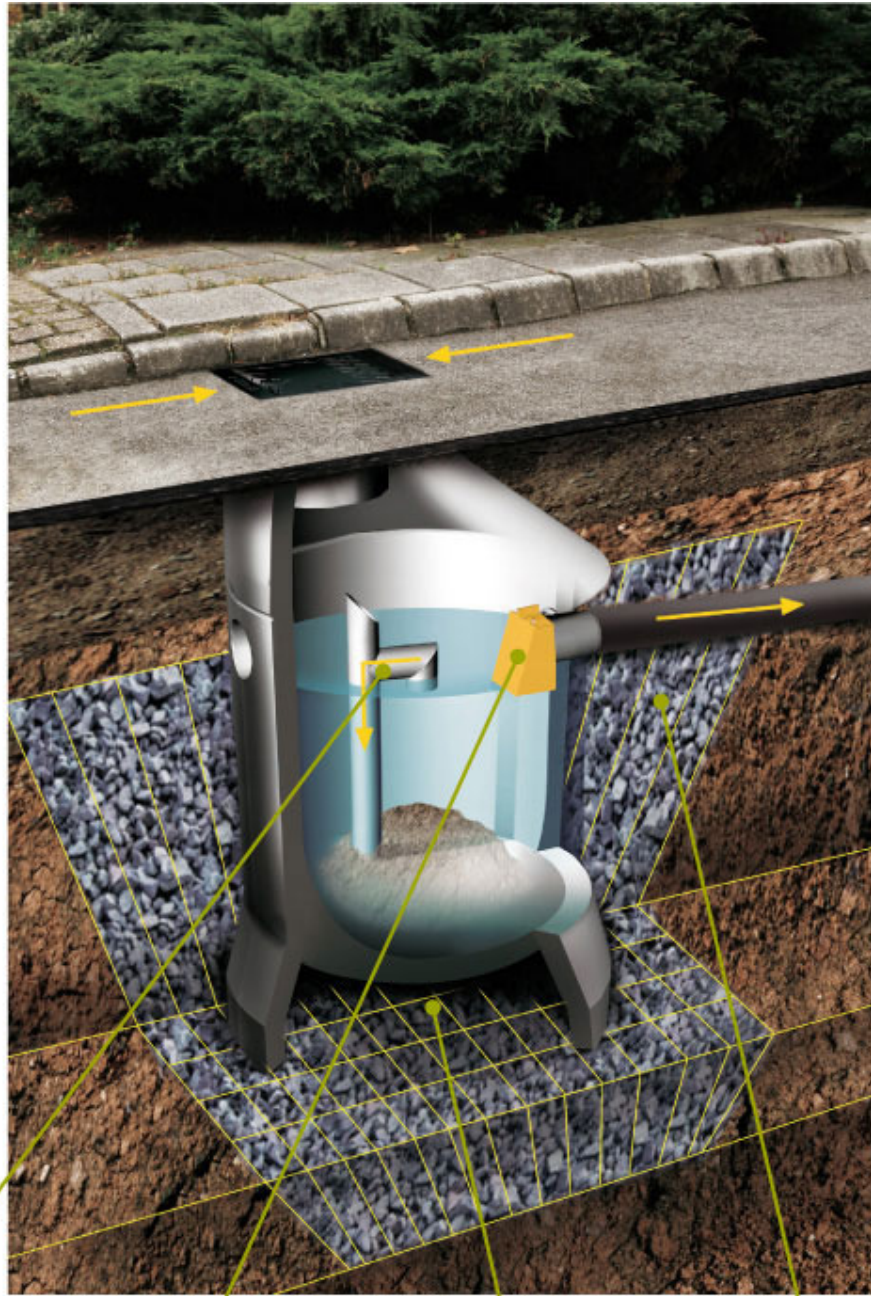
- Renner, kanaler og bekker: For å lede avrenningen til lokalt infiltrasjonsområde, fordrøyningsdam eller resipient skal det brukes løsninger som bidrar til mer infiltrasjon, fordrøyning og rensing av overvannet. Dette kan oppnås ved bruk av grøfter, renner, kanaler og bekker som lages slik at de oppnår en infiltrasjons- og fordrøyningskapasitet. Ved bruk av gress og vegetasjonsdekkede grøfter med lite fall oppnår man god effekt.



Figur 7: Eksempel på utførelse av en infiltrasjonsgrøft

- Infiltrasjonskum: Fungerer som vist på figuren under. Kummen har et sandfang i bunn, et overløpsrør til fordrøyningskammer og et nødoverløp til overvannsledning. I fordrøyningskammeret vil overvannet infiltrere til grunn. Når kammeret er fullt og jorda rundt er "mettet", vil vannet ta veien gjennom nødoverløp til overvannsledning.





Overløpsrør DN 110  
til fordrøyningskammer

Nødoverløp DN 160 mm  
til overvannsledning

Fordrøyningskammer

Omfyllingsmasser  
egnet til infiltrasjon

Figur 8: Eksempel på en type infiltrasjonskum ([www.skjeveland.no](http://www.skjeveland.no))

## 2.5 Utbyggingsfasen

For å følge regelverket og etterlevelse av hovedprinsippene er det avgjørende at løsninger for overvannshåndtering får fokus allerede i den tidlige planleggingen i arealutnyttelsen av området. Det er fornuftig å legge en plan for hvordan overvann tenkes håndtert allerede i reguleringsplanforslaget.

I følge Byøkologisk program av Oslo Kommune skal det fokuseres på at:

- fortetting ikke skjer på bekostning av grøntarealer (disse kan bidra til lokal overvannshåndtering)
- det planlegges sikre flomveier
- forurensning fra trafikkarealer til vassdrag reduseres gjennom selvrensesystemer og fordrøyningsdammer
- forurenset overvann infiltreres i grunnen, eller fordrøyes før det ledes til elver og bekker
- lukkede elver og bekker gjenåpnes
- etableres flere grønne områder og grønne tak

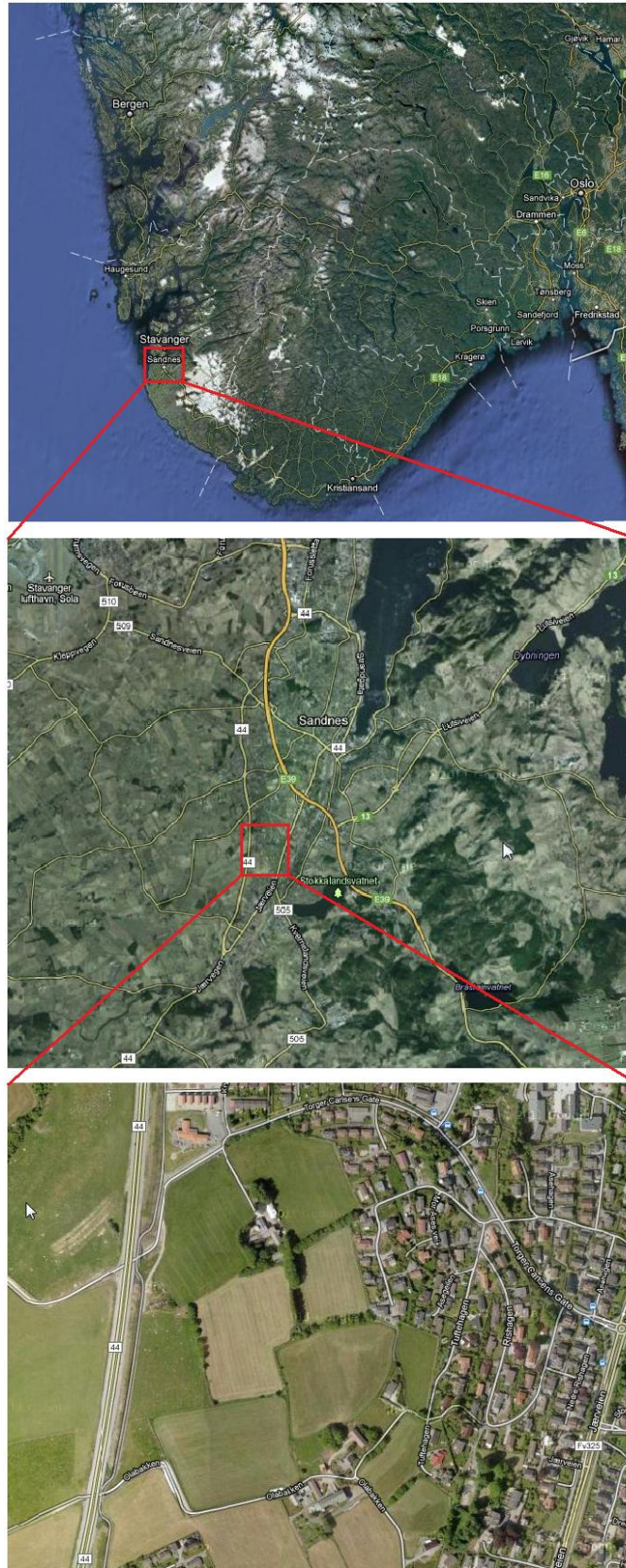
*(Byøkologisk program 2011-2026, Oslo kommune, 2011)*

## 2.6 Flomveier

Det dimensjoneres for at det ikke skal oversvømmes. Men det må likevel tenkes at uforutsette ting kan skje. Eksempelvis kan kummer tettes og det kan komme ekstreme nedbørmengder over kort tid. Eller det kan komme mye nedbør over et langt tidsrom som fører til at infiltrasjonskapasiteten blir nådd og magasiner og dammer blir fullt opp. Da er det viktig å legge forholdene til rette for at oversvømmelsen får minst mulig konsekvens. Det skal derfor alltid planlegges og etableres nødflomveier. Bruk av trafikkarealer, plasser, parker og lignende kan vurderes som flomareal. Ved å etablere og sikre flomveier, vil flomavrenning utover dimensjonerende regn ikke gjøre skade på eiendommer.

Her er det en klar fordel med ikke å bruke fellessystemet som avløpsnett, da oversvømmelser vil få mye større konsekvenser ved dette systemet. Ved oversvømmelser kan en risikere at spill- og overvann kommer opp av kjellersluker. Ved bruk av separatsystemet senker man risikoen for fuktskader på hus, men også her kan oppstuvning i ledningssystemet gi skader. Når dreneringssystemene rundt boliger er koblet til separatsystemet, vil overvannet legge seg rundt grunnmuren. Støpemetoden for grunnmurer gir sjeldent en vanntett sammenføyning mellom vegger og gulv.

## 2.7 Aase Gård



Figur 9: Området Aase Gård plassert i kartet (generert fra norgeskart.no)

I interesseannonsen til Selvaag Bolig på deres hjemmeside er det følgende beskrivelse av området: "Aase Gård er et naturskjønt og barnevennlig område i enden av Torger Carlsens gate på Aase i Sandnes. Like øst for nye riksvei 44. Her planelegger vi et boligfelt med plass til ca 250 – 300 boenheter, i hovedsak rekkehus/tomannsboliger og eneboliger. Boligene ligger i et luftig og åpent landskap, og har kort vei til Sandnes sentrum. I samarbeid med arkitektfirmaet Sjo Fasting er vi i gang med reguleringsarbeidet for området" ([www.selvaagbolig.no](http://www.selvaagbolig.no)).

Området er på ca 20 hektar. Men kun deler av området skal byggest ut i første omgang (ca 12 hektar).

### 2.7.1 Sandnes kommune

Aase Gard er et område regulert til boliger som ligger i bydelen Ganddal i Sandnes kommune. Kommunen er med sine 66 000 innbyggere, Norges 9. største kommune og 8. største by. Gjennom de siste 27 årene har Sandnes økt sitt innbyggertall med et årlig gjennomsnitt på 1,9 % noe som gjør byen til Norges hurtigst voksende. ([wikipedia.org](http://wikipedia.org))

### 2.7.2 Ledningsnett i kommunen

I Sandnes kommune føres det en politikk om kun å bruke separatsystem som avløpssystem. Dette vil si at det ikke lenger blir lagt fellessystem i nye utbyggingsområder. Der det er mulig byttes også gammelt fellessystem ut med nye separatsystemer. Dette gjøres i motsetning til for eksempel nabokommunen, Stavanger kommune, som har valgt å beholde fellessystemet i enkelte ledningsstrek. I Sandnes kommune ligger det omtrent 400 km vannledninger, 350 km spillvannsledninger, 330 km overvannsledninger og 33 km fellesledninger. Det er altså få fellesledninger igjen, og det antallet er synkende etter hvert som de blir skiftet ut med separatsystem. Overvannet renner stort sett direkte til resipient uten rensing, men med noen unntak. Etter "Aksjon Jærvassdrag" (i dag "Jæren vannområde") som ble startet opp i 1993, er det satt fokus på, og kommet krav om, rensing av forurenset vann som føres til bekker, elver og vann. (*Kirsten Vike, Sandnes Kommune*)

### 2.7.3 Utbyggingsprosessen

Det startet med at Sandnes kommune utarbeidet en ny kommuneplan i forbindelse med bygging av ny RV44. Det ble bestemt at alt på østsiden av vegen skulle reguleres til boliger, inkludert området Aase Gård. Tidligere BO1, nå Selvaag Bolig, kjøpte deler av området fra grunneierne. Selvaag Bolig har i samarbeid med Sandnes kommune utarbeidet videre en områdeplan. I forbindelse med dette arbeidet ble arkitektfirmaet Sjo Fasting og Dimensjon Rådgivning AS involvert. En detaljert reguleringsplan ble utarbeidet.

## 2.8 Hydrologiske modeller

### 2.8.1 Generelt

Hydrologi er studiet av vannkretsløpet og vannressursene i hydrosfæren (*wikipedia.org*). For å kunne beskrive det hydrologiske systemet på best mulig måte kan en ta i bruk hydrologiske modeller. Fordelen med å bruke slike data modeller i stedet for utregninger for hånd, er mange. Datamaskiner har stor databehandlingskraft til å foreta avanserte beregninger med flere faktorer. Resultatet er store tids- og kostnadsbesparelser, og mer nøyaktige resultater.

Det finnes flere typer datamodelleringsverktøy innenfor VA-faget, der alle har til formål å gjøre utregninger og oversikten bedre. Noen av dem er: MOUSE, Mike Urban, SWMM, EPANET, MikeNET, Aquis, WaterCAD, WaterGEMS, SewerGEMS. De er alle bygget opp forskjellig og har noe ulikt formål. I Norge er det SWMM og MOUSE som er de mest brukte hydrologiske modellene. Vedlagt ligger det en oversikt over hovedforskjellen mellom dem.

TEMA	MOUSE	SWMM
Kostnader ved kjøp	I området 50 000 – 250 000kr, avhengig av moduler og størrelse	Gratis. Lastes ned fra internett
Brukervennlighet	Mange muligheter. Komplisert. Windows	SWMM er brukervennlig
Hydrauliske muligheter	Avanserte hydrauliske ligninger (St.Venant). Stort sett ingen praktiske begrensninger i forhold til virkelige situasjoner. Kan ta kumtap eksplisitt.	Avanserte hydrauliske ligninger (St.Venant). Få begrensninger i forhold til virkelige praktiske situasjoner. Tar ikke kumtap eksplisitt.
Grafikk, tabeller, presentasjon	Meget avansert	Bra muligheter
Tidsserieberegninger	Inkludert med mange alternativer	Inkludert
Snøsmelting	Bare en enkel graddagsmodell	Meget omfattende formelverk og mange muligheter
Hydraulisk overflatemodell	Hydraulisk overflateavrenning og en enkel tid-areal metode.	Hydrologisk overflateavrenning
Treg avrenning	Kan inkludere infiltrasjon i tilleggsprogrammet MOUSE NAM	Ikke inkludert uten som en konstant vannføring
Overflateforurensninger	En enkel modell	Svært avanserte muligheter
Rørdiameter	Kan modelleres i tilleggsprogrammet MOUSE TRAP	Er inkludert med Shields ligninger for sed. & resusp.

Tabell 1: Hovedforskjellene mellom de to mest brukte hydrologiske modellene (*Forelesningsnotat, Sælthun 2010*)

### 2.8.2 SWMM

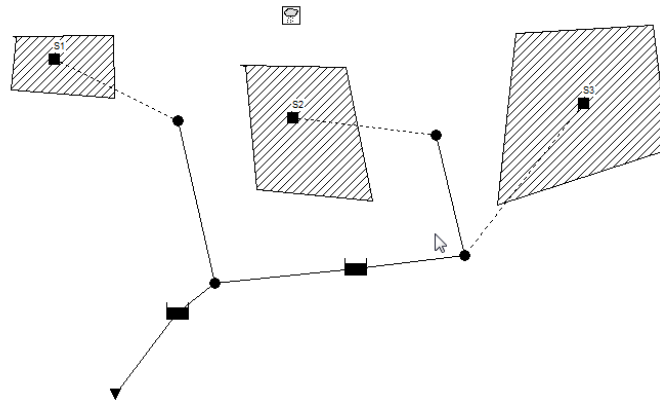
I denne masteroppgaven er det valgt å bruke SWMM som hydrologisk modell. Hovedgrunnen til det, er at den er gratis å bruke. Det er også denne modellen Dimensjon Rådgivning AS bruker i sitt arbeid.

Storm Water Management Model (SWMM) er et av verdens mest brukte modelleringsprogram for modellering av overvann/spillvann og andre vannsystemer.

Utviklingen av programmet er betalt av det amerikanske miljøverndepartementet (EPA). Programmet er gratis å bruke og kildekoden er åpen. Programmet er nyttig til dimensjonering av både åpne og lukkede systemer. Det brukes som hjelpemiddel ved flomsikringstiltak og konsekvensanalyse ved fortetting. Det er et svært effektivt hjelpemiddel ved bruk av lokal overvannshåndtering når mange små elementer skal settes i et helhetlig system.

*(Storm water management modell user's manual)*

Programmet gir oss en god beskrivelse av hvordan systemene fungerer og gir en forenklet beskrivelse av sammenhenger.



Figur 10: Eksempel på en modell for overvannsystem for et område

## 2.9 Eklima

eKlima er portalen til Meteorologisk institutt sin klimadatabase, den er åpen for alle og gratis å bruke. På eKlima kan man blant annet hente observasjoner, døgn-, måneds- og årsverdier fra samtlige av Meteorologisk Institutt sine målestasjoner. En kan hente ut enkle lister eller avanserte analyser og en bestemmer selv hvordan rapporten skal se ut.

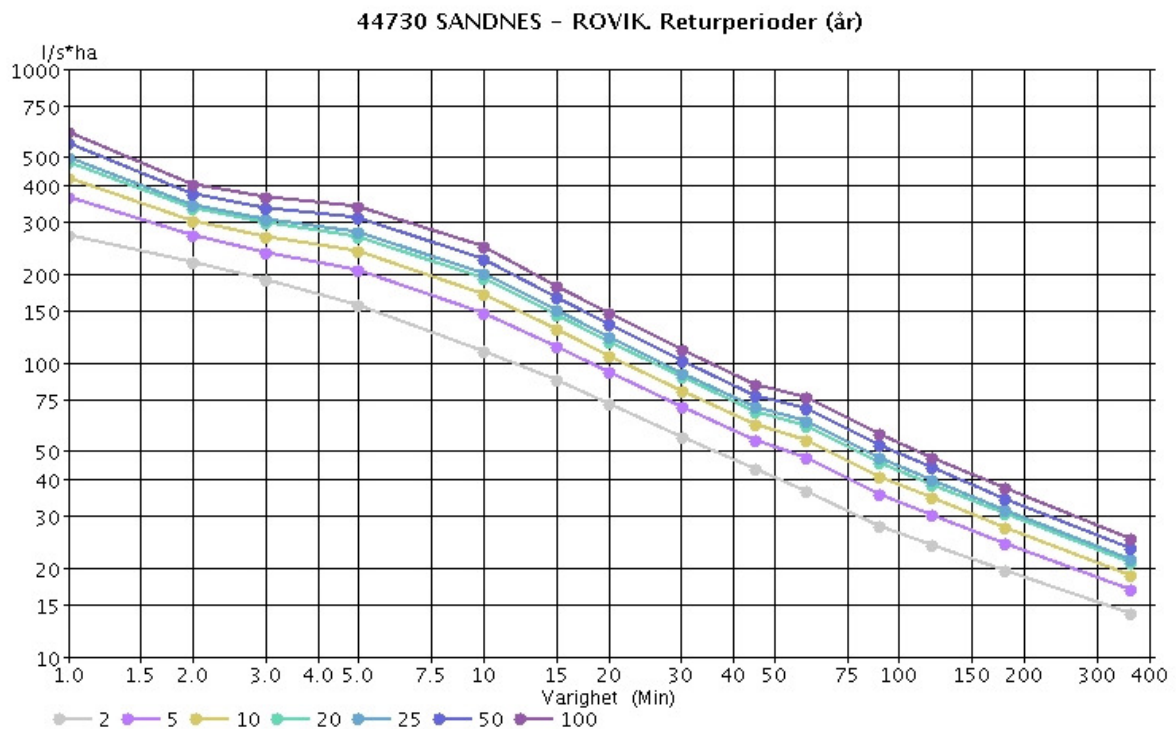
*(www.eklima.no)*

## Kapittel 3 - Grunnlagsdata

Vi er avhengig av forskjellige data som skal gi grunnlag for analyse av problemet og for å kjøre simuleringer i SWMM, disse dataene kaller vi grunnlagsdata. Vi deler opp grunnlagsdataene i fire deler: nedbørsdata, kartdata, eksisterende anlegg og infiltrasjonsdata.

### 4.1 Nedbørsdata

Nedbørsdata hentes ut i fra Eklima. Nærmeste målestasjon er stasjon 44730 Sandnes – Rovik, som ligger ca 4 km fra Aase Gård. Stasjonen har minutttoppløsning fra 1974 og frem til i dag. Riktignok har målingene vært avbrutt i enkelte perioder på til sammen 9 år. Men målingene gir godt grunnlag for å kunne si noe om nedbøren vi skal bruke i simuleringene. Det er data fra denne stasjonen Dimensjon Rådgivning AS vanligvis benytter seg av ved nedbørssimuleringer for områder i Sandnes kommune.



Figur 11: IVF kurve fra Rovik målestasjon, Sandnes

IVF-kurve står for Intensitets-, varighets- og frekvens kurver. Det brukes dobbelt logaritmisk framstilling. Grafen skal gi en god oversikt på nedbørsdata for området. For eksempel kan fem minutters regn gi oss en intensitet på 150 l/s\*ha, med en hyppighetsfrekvens på 2 år.

**Returperioder(år); Nedbørintensitet(1/s\*ha)**

**44730 SANDNES - ROVIK**

**Periode: 1974 - 2008**

**Antall sesonger: 26**

År	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	360 min.
2	271,5	219,7	190,2	155,1	109,0	87,2	72,4	55,5	43,4	36,5	27,7	23,9	19,5	14,0
5	361,6	269,0	236,7	204,3	145,9	112,4	92,2	70,1	54,1	47,1	35,5	30,2	24,2	16,9
10	421,3	301,7	267,5	236,8	170,3	129,0	105,3	79,7	61,3	54,1	40,7	34,4	27,4	18,8
20	478,5	333,0	297,1	268,0	193,7	145,0	117,9	89,0	68,1	60,8	45,6	38,4	30,4	20,7
25	496,7	342,9	306,5	277,9	201,2	150,0	121,9	91,9	70,3	62,9	47,2	39,7	31,3	21,3
50	552,6	373,5	335,4	308,4	224,1	165,6	134,2	100,9	77,0	69,5	52,0	43,6	34,3	23,1
100	608,1	403,9	364,0	338,7	246,8	181,1	146,4	109,9	83,6	76,0	56,9	47,5	37,2	24,9
200	663,6	434,2	392,7	368,9	269,5	196,6	158,6	118,9	90,2	82,6	61,7	51,4	40,1	26,6

**Tabell 2: Tabell tilhørende IVF kurven (figur nr 11). Hentet fra *Eklima.no***

**Returperioder(år); Nedbørsum(mm)**

**44730 SANDNES - ROVIK**

**Periode: 1974 - 2008**

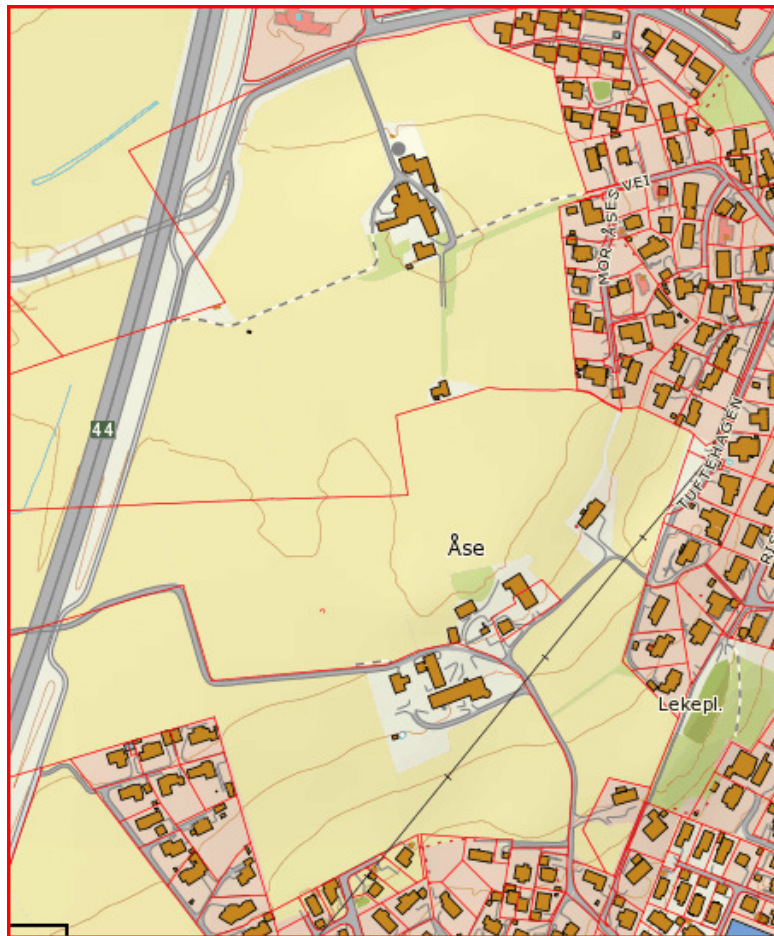
**Antall sesonger: 26**

År	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	360 min.
2	1,6	2,6	3,4	4,7	6,5	7,8	8,7	10,0	11,7	13,1	15,0	17,2	21,1	30,2
5	2,2	3,2	4,3	6,1	8,8	10,1	11,1	12,6	14,6	17,0	19,2	21,7	26,1	36,5
10	2,5	3,6	4,8	7,1	10,2	11,6	12,6	14,3	16,6	19,5	22,0	24,8	29,6	40,6
20	2,9	4,0	5,3	8,0	11,6	13,0	14,1	16,0	18,4	21,9	24,6	27,6	32,8	44,7
25	3,0	4,1	5,5	8,3	12,1	13,5	14,6	16,5	19,0	22,6	25,5	28,6	33,8	46,0
50	3,3	4,5	6,0	9,3	13,4	14,9	16,1	18,2	20,8	25,0	28,1	31,4	37,0	49,9
100	3,6	4,8	6,6	10,2	14,8	16,3	17,6	19,8	22,6	27,4	30,7	34,2	40,2	53,8
200	4,0	5,2	7,1	11,1	16,2	17,7	19,0	21,4	24,4	29,7	33,3	37,0	43,3	57,5

**Tabell 3: Samme som i tabell 2, men her er nedbørsintensitet byttet ut med nedbørssum.**



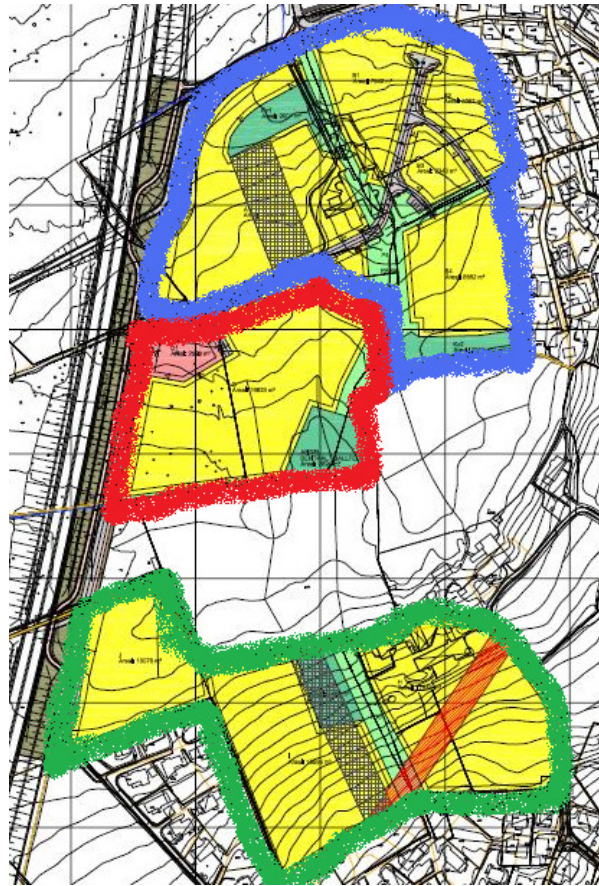
## 4.2 Kartdata



Figur 12: Kart over Aase Gård med topografi og eiendomsgrenser ([www.norgeskart.no](http://www.norgeskart.no))

Området vi skal se på ligger på østsiden av RV44 på Ganddal, slik kartet viser. Området er delt opp av 3 forskjellige grunneiere, med hvert sitt gårdsbruk på eiendommen. Foreløpig har ikke grunneieren av den midterste gården sagt seg villig til å selge. Det vil si at det kun er eiendommene nord og sør som vil bli utbygget. Foreløpig (04.05.12) er det kun deler av det nordlige området som er detaljregulert, og som i første omgang blir bebygget. Men det forventes at også resten av området vil bli bebygget innen få år. Dette er noe som må tas hensyn til i dimensjonering av nytt overvannsnett.

Det vil være hensiktsmessig å dele området opp for å finne best mulig rørnett for overvannet. I første omgang deler vi området i tre:



Figur 13: Oppdeling av de tre områdene

Område A) Merket med blå farge. Er den nordlige delen av området. Størrelsen på dette feltet er på 4,5 hektar. Her er det fall nordover, og det skal være mulig å få alt overvannet samlet til et utløp.

Område B) Merket med rød farge. Resterende del av det nordlige byggefeltet. Størrelsen på feltet er på 3 hektar. Her er fallet sørover, det vil si at vi må føre vannet i rør sørover, mest naturlig er å koble seg på det sørlige byggefeltet.

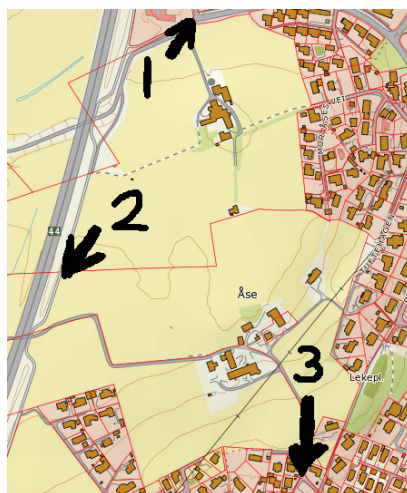
Område C) Merket med grønn farge. Den sørlige delen av området. Størrelse er på 4,5 hektar. Her er hellingen stor og går sørover.

Område D) Uten markering på figur. Dette området er ennå eid av en privat grunneier med aktiv gårdsdrift. Området er regulert til boliger i Sandnes kommune sin kommuneplan. Med andre ord kommer også dette feltet til å bli bebyggt innen få år. Det er derfor nødvendig å ta hensyn til dette i videre beregninger. Størrelsen på feltet er 6 hektar.

### 4.3 Eksisterende anlegg

En utfordring i Sandnes kommune og mange andre kommuner, er at det blir stadig nye utbygninger i områder der rørledningsnettets ikke har kapasitet for stort mer enn slik det er før ny utbygning. Når det stadig blir nye påkoblinger, vil det naturlig nok bli kapasitetsproblemer. Slik er det også rundt det nye feltet på Aase Gård på Ganddal. Ledningsnettets rundt er lagt i forskjellige tidsperioder. Rørledningene nord på området er lagt allerede i 1972. Ledningene øst for Aase Gård er fra 1979, mens byggefeltet sør er noe nyere der ledningene er fra 1991.

Det opprettes 3 naturlige påkoblingspunkter (vist i kart):



Figur 14: Naturlige påkoblingspunkter

- Påkoblingspunkt 1 (område A): Ved påkoblingspunktet nord i feltet ligger det en overvannsledning med en diameter på 400 millimeter. Dette er i og for seg ingen underdimensjonert ledning, men det antas at kapasiteten er allerede brukt opp fra eksisterende boligfelt. Dette betyr at nettet ikke kan bli mer belastet enn det allerede er i dag.
- Påkoblingspunkt 2 (område B): Fallretningen i dette området er sørover. Det finnes ikke eksisterende ledningsnett på eller ved dette området. Og en kan heller ikke bruke eiendommen til den private grunneieren til å legge nye ledninger. Men det forventes å få tillatelse til å legge ny rørtrase langs RV44. Overvannsledningen kobles videre til område C.
- Påkoblingspunkt 3 (område C): Helt sørøst i feltet vil være et naturlig påkoblingspunkt. Her er eksisterende overvannsledning av dimensjon 300 millimeter. Også her oppstår samme problemstilling med for dårlig kapasitet i eksisterende anlegg.

Det er altså problemer med kapasitet til eksisterende ledningsnett. Dette vil altså si at overvannsledningene ikke kan ta opp mer vann enn de allerede gjør i dag. Utfordringene blir

da å finne ut hvor mye overvann som allerede kommer fra dette feltet, som i dag er et jordbruksområde. Utrengninger på dette blir gjort senere i oppgaven.

#### 4.4 Infiltrasjonsdata

Da Dimensjon Rådgivning AS ble engasjert av Selvaag Bolig til å prosjektere kommunalteknikken, oppdaget de tidlig at det kom til å oppstå utfordringer i forbindelse med overvannet grunnet de små dimensjonene av det eksisterende ledningsnett. For å få et innblikk i hvor mye en kan gjøre ut av lokal overvannshåndtering på området ble det da satt i gang en infiltrasjonsundersøkelse. Ved hjelp av en infiltrasjonskum kunne en gjøre målinger på hvor mye grunnen infiltrerte av overvann.

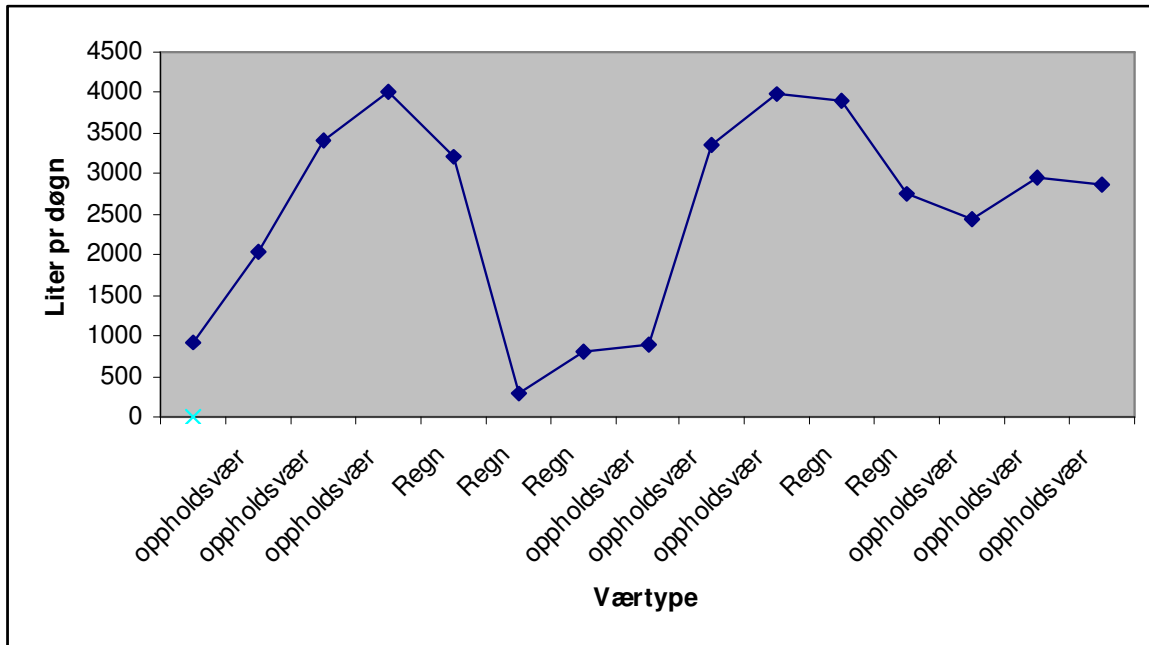
Målekummen er lik den avbildet i teoridelen. Men det er tilført en vannledning, med vannmåler på. Det blir sluppet inn vann i kummen ved ledig kapasitet. Hvor mye vann som har sluppet inn i kummen tilsvarer hvor mye vann som har infiltrert til grunnen.

Resultat fra målinger:

Dato	Antall dager siden sist måling	Avlest vannmåler	Vann infiltrert (liter)	Liter pr døgn	Værtype
11-10 2011		5792968			
11-10 2011	1	5793878	910	910	
13 -10 2011	2	5797953	4075	2038	oppholdsvær
14 -10 2011	1	5801352	3399	3399	oppholdsvær
17 -10 2011	3	5813419	12067	4022	oppholdsvær
18 -10 2011	1	5816625	3206	3206	Regn
20 -10 2011	2	5817172	547	274	Regn
21-10 2011	1	5817973	801	801	Regn
24 -10 2011	3	5820634	2661	887	oppholdsvær
25 -10 2011	1	5823999	3365	3365	oppholdsvær
26 -10 2011	1	5827976	3977	3977	oppholdsvær
27 -10 2011	1	5831881	3905	3905	Regn
28 -10 2011	1	5834633	2752	2752	Regn
31 -10 2011	3	5841956	7323	2441	oppholdsvær
02 -11 2011	2	5847873	5917	2959	oppholdsvær
03 -11 2011	1	5850739	2866	2866	oppholdsvær

Tabell 4: Data fra infiltrasjonsmålingene

Dette kan fremstilles grafisk på denne måten:



Figur 15: Infiltrasjonen i løpet av perioden, med tilhørende værtype.

Resultatene viser svært god infiltrasjon ved oppholdsvær. På det beste infiltrerer kummen ca 4000 liter pr døgn. Dette tilsvarer for eksempel like mye vann som ville havnet i kummen ved et 20 års regn med varighet på 20 min ( $120 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$ ), på en  $500 \text{ m}^2$  stor tomt. Det er klart at kummen ville aldri kunne infiltrere så mye vann på så kort tid, men det gir oss et innblikk i hvor mye vann det er snakk om.

Måleresultatene viser også at infiltrasjonen faller mye når det regner mye. Faktisk er infiltrasjonen helt nede i 270 liter i døgnet i det døgnet med dårligst resultat. Dette er grunnet i at jorden rundt blir mettet av vann, og har ikke kapasitet til å ta opp mer. Men det kan tenkes at ved ferdig utbyggelse vil mye av nedbørsvannet havne i ledningssystemet og ikke i grunnen, dermed vil ikke infiltrasjonen være like dårlig som vist i denne undersøkelsen. Sannsynligvis vil ikke infiltrasjonsmengden være like avhengig av værtype, forskjellene ved regnvær og oppholdsvær vil være mindre. Det ble også registreringer på grunnvannet rundt kummen. Det viste seg at grunnvannet steg noe i periodene med nedbør. Dette er naturlig da jorda inneholder mer vann desto mer det regner.

Målingene ble gjort høsten 2011. I følge yr.no er året 2011 sammen med 1983 det aller våteste i en serie som går tilbake til 1900. Nedbøren i Norge som helhet var 125 % av normalen. Nedbøren i Rogaland var også over normalen dette året, og det var flere oppslag i media høsten 2011 om oversvømte jordbruksarealer, og det ble generelt mye snakk om en ekstremt våt høst. Det kan derfor tenkes at resultatene ble påvirket av dette. Men ved å se nærmere faktiske målinger som er gjort, kan en se at dette ikke er realiteten når målingene ble gjort, for oktober og november 2011. Målinger registrert av målestasjon 44800 Sviland viser at det regnet 243 millimeter i løpet av oktober måned mot normalt 229 millimeter, og i november 179 millimeter mot normalt 215 millimeter. Med andre ord er dette to tilnærmet

normale måneder, og infiltrasjonsmålingene våre er svært realistiske. Grunnen til alt fokuset på den våte høsten 2011 kommer nok av den ekstreme desember måned der det falt over dobbelt så mye nedbør som normalen, hele 421 millimeter mot normalt 194. Også de første månedene i 2012 var en hel del over normalen.

Målingene har gitt visse verdier på infiltrasjonen i området. Det blir likevel vanskelig å bruke disse verdiene videre i modellberegningene. For utenom disse dataene blir infiltrasjonen fastsatt av tidligere erfaringer og teori.

## Kapittel 4 - Definerer mulige løsninger

For å definere de ulike løsningene i forhold til overvannshåndtering, må en begrense alternativene noe. Det er som nevnt tidligere i Teoridelen svært mange forskjellige løsninger, med varierende effekt. Etter samtaler med veileder i Dimensjon Rådgivning AS og fagfolk i Sandnes Kommune er det kommet frem til tre hovedløsninger som må vurderes.

1. Alternativ: Legge en helt ny overvannsledning fra Aase Gård til Storåna. Dette vil løse alle problemer i forhold til kapasitet. Ved bruk av denne løsningen vil det ikke være nødvendig å tenke på lokal overvannshåndtering. Ny ledning ville bli omtrent 1500 meter lang.



**Figur 16: Naturlig trasé for ny overvannsledning (maps.google.com)**

2. Alternativ: Lokal overvannshåndtering med felles fordrøyningsmagasin for hvert delfelt. Dette er mulig å gjøre, spørsmålet er hvor store fordrøyningsmagasin som må brukes.
3. Alternativ: Lokal overvannshåndtering med infiltrasjon på hver private eiendom og med mindre fordrøyningsmagasin samlet for hvert delfelt.

Alle løsninger skal tilfredsstillere alle krav tilhørende overvannshåndtering. Dette vil si at de skal dimensjoneres for et 20 års regn.

## Kapittel 5 - Etablere modeller

Det skal etableres fire modeller:

1. En modell over dagens situasjon. Det er resultatet fra denne modellen som setter begrensninger på overvannsmengden til feltet etter utbygging.
2. En modell der store fordrøyningsmagasin blir brukt for å tilfredsstille minstekrav til utslippsmengde. Som tidligere nevnt deles feltet opp i 3 områder, der det bygges et fordrøyningsmagasin til hvert av områdene.
3. En modell der det bygges en infiltrasjonskum på hver enkel eiendom, og med et lite fordrøyningsmagasin for hele området. Dette blir kun gjort for område 1, der detaljregulering er gjort.
4. En modell som tar utgangspunkt i at nye overvannsledninger blir lagt ned til nærmeste resipient som er Storåna.

### **5.1 Simulering av regn**

Det første som må gjøres er å simulere regnet. Fra en IVF kurve kan en hente ut "kasseregnet", altså regn med en jevn intensitet over en bestemt tidsperiode. Dette er ikke reelt da det sjeldent/aldri vil oppstå et slikt "kasseregnet". For å få et mer reelt regnskyll, må det simuleres med et realistisk forregn og etterregn. En måte å gjøre dette på er å konstruere et symmetrisk regnhyetogram. Målet er å konstruere et regn med samme varighet og samme mengde nedbør som regnet fra IVF kurven, men som har en mer realistisk utforming på regnintensiteten. Nedbørsvolumet fordeles på et forregn og et etterregn med middels intensitet og et hovedregn med spissintensitet.

For å kunne konstruere et slikt regnhyetogram, må en velge en bestemt returperiode. Det finnes flere tabeller som viser minimumsverdier for intervaller mellom dimensjonerende regnskyll, når det gjelder avløpssystemer. De har noe forskjellig "strenghetsgrad" på regnskyllhyppighet. NORVAR, Statens Vegvesen, NVE og Norsk Standard har alle sin egen tabell, med noe forskjellige verdier. For å velge optimal gjentakintervall brukes en risikobetraktning som utgangspunkt. Risiko er et mål som definerer sannsynligheten av at en hendelse skjer kombinert med konsekvensen av hendelsen. Naturlig nok ønsker man å minimalisere risikoen. Men dette må vurderes opp mot de kostnader man får ved de ulike alternativene.

Dimensjon Rådgivning AS er konservative på dette området og benytter strenge verdier, nettopp for å minimalisere risikoen. Kostnaden ved å gå noe opp i ledningsdimensjon er svært liten i forhold til kostnader ved skader som skjer i forbindelse med oversvømmelser.

For valg av historisk regn benyttes målinger fra Rovik målestasjon, gjennom Eklima. For valg av dimensjonerende regnskyllhyppighet benyttes anbefalte verdier fra Norsk Vann. Denne dimensjoneringen er en hel del "strengere" enn fastsatt i NS-EN 752.



Dimensjonerende regnskyllhyppighet* (1 i løpet av "n" år)	Plassering	Dimensjonerende oversvømmelseshyppighet** (1 i løpet av "n" år)
1 i løpet av 5	Områder med lavt skadepotensiale (utkantområder, landkommuner etc.)	1 i løpet av 10
1 i løpet av 10	Boligområder	1 i løpet av 20
1 i løpet av 20	Bysenter/industriområder/forretningsstrøk	1 i løpet av 30
1 i løpet av 30	Uderganger/underjordiske næringsområder	1 i løpet av 50

\* Ledningsnettets skal bare fylles til topp av rør ved dimensjonerende regnskyllhyppighet.

\*\* Oversvømmelsesnivået skal normalt regnes til kjellernivået (90 cm over topp rør).

**Tabell 5: Norsk Vanns anbefalte minimums dimensjonerende hyppigheter (norvar.no)**

Venstre side av tabellen er tenkt brukt på mindre avløpsfelt med det angitte dimensjonerende regn. Ledningene skal da ikke fylles mer enn til topp av rørene. Høyre side i tabellen er tenkt brukt for større felt, når skader kan oppstå (ved oppstuvninger), samt når hydrodynamiske modeller brukes. I følge NS-EN 752 kan man da la oppstuvningene gå opp til marknivået eller et annet definert nivå.

(Veileder Norvar, overvann, 2005)

Aase Gård er regulert til boligområder. Det skal derfor benyttes regnskyllhyppighet på 10 år og oversvømmelseshyppighet på 20 år. SWMM blir brukt som hydrodynamisk modell. I praksis vil dette si at regnyetogrammet skal bli konstruert ut i fra et regn med returperiode på 20 år.

Avlesninger fra IVF kurven fra eKlima blir brukt til beregningene. Tallene vi trenger er nedbørsintensitet for regn med returperiode på 20 år:

Regnvarighet (min)	Intensitet (l/s ha)
10	194
20	118
30	89
40	75
50	65
60	61

**Tabell 6: Regnintensitet til de ulike regnvarighetene til et regn med hyppighet på 20 år.**

Videre brukes denne tabellen til å konstruere et symmetrisk regnyetogram med gjentaksintervall på 20 år, beregningsstegene er satt til fem minutter:

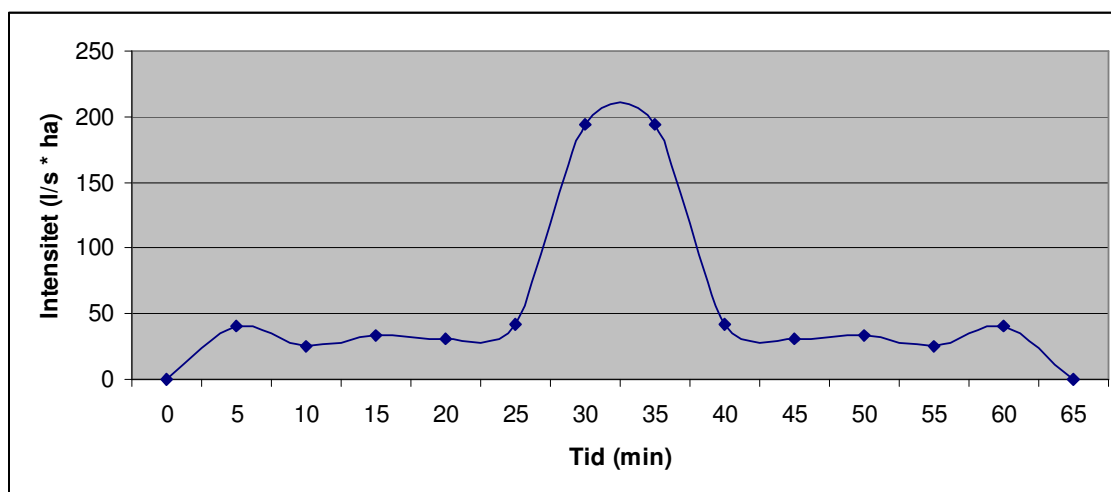
$$\begin{aligned}
 I_{10} &= 194 \text{ l/s} * \text{ha} \\
 I_{20} - I_{10} &= (118 * 20 - 194 * 10)/10 = 42 \text{ l/s} * \text{ha} \\
 I_{30} - I_{20} &= (89 * 30 - 118 * 20)/10 = 31 \text{ l/s} * \text{ha} \\
 I_{40} - I_{30} &= (75 * 40 - 89 * 30)/10 = 33 \text{ l/s} * \text{ha} \\
 I_{50} - I_{40} &= (65 * 50 - 75 * 40)/10 = 25 \text{ l/s} * \text{ha} \\
 I_{60} - I_{50} &= (61 * 60 - 65 * 50)/10 = 41 \text{ l/s} * \text{ha}
 \end{aligned}$$

Disse utregningene gir følgende tabell for regnhyetogrammet:

Tid (min)	Intensitetsverdier (l/s * ha)
5	41
10	25
15	33
20	31
25	42
30	194
35	194
40	42
45	31
50	33
55	25
60	41

Tabell 7: Tabell til regnhyetogrammet

Som igjen gir følgende kurve for regnintensiteten:



Figur 17: Symmetrisk regnhyetogram med 20 års gjentakintervall

Dette regnhyetogrammet vil bli lagt inn i SWMM og kommer til å bli brukt i alle simuleringer som blir gjort i denne oppgaven.

”Dimensjonering, kapasitetsberegning og drift av de enkelte elementer i et avløpsanlegg som skal lede bort overvann må oftest være basert på regnskyll av 5-30 min. varighet eller mer, det vi kaller korttidsnedbør. For enkelte steder kan i midlertidig regn og snøsmelting over flere timer gi større avløpsmengder enn korttidsnedbør” (VA-teknikk del 2, Avløp). På Nordjæren er klimaet stort sett mildt også på vinteren, det er sjeldent frost og store snømengder. Det er heller ikke vanlig å dimensjonere avløpssystemet for slike situasjoner

når skikkelige flomveier er etablert. Grunnen til dette er at i verste fall vil konsekvensen være mye vann på mark, veier og parkeringsplasser og folk vil bli "våte på bena".

Det har tidlige vært gjort undersøkelser på hvor mye bevegelsen av nedbørsfeltet har å si for resultatene i en slik modellberegning. Det viser seg at når nedbøren beveger seg i samme retning som hovedavløpet i nettet, med lik hastighet, kan man få en økning i Q maks på over 20%. Dette er en faktor som blir ignorert i denne sammenheng grunnet et såpass lite nedsalgsfelt. *(VA-teknikk del 2, Avløp)*

## 5.2 Parametre

For at modellen skal oppføre seg så realistisk som mulig, må mange av parametrene endres. Verdiene som er brukt i oppgaven er hentet fra lærebøker, brukermanualen til SWMM og fra samtale med veileder fra Dimensjon Rådgivning AS. Til parametre som ikke endrer seg fra modell til modell er det satt inn følgende verdier:

- Manningstall: Sier noe om ruhet på overflate og følgelig avrenningshastighet på overflaten.

Verdier brukt:            Impermeable dekker: 0.013  
                                 Permeable dekker:    0.24

- Depression storage: Hvor mange millimeter vann som lagres i overflaten.

Verdier brukt:            Impermeable overflater:    2  
                                 Permeable overflater:            20

- % Zero – Imperv: Hvor stor andel av de impermeable overflatene som ikke har noe lagring av vann. Altså en helt glatt overflate. Eksempelvis et hustak av glatt takstein.

Verdi brukt:            10 %

- Infiltration method: Det velges mellom forskjellige typer infiltrasjonsmetoder. Det er valgt å bruke Horton i denne modell, den baserer seg på Hortons likning:

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

Verdier brukt:            Max inf.rate:            75 mm/ha  
                                 Min inf.rate:            10 mm/ha  
                                 Decay constant:        4 mm/ha  
                                 Drying time:            7 days

- Kummehøyde: For enkelhet skyld er alle kummer satt til å være tre meter dype.
- Form på rørledning: Er satt til å være rund i alle tilfeller.
- Rør ruhet: Manningstall er satt til 0.013

Det finnes mange flere parametre og forskjellige innstillinger som kan gjøres i SWMM. Det er her kun nevnt de aller viktigste.

### 5.3 Modell 1 (dagens situasjon)

Kapasiteten til eksisterende overvannsnett er allerede nådd. For å finne hvor mye overvann som kan tilføres det eksisterende overvannsnett må det først beregnes hvor mye vann som kommer fra områdene slik situasjonen er i dag. Dette gjøres ved å etablere en modell i SWMM.

Følgende antakelser er gjort: Hvert av de tre områdene har en jevn helling mot kummen i påkoblingspunktene. Dette er ikke realiteten da hellingen er noe ujevn og noe av overvannet sannsynligvis renner mot øst. Dette ignoreres da overvannet uansett havner i det samme ledningsnett litt lengre nede i ledningssystemet. Rørdiameter settes i dimensjoner som ikke fører til oppstuvning i rør.

For å få mest mulig realistiske verdier i modellen, er feltene delt opp i seks deler. Dette er illustrert på figur 18.

#### 5.3.1 Beskrivelse av hvert delområde inkludert innsatte verdier:

##### Område A1:

Beskrivelse: Området er i dag jordbruksområde, der mesteparten er dekket med mark. Området inkluderer også noe vei, og halvparten av en nedlagt gård. Det er en jevn helning mot nord.

Areal: 22 000 km<sup>2</sup>

Impermeable flater (tette flater): 9 %

Helning (gjennomsnittlig): 4 %

Bredde (bredde på feltet): 140

##### Område A2:

Beskrivelse: Jordbruksområde dekket av mark. Inneholder også den resterende andre halvparten av den nedlagte gården, og en grusvei.

Areal: 19 000 km<sup>2</sup>

Impermeable flater: 6 %

Helning: 4 %

Bredde: 120 m

##### Område A3:

Beskrivelse: Hele området er dekket av dyret mark, utenom en liten hytte/bu midt i feltet. Det er helling mot sørøst.

Areal: 11 000 km<sup>2</sup>

Impermeable flater: 1 %

Helning: 4 %

Bredde: 80 m

### Område B:

Beskrivelse: Hele området er dekket av mark og inneholder en god del steinoverflater. Det er helling mot sør.

Areal: 30 000 km<sup>2</sup>

Impermeable flater: 3 %

Helning: 3,3 %

Bredde: 200 m

### Område C1:

Beskrivelse: Området er dekket av dyrket mark med en kryssende grusvei. Det er helling mot sør.

Areal: 10 000 km<sup>2</sup>

Impermeable flater: 4 %

Helning: 3 %

Bredde: 90 m

### Område C2:

Beskrivelse: For det meste dyrket mark. Inneholder en gård inkludert stort asfaltert gårdsrom, og noe grusvei. Hellingen er jevn sørover.

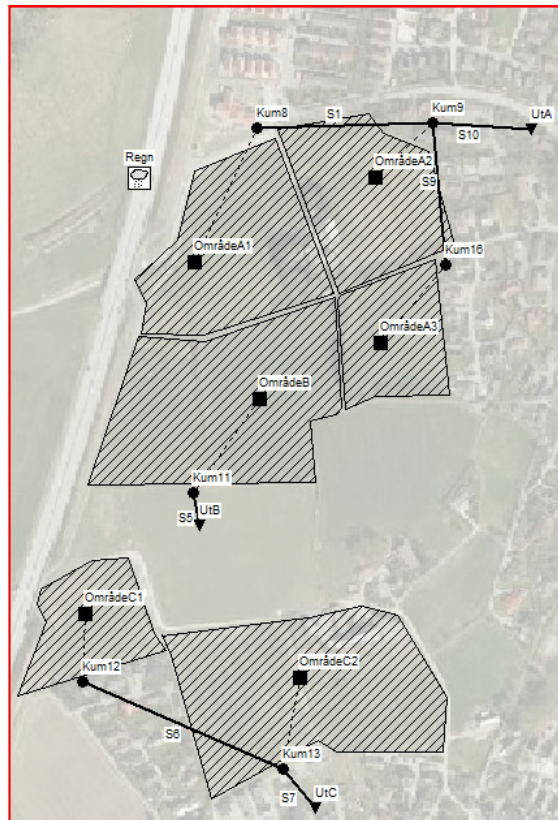
Areal: 36 000 km<sup>2</sup>

Impermeable flater: 10 %

Helning: 9 %

Bredde: 230 m

I SWMM ser ferdig modell slik ut:

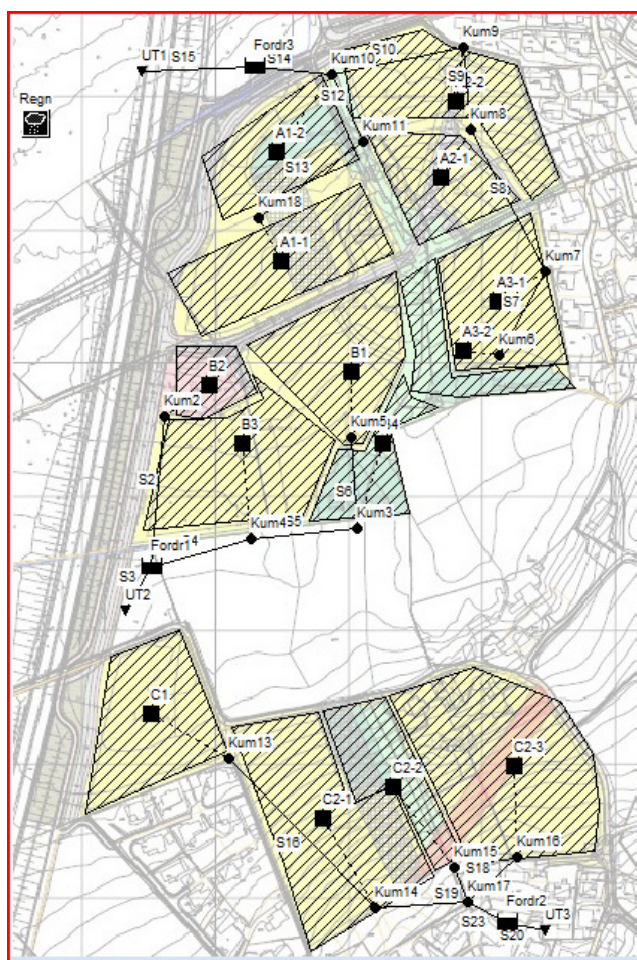


Figur 18: Viser hvordan modellen ser ut i SWMM. Bakgrunnen er et flyfoto fra [gulesider.no](http://gulesider.no)

## 5.4 Modell 2 (med store felles fordrøyningsmagasin)

Det skal lages en modell der hvert av de tre delfeltene får et eget fordrøyningsmagasin. Størrelsen på magasinet og dimensjoner på rør blir satt for å tilfredstille krav om utslippsverdier funnet i modell 1. Her blir det tatt utgangspunkt i reguleringsplanen. Målet er å utforme en modell som skal være mest mulig lik situasjonen blir ved ferdigstilling av prosjektet. Kun deler av området er detaljregulert og det må derfor gjøres flere antakelser underveis.

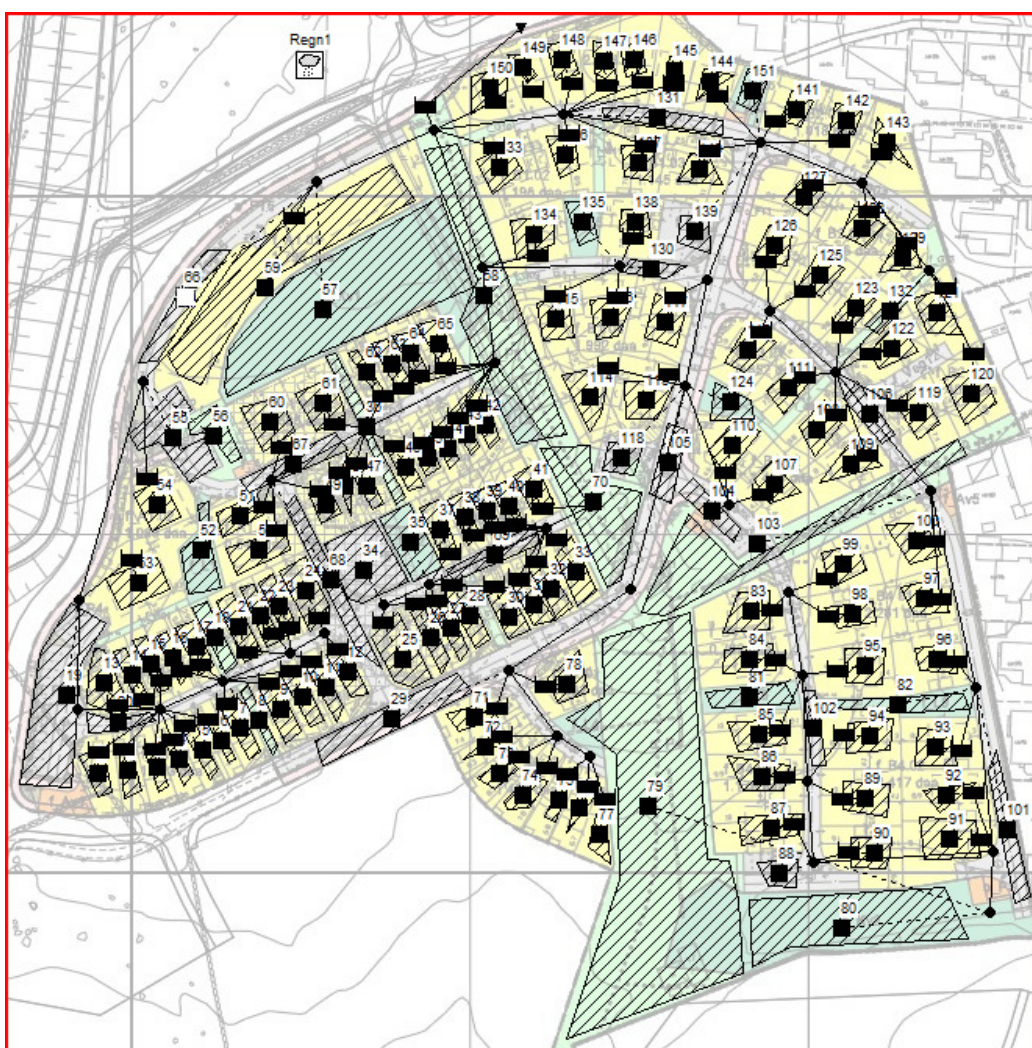
For å få en bedre oversikt og for å gjøre utregninger på parameterverdiene enklest mulig deles området opp i mindre deler (14 deler), som vist på figur 19. Hovedendringene fra modell 1 er andel tette flater som har endret seg i stor grad. Ellers er det endringer i vannets tilrenningstid og følgelig konsentrasjonstid, da vannet nå tar veien gjennom rør. Størrelsen på feltet, terrenghelningen, regnet og parametre som nevnt tidligere, er akkurat det samme som brukt i modell 1.



Figur 19: Oppbygning av modell 2

## 5.5 Modell 3 (med infiltrasjon på hver eiendom)

Det lages en modell der fordrøyning og infiltrasjon foregår på hver enkelt privat eiendom. I tillegg legges det til rette for et felles fordrøyningsmagasin for hele feltet for å begrense en eventuell for høy avrenning til gammelt ledningsnett. Det lages en modell kun ut i fra område A, som allerede er detaljregulert. Feltet blir delt opp i hele 150 små delfelt for å forenkle utregninger av parameterverdier. I modellen får hver eiendom, hver vei, hvert friareal og hver parkeringsfelt et eget nedslagsfelt. Figuren nedenfor illustrerer oppdelingen. Til opplysning er det ikke utseende på modellen som avgjør resultatet. Det vil si at det er kun en illustrasjon på hvordan systemet er oppbygget. Størrelse på feltet, utforming på feltet, kumplassing, lengde på rørledning og rørtrase osv avgjøres ikke av slik det er tegnet inn i modellen, men av parameterverdier som blir lagt inn. Det er fort gjort å bli litt "lurt" av figuren, siden dette ikke er slik det kommer til bli seende ut ved ferdig bebyggelse.



Figur 20: Illustrasjon av modell 3

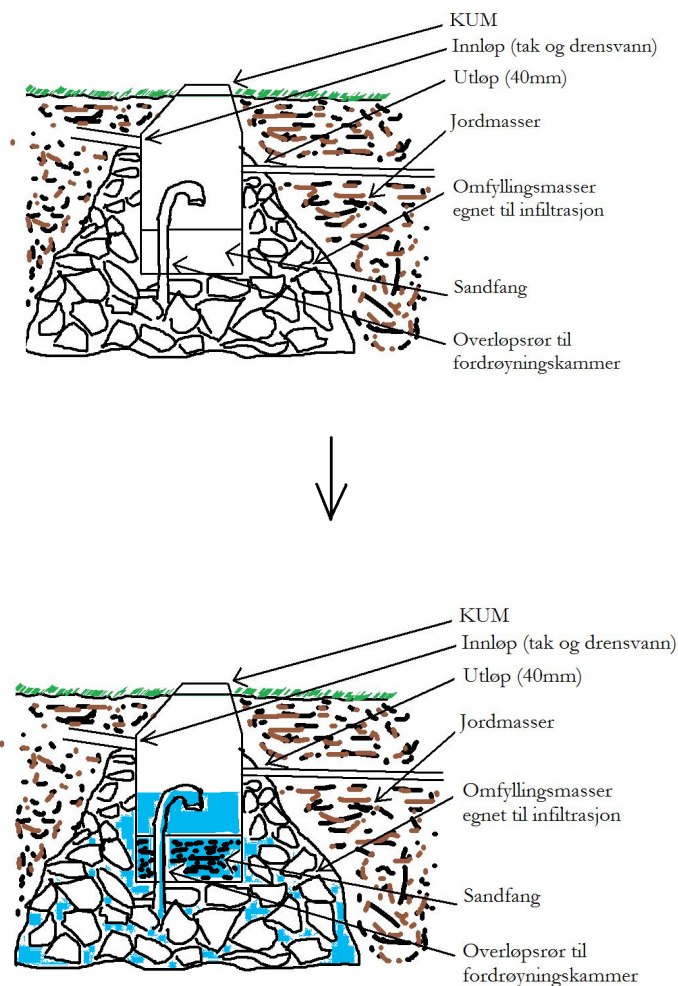
Målet med modellen er å finne ut hvordan en infiltrasjonskum på hver eiendom vil påvirke det totale utslippet og eventuelt hvor stort felles fordrøyningsbassenget for hele feltet må være. Utslipp av overvann til gammelt ledningsnett må heller ikke her overstige verdiene



funnet i modell 1. Som nevnt er feltet delt opp i 150 små delfelter. Parameterverdiene som må settes til hvert delfelt er størrelsen på feltet, andel tette flater og terrenghelning.

Modellen er bygget på følgende antakelser:

- Det legges opp til at hver eiendom får en egen infiltrasjonskum. Kummen er 3 meter dyp, og det legges inn at den holder på 2 kubikkmeter med vann før det går i et utløp med dimensjon på 40 millimeter. Det hele er illustrert i figuren under.



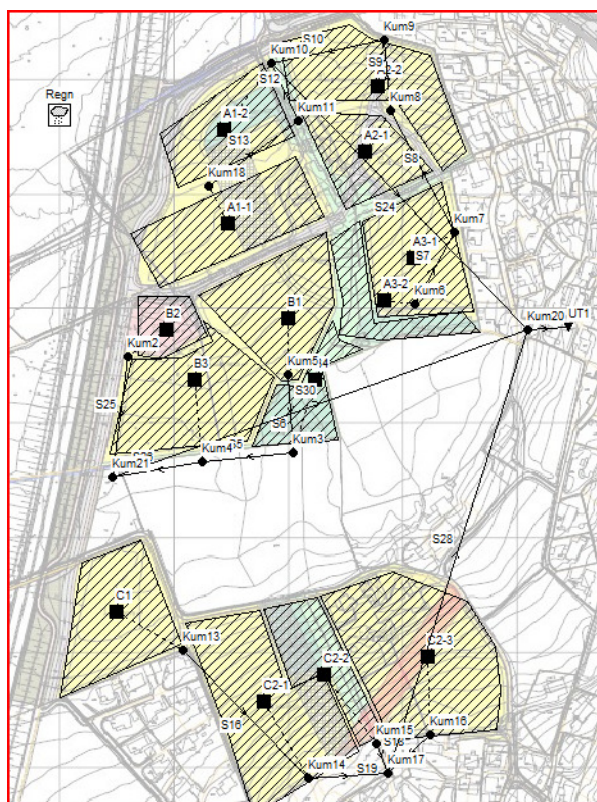
Figur 21: Viser kum før og etter nedbør

- Utløpet fra infiltrasjonskumen på de største eiendommene er satt til å være 70 millimeter for å unngå oppstuvning i kum. Dette gjelder kun ved fire eiendommer.
- Størrelsen på feltene:
  - Rekkehus – 0,02 hektar
  - Enebolig – 0,03-0,04 hektar
  - Blokk – 0,15 hektar
  - Vei/parkeringsplass – oppmålt fra detaljplan
  - Friareal/park/lekeplass – oppmålt fra detaljplan

- Andel tette flater:
  - Rekkehus – 60 %
  - Enebolig – 40 %
  - Blokk – 80 %
  - Vei/parkeringsplass – 90 %
  - Friareal/park/lekeplass – 10-20 %
- Terrenghelning og bredde på hvert delfelt er vurdert i hvert enkelt tilfelle.
- Det er ikke tilkoblet infiltrasjon eller fordrøyningskum til annet enn private eiendommer. Avrenning fra parkeringsplasser, veier og friareal går direkte til overvannsnett.
- Kotehøyder på kummer er satt etter beste evne ved å lese av detaljplanen.

## 5.6 Modell 4 (ny ledningstrase)

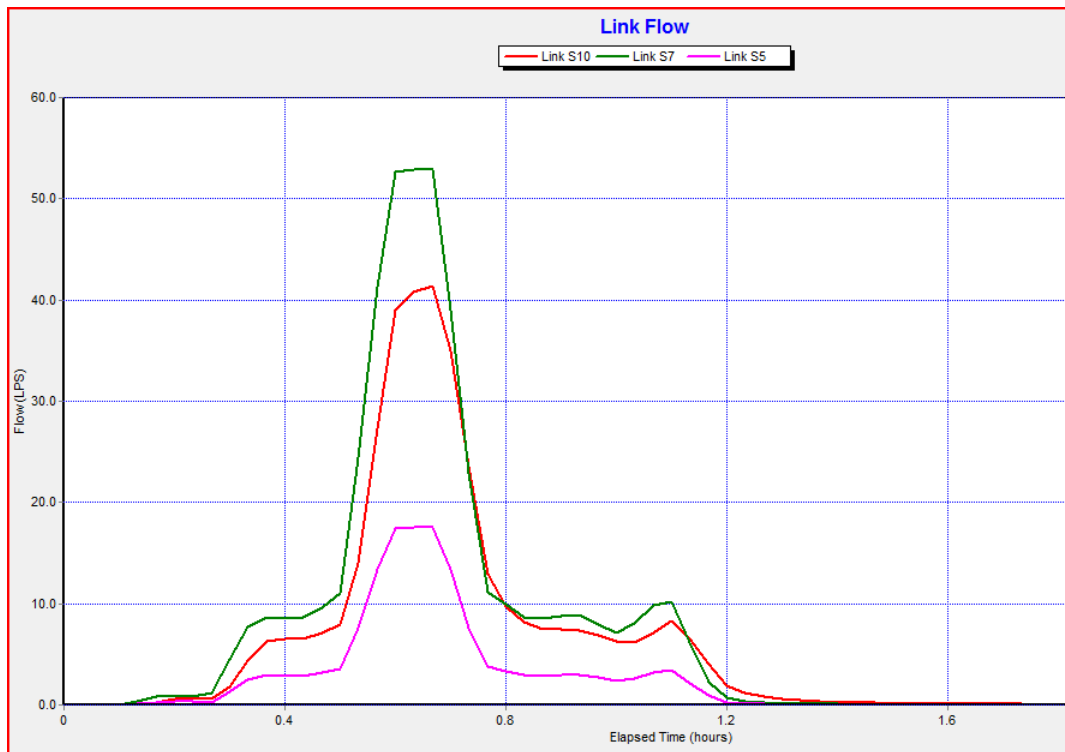
Det brukes samme grunnlag som for modell 2. Nå fjernes alle infiltrasjonskummer og fordrøyninger. Det lages en ny ledningstrase helt ned til Storåna. Denne løsningen er sikker og det er kun snakk om å finne riktig dimensjon på rørledninger. Dette kan gjøres ved hjelp av en enkel modell i SWMM.



Figur 22: Enkel modell av situasjon med ny ledningstrase

# Kapittel 6 - Resultat av modell

## 6.1 Resultat av modell 1



Figur 23: Grafen viser total vannstrøm over tid, ut fra de tre forskjellige områdene.

Modell 1 er basert på dagens situasjon. Resultatet fra denne modellen gir grunnlaget for hvilke begrensninger som settes i de neste modellene. Resultatet er vist i grafen over. Grafen viser vanngjennomstrømning i det som er satt som utslagspunkt. Grafen over vannmengden er lik grafen til regnhyetogrammet som viser regnintensitet over tid. Dette stemmer godt med intuitiv tenkning. Grafen viser også at vannet har en viss forsinkelse fra nedslagsfeltet frem til utslippspunkt (inn til eksisterende rørsystem). Regnet som er lagt inn i modellen varer kun i en time, men det renner vann gjennom rørene helt opp til to timer etterpå. Dette er grunnet forsinkelser som kommer av motstand og lagring av overflateavrenningen, altså konsentrasjonstiden.

Maksimal avrenning i utslagspunkt i de tre forskjellige områdene er (hentet fra modell):

$$Q_A = 42 \text{ l/s}$$

$$Q_B = 17 \text{ l/s}$$

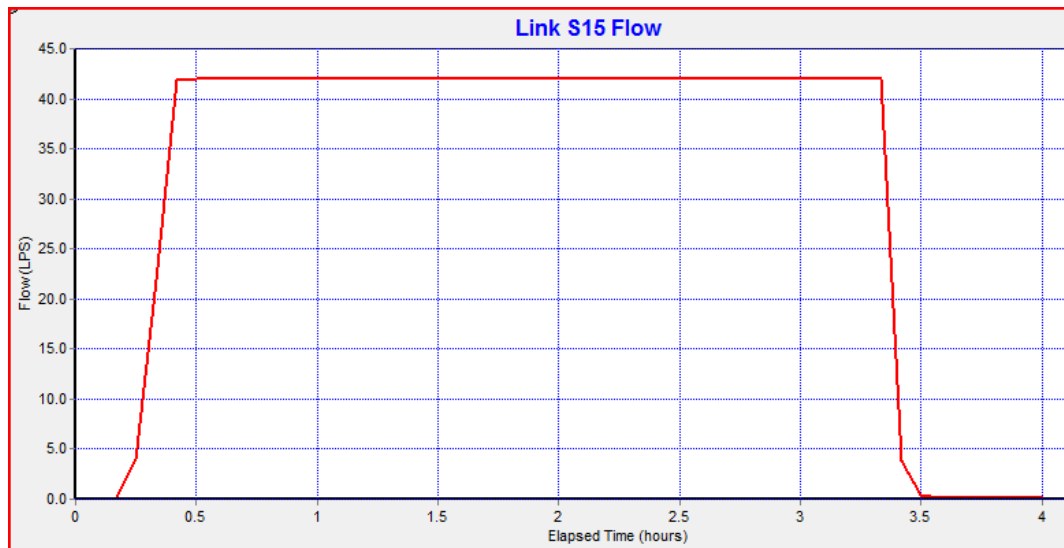
$$Q_C = 53 \text{ l/s}$$

Det er disse tre verdiene som gir utgangspunkt for videre modeller. Maksimal avrenning fra områdene skal ikke overstige disse verdiene. Utgangsrøret fra området må strupes slik at kravene blir tilfredstilt. Eventuelt overskuddsvann må da fordrøyes og/eller infiltreres.

## 6.2 Resultat av modell 2

For å tilfredsstille kravene om ikke å gå over oppgitte verdier må vannmengden ut av hvert felt begrenses. I modellen er det flere måter å gjøre dette på. Det velges her å endre på rør dimensjon og fall på rør ut fra fordrøyningsmagasinet slik at maksimal vannmengde er av samme verdi som tall fra modell 1.

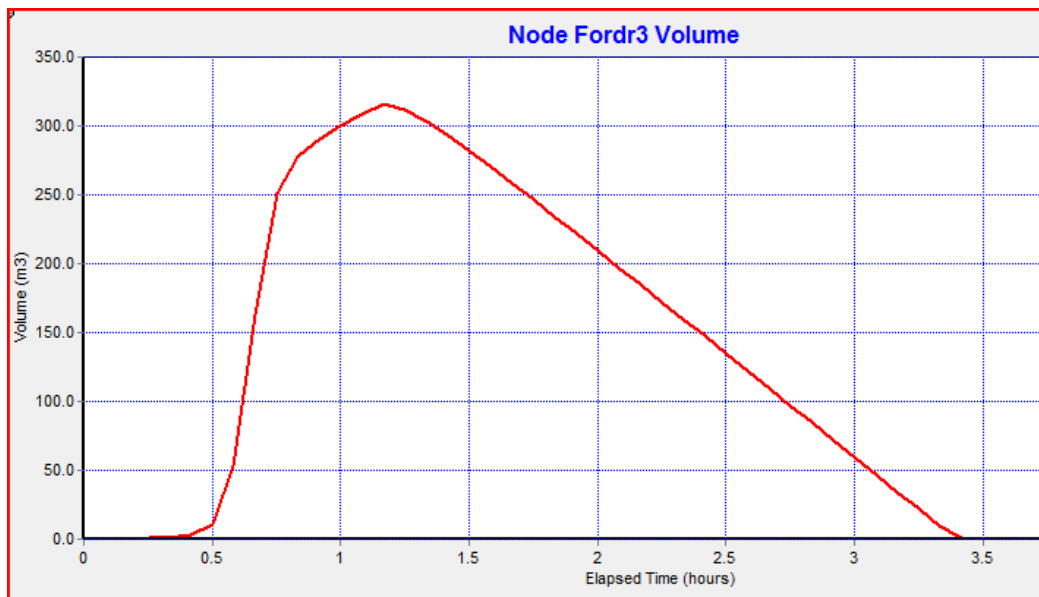
### 6.2.1 Område A



Figur 24: Viser vannmengde i utslagspunkt over tid. Maksimal vannmengde er 42 l/s.

Ønskelig vannmengde ble oppnådd etter å ha strupet rør fra fordrøyningsmagasin til 150 millimeter og lagt med et fall på 45 ‰. I realiteten er det kun mulig å endre på rørdimensjon, da fallet blir som det blir.

Men med dette som maksimal vannmengde, kan en lese ut i fra modellen hvor mye vann som blir liggende i fordrøyningsmagasinet. Og dermed kan en finne hvor stort magasin som trengs for å lagre dette vannet.

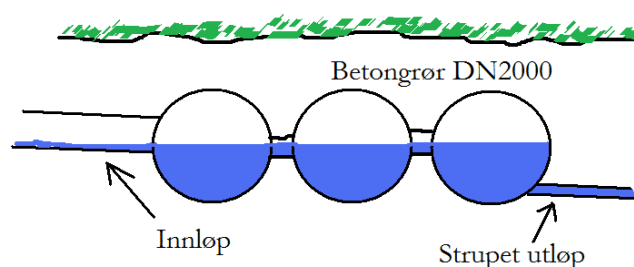


Figur 25: Grafen viser mengde vann som lagret i fordrøyningsmagasinet over tid.

Maksimal vannmengde i fordrøyningsmagasinet er 320 m<sup>3</sup>. Det må derfor bygges et fordrøyningsmagasin med minimum denne størrelsen. Det finnes to hovedløsninger på dette:

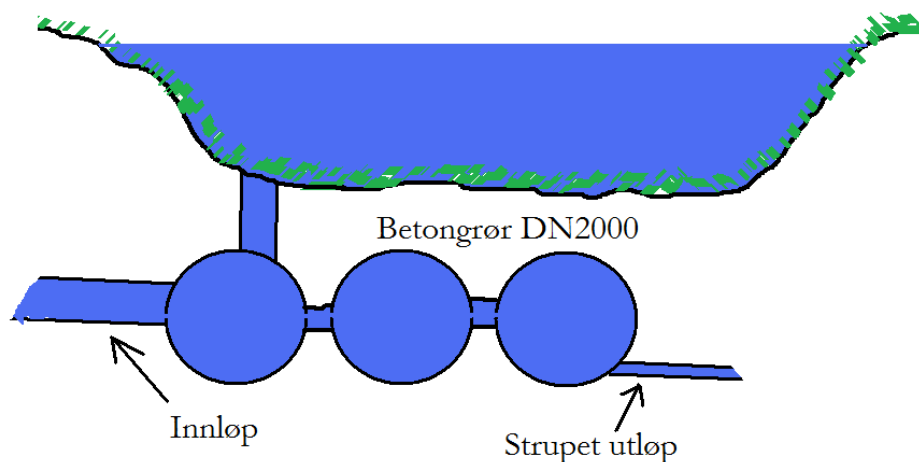
- Åpne bassenger som f.eks. naturlige søkk i terrenget, grøfter m/terskler, dammer, myr-/våtmarksområde og ulike typer kunstige bassenger.
- Lukkede basseng (steinfyllinger, ledningsgrøfter, prefabrikkerte nedgravde konstruksjoner, betongmagasin, biofiltere o.l.)  
(Retningslinjer for overvannshåndtering i Bergen kommune, 2005)

Et alternativ for lukkede basseng er å lage magasinet ut i fra store rør dimensjoner og med lange lengder. Fordelen med en slik løsning er relativt enkel utførelse, løsningen krever små områder (kan legges under gater, mark, parkeringsplass osv) og de er lette å vedlikeholde da en kommer til for inspeksjon og slamspyling. Et eksempel på en slik løsning i dette tilfellet kan være å legge tre betongrør DN 2000 parallelt, med en lengde på 35 meter. Dette vil gi en kapasitet på:  $3,14 * (1\text{m}^2) * 35\text{m} * 3 = 330\text{m}^3$ . Det hele kan illustreres ved en figur:



Figur 26: Illustrasjon over utførelse

Likevel er nok kanskje den aller beste løsningen i dette tilfelle å ha en kombinasjon av en åpen og lukket løsning. Løsningen er illustrert i tegning:



Figur 27: En kombinasjon av lukket og åpent fordrøyningsmagasin.

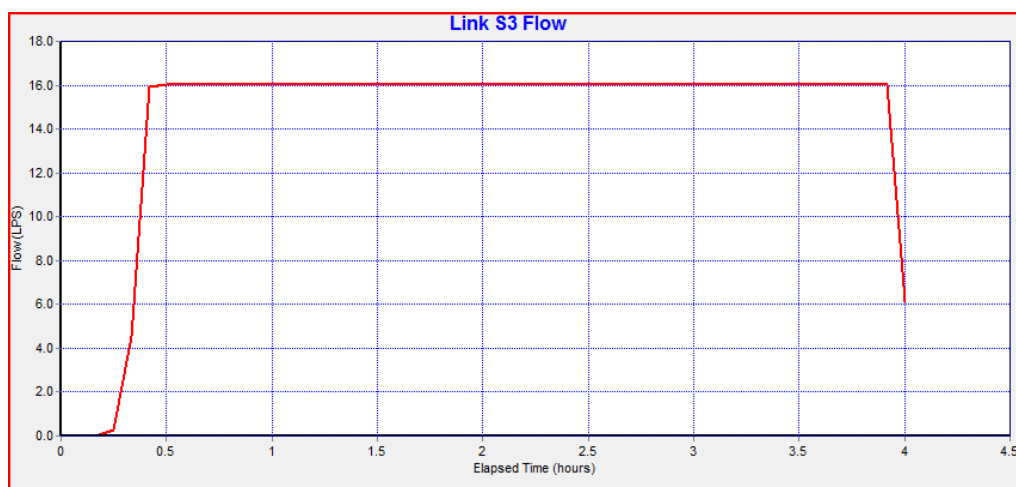
Denne løsningen fører til kostnad og plassbesparelse. Det er tross alt svært sjeldent med et 20 års regn. Det kan være en god løsning å dimensjonere det lukkede magasinet for et 5 års regn, slik at alt nedbør mer enn dette vil føre til en synlig og åpen dam. Det er her viktig å ta hensyn til sikkerheten i forbindelse med dannelse av vanddammen. En må huske på at dammen sannsynligvis vil komme en plass der barn vanligvis er vant til å leke.

Størrelsen på det lukkede magasinet kan beregnes ved å konstruere et regnhyetogram med returhyppighet på fem år, og legge dette inn i modellen. Etter noen raske simuleringer på dette får en at det trengs et magasin med kapasitet på  $170 \text{ m}^3$  for å ta unna et fem års regn. Det vil si at resterende vannmengder vil flyte over bakkenivå og lage en åpen dam.  $320 \text{ m}^3 - 170 \text{ m}^3 = 150 \text{ m}^3$ . Det må minimum være plass til  $150 \text{ m}^3$  i en åpen dam. Terrengoverflaten må da utformes slik at dette er mulig. Hvis vi for eksempel har et område på  $10 \times 10 \text{ m} = 100 \text{ m}^2$ , med nedsøkk i terrenget, vil det dannes et vann med 1,5 meter dybde, med et 20 års regn.

Grafen som viser vannmengden i magasinet, viser også hvor lang tid det tar før den tømmes for vann. Ved å bruke det konstruerte regnhyetogrammet med returhyppighet på 20 år, vil magasinet være fullt opp ca en time etter at regnet begynte, men vannstanden vil etter det synke raskt og allerede etter 3 timer og 30 min vil magasinet være tømt. Det er verdt å huske på at med dette regnet som utgangspunkt er det lagt opp til at det ikke har vært regn på forhånd og at det slutter helt å regne etter en time. Med regn med lang varighet vil magasinet inneholde vann over lengre tidsrom, men intensiteten vil statistisk være mye lavere, slik at det fortsatt er timesregnet som blir dimensjonerende.

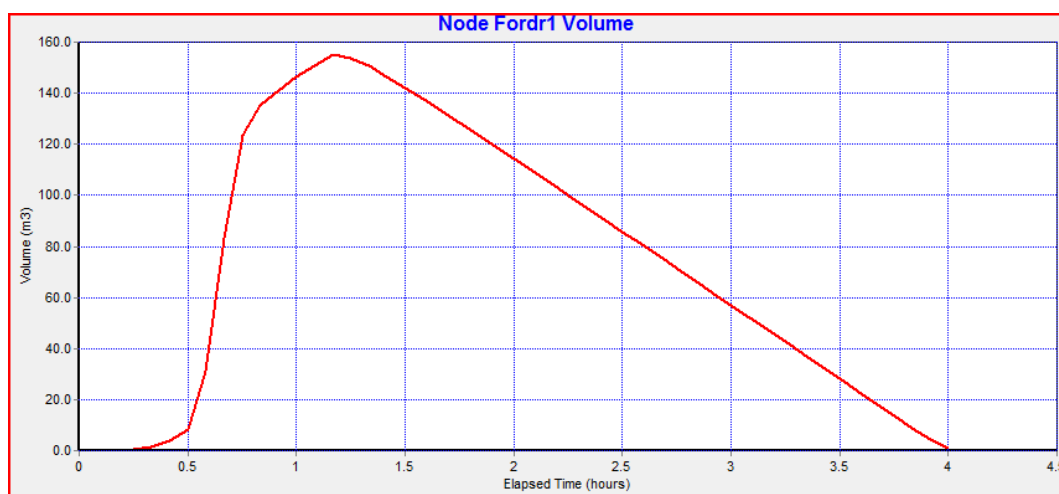
## 6.2.2 Område B

Ut fra område B er 17 l/s største tillatte vannmengde. Ved å dimensjonere et utslagsrør som gir denne vannmengden, samles det vann i fordrøyningsmagasinet.



Figur 28: Viser vannstrøm gjennom utslagsrør.

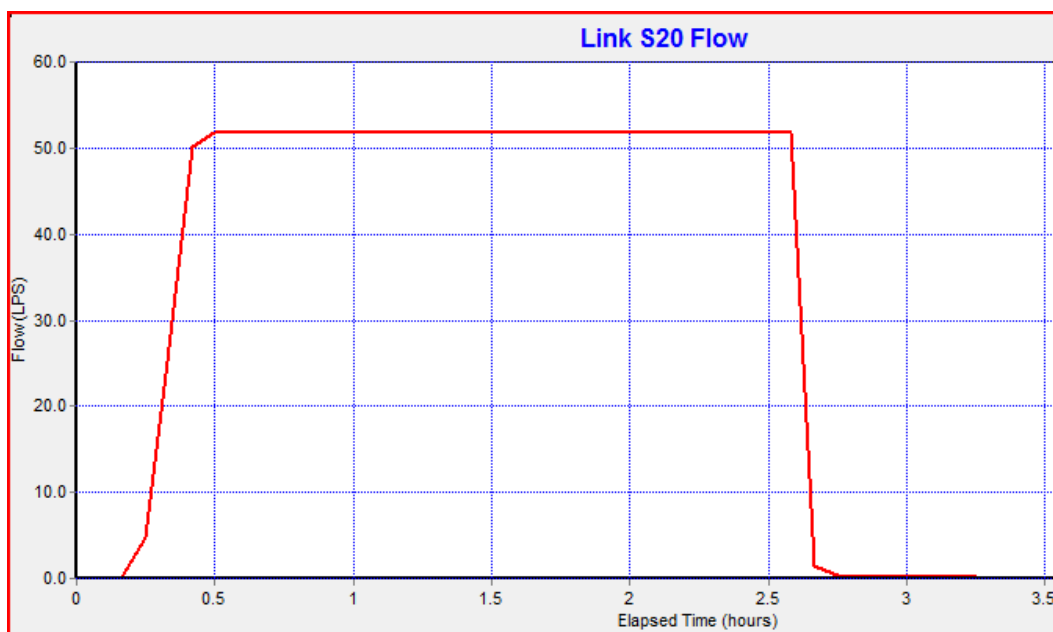
Ved å bruke et 150 millimeter rør med fall på 10 ‰, begrenses vannmengden som vist i grafen over. Maksimal vannmengde ut fra området blir da 16,1 l/s, som er under kravet. Vannvolumet i magasinet blir som vist i graf under.



Figur 29: Vannmengde i magasin over tid.

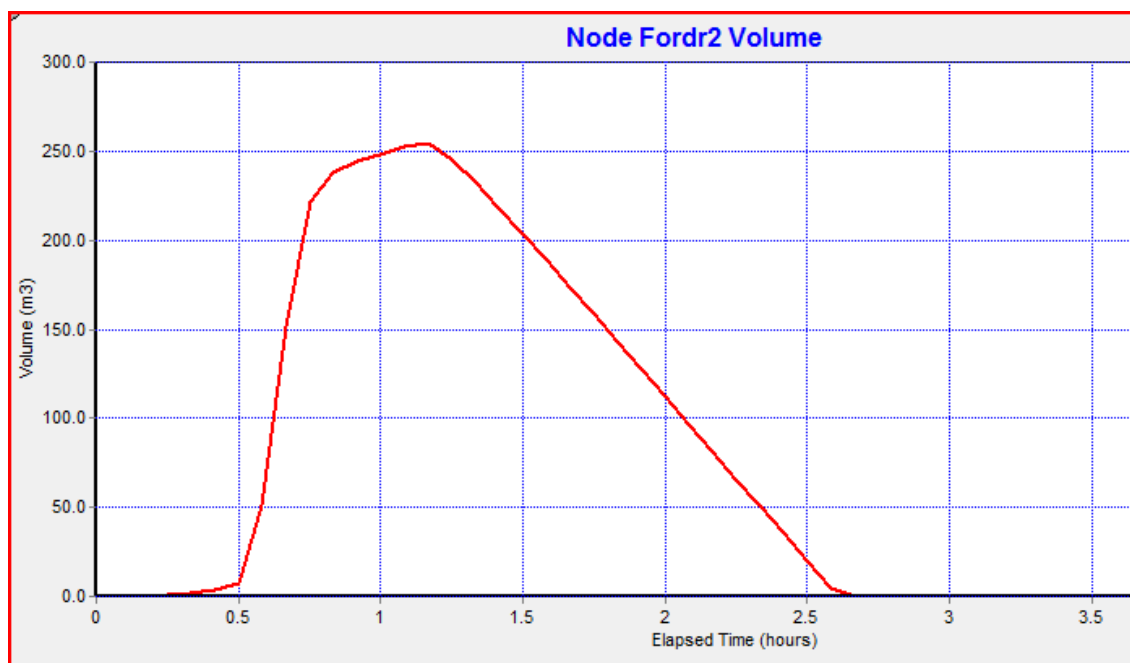
Maksimal vannmengde i fordrøyningsmagasinet er 160 m<sup>3</sup>. Løsningene på utførelsen av et slikt magasin er de samme som nevnt tidligere. Ved et slikt "ekstremregn" som er lagt til grunn for utregningene, vil magasinet bli tømt fire timer etter at det begynte å regne. Altså noe lengre tid enn fordrøyningsmagasinet til område A, selv om volumet av magasinet bare er halvparten. Dette kommer av at begrensningen på vannstrøm ut av magasinet er lav.

### 6.2.3 Område C



Figur 30: Vanngjennomstrømning fra område C

Ved å bruke et utslagsrør med dimensjon på 200 millimeter og 25 ‰ vil vannmengden begrenses slik som vist i graf. Maksimal mengde ut blir da 53 l/s, som tilfredsstillt krav til maksverdi.



Figur 31: Volum av vann i fordrøyningsmagasin til område C

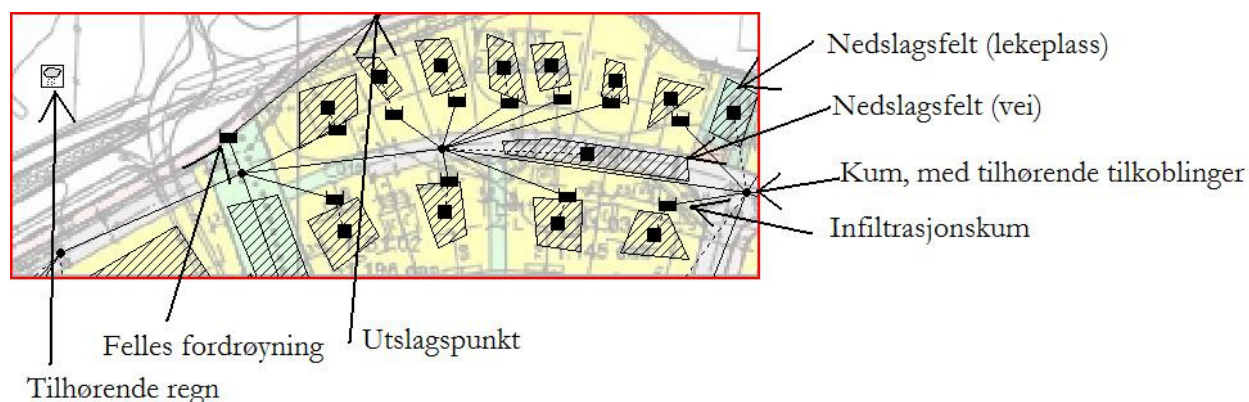
Det må dimensjoneres et magasin med minimum 250 m<sup>3</sup> for område C.



### 6.3 Resultat av modell 3

Denne modellen er kun laget for område A. Ettersom det kun er på dette området at det er utarbeidet en detaljreguleringsplan.

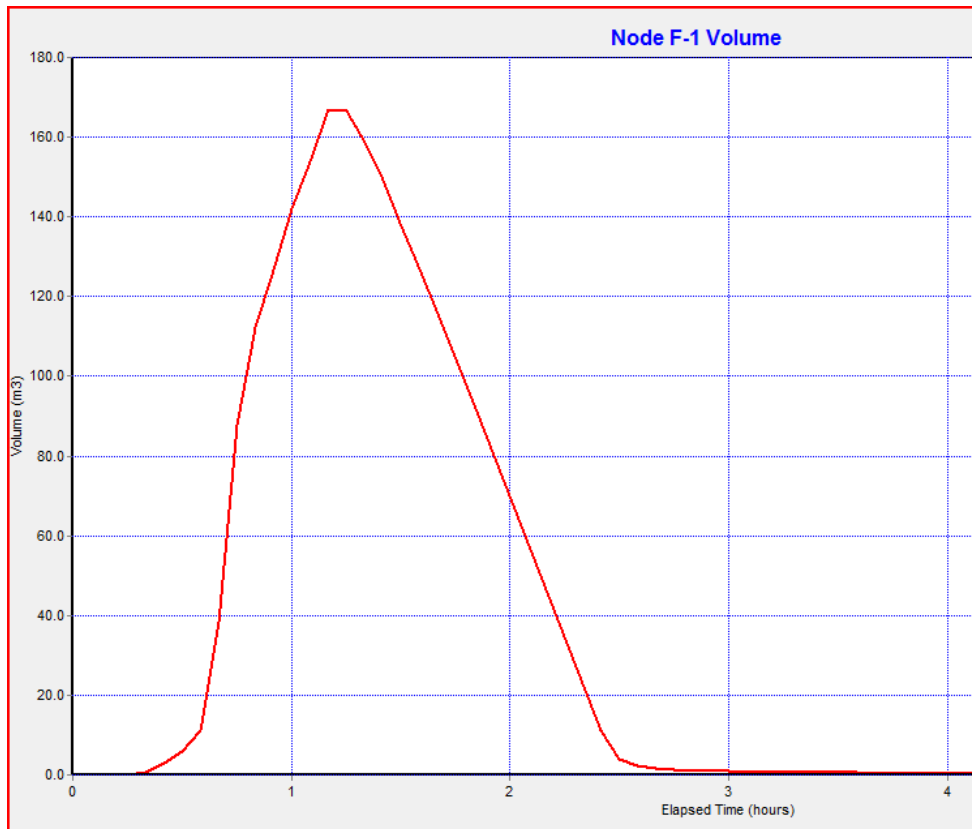
Modell 3 blir en hel del mer avansert enn de to første. Det skal gjøres simuleringer med et fordrøyningsmagasin på hver private eiendom. For å få til dette i modellen, må hver eiendom få et eget nedslagsfelt. Dette fører til at 150 delfelt, 120 fordrøyningsbasseng, 500 ledningstrekk og 200 kummer må tegnes/lages i modellen. Hvert delfelt har forskjellige parametre som må justeres, dette er et tidkrevende arbeid. Men med noen forenklinger og snarveier, ble modellen ferdigstilt som ønskelig. Nedenfor vises et lite utklipp på hvordan modellen så ut inkludert noen forklaringer.



Figur 32: Viser et utklipp fra modellen, inkludert forklaring.

Det er igjen viktig å presisere at SWMM ikke tar utgangspunkt i hvordan modellen er tegnet, slik som vist her. Men den gjør sine simuleringer ut i fra parametre som er lagt inn. Derfor kan blant annet dette utklippet gi et litt feil bilde av situasjonen.

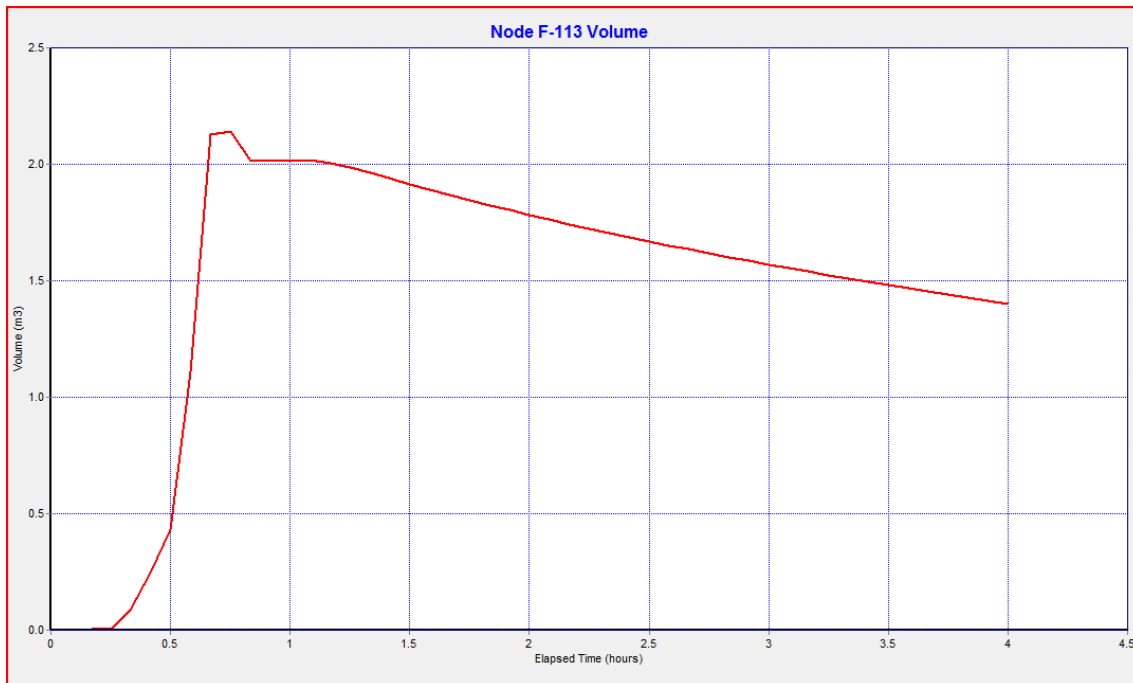
Det er i denne modellen brukt infiltrasjonskum ved hver privateiendom. Hver av disse kummene er satt til å ta opp til  $m^3$  med vann før det går i utløp videre til ledningsnett. Det er derfor en hel del mindre mengde vann som totalt sett blir sluppet ut til gammelt ledningsnett. Men det må fortsatt bygges et stort felles fordrøyningsmagasin for hele området for og ikke å overstige krav til maks utslipp. Ved å bruke 42 l/s som begrensning i utslippsmengde til gammelt overvannsnett, blir nødvendig fordrøyningsmagasin som vist under.



Figur 33: Vannmengde i felles fordrøyningsmagasin over tid.

Maksimal vannmengde i magasinet er  $170 \text{ m}^3$ . Noe som er ca halv størrelse av magasinet beregnet i modell 2. Følgelig blir dette magasinet også fortært tørt.

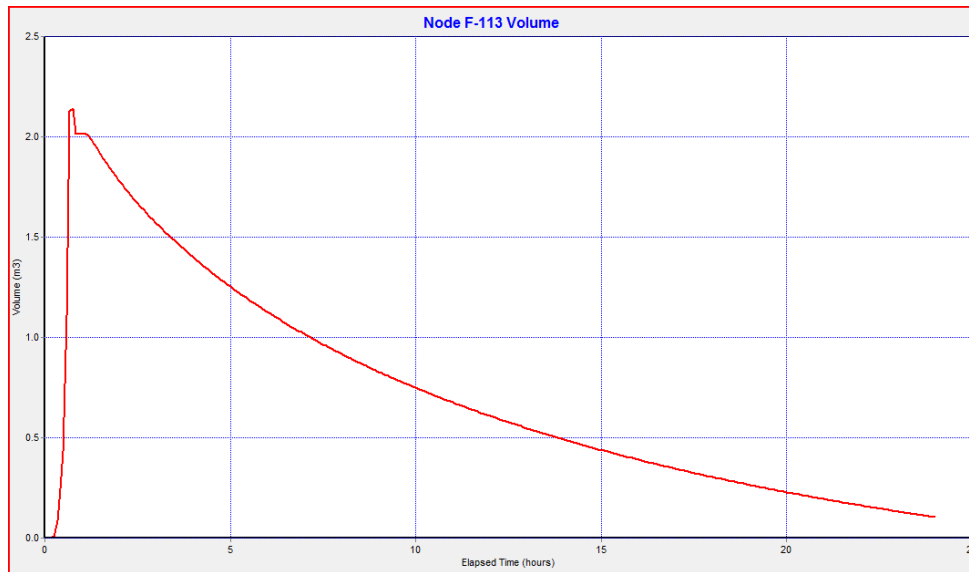
Det er interessant å se på virkningen av infiltrasjonkummene. Det er allerede vist at den totale mengden vann fra området blir mindre. Det er også noe forsinkelse på tidspunkt der vannstrømmen er på sitt høyeste. Det kommer av at kummene virker fordrøyende, og slipper ikke ut vann før infiltrasjonsmagasinet rundt kummen er fullt opp.



**Figur 34: Viser vannvolumet i en infiltrasjonskum over en periode på fire timer.**

Figuren viser vannvolum i en tilfeldig valgt infiltrasjonskum. Den tilhører en privat eiendom med størrelse på 350 m<sup>2</sup>. Vannet går i overløp når vannmengden passerer to kubikk. Det vises i grafen ved at vannvolumet økes gradvis, etter ca 40 min har vannoverflaten nådd opp til overløpet og begynner derfor å renne ut. Volumet minker fort ned til to kubikk igjen, før det gradvis minker enda mer. På dette tidspunktet har det sluttet å regne, og det er infiltrasjon i grunnen rundt som fører til at vannvolumet synker. Det vises at infiltrasjonen har liten/ingen påvirkning når det gjelder dimensjonering av felles fordrøyningsmagasin for hele området. Da simuleringene er gjort med utgangspunkt i et regn med varighet på kun en time, vil ikke grunnen rundt få tid til å infiltrere noe av vannet. Mengde vann som går i overløp ville vært omtrent det samme om kummen var tett og grunnen ikke infiltrert.

Men det er aktuelt å se på virkningen av infiltrasjonen over tid og når kummen er klar til å ta unna et nytt regn. Når simulasjonen kjøres over et helt døgn, blir grafen slik:

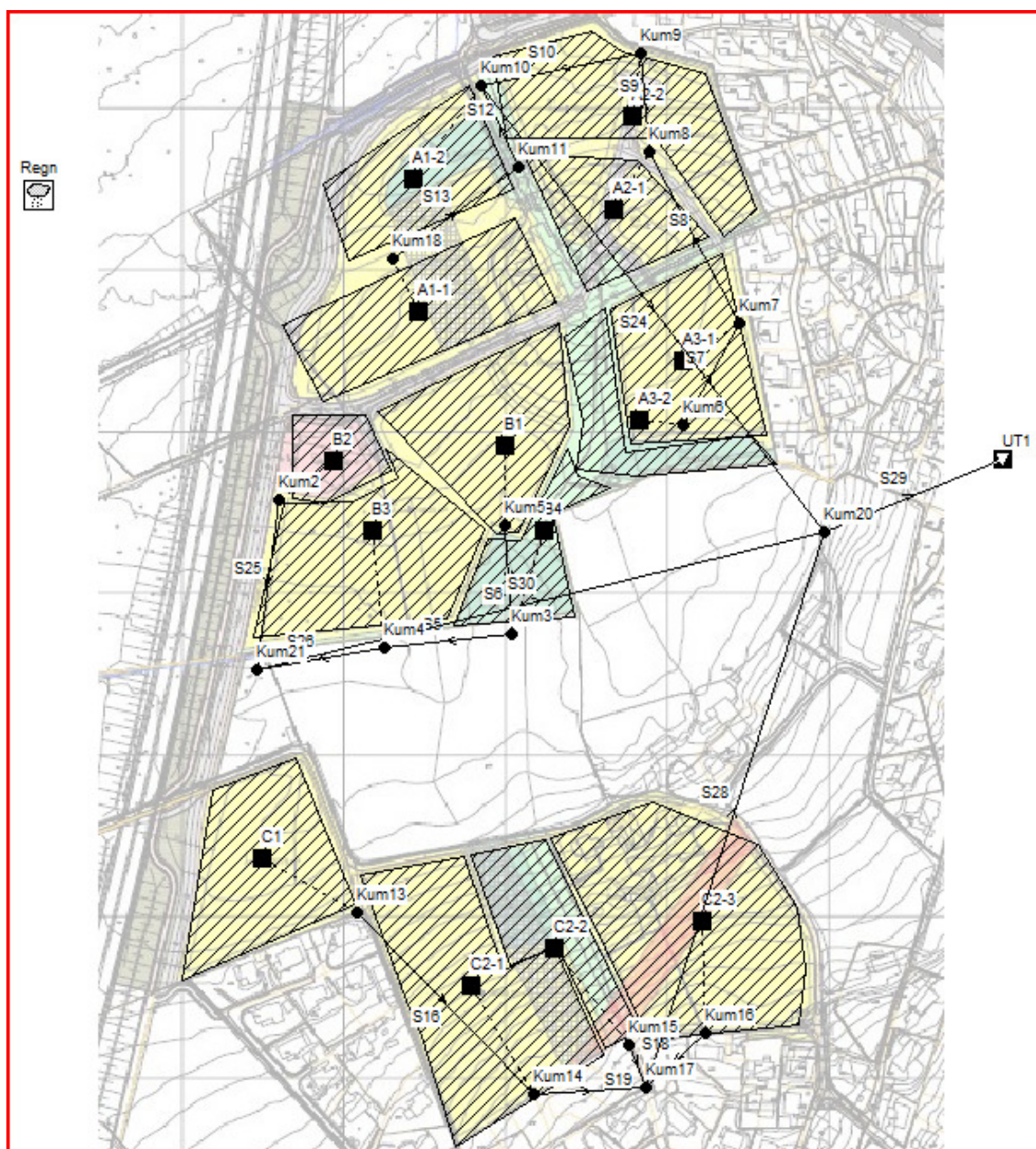


**Figur 35: Viser virkning av infiltrasjon over tid.**

Denne infiltrasjonen er svært avhengig av hvilke verdier som legges inn for infiltrasjonskapasitet. Det er i dette eksempelet lagt inn standard verdier (foreslått i brukermanualen til SWMM). Grafen viser at det tar litt over et døgn før magasinet er tømt. Med andre ord vil det infiltreres ca 2000 liter i døgnet. Når det sammenlignes med målingene som ble gjort på stedet høsten 2011, ser en at dette er realistiske verdier. Ved maksimal infiltrasjon ble det registrert 4000 liter i døgnet. Et gjennomsnitt av målingen som ble foretatt viser rundt 3000 liter per døgn. Det er naturlig at tallene fra simuleringene til SWMM er noe lavere, da forskjellen i infiltrasjonen varierer noe med fyllingsgraden i magasinet. Det infiltreres mer vann desto høyere fyllingsgrad fordi vannet har en større kontaktflate mot jorda rundt. Dette kommer også frem ved å se på grafen over. I infiltrasjonsmålingene som ble gjort, ble det hele tiden fylt på med vann, slik at magasinet hele tiden var fullt.

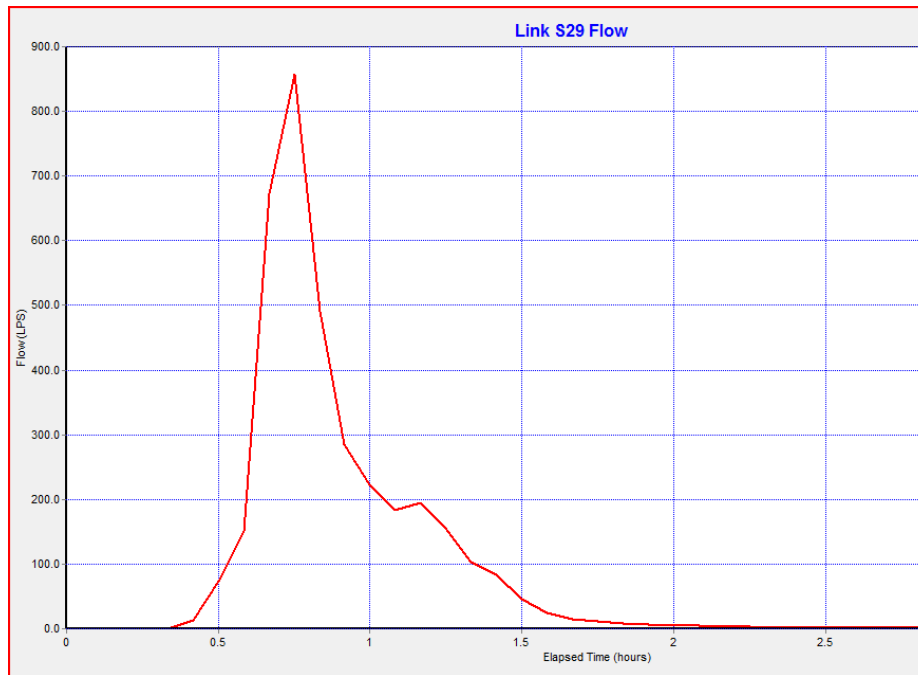
Men det må også tas i betraktning at infiltrasjonsmålingene ga svært dårlige resultater i våte perioder, når det regnet mye over flere dager. Faktisk var verdiene helt nede i 300 liter i døgnet. Det må derfor tas hensyn til at infiltrasjonskummene noen ganger vil ha høy fyllingsgrad før et regn kommer. Og ved et regn med høyere intensitet enn hva infiltrasjon og overløp klarer å ta unna, er det viktig å ha en buffer. Dette kan gjøres ved å ha høyere (dypere) kum. Ved å la kummen ha en lagringskapasitet over utløpet, vil den kunne ta unna en hel del regn også med høyere fyllingsgrad.

## 6.4 Resultat av modell 4



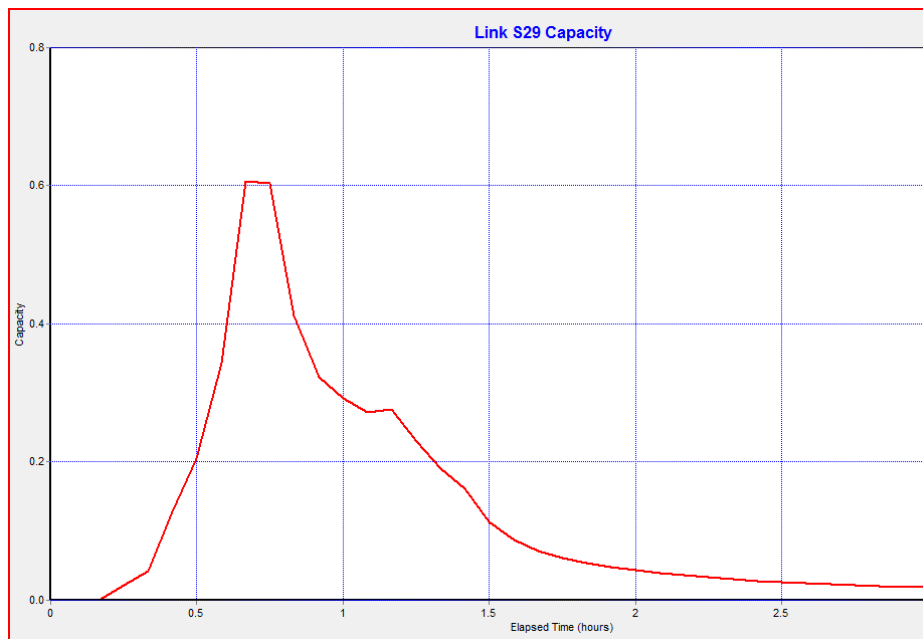
Figur 36: Oppbygningen av modell 4.

Denne modellen er ikke riktig når det gjelder plassering av ledningstrasé og antall kummer. Det er også en del usikkerhet når det gjelder lengde og fall på ledningene fra områdene. Det er valgt å ikke bruke tid på dette arbeidet da hovedmålet kun er å finne hvilke rørdimensjoner som trengs for å oppnå nødvendig kapasitet. Ved maksimal vannstrøm gjennom utløpsrøret fra områdene får vi 900 l/s.



**Figur 37: Total vannstrøm fra de tre områdene.**

Med fall på 20 % er det nødvendig med rør med diameter på 600 millimeter. Brukt kapasitet ved maksimal vannstrømning er 60 %. Dette er vist i grafen under.



**Figur 38: Brukt kapasitet til utløpsrøret fra feltet.**

## 6.5 Kostnadsberegninger

For å kunne evaluere de ulike løsningene som har blitt lagt frem, er det nødvendig å se på kostnaden til de forskjellige alternativene. Kostnadsberegninger er gjort på grunnlag av samtaler og opplysninger fra Dimensjon Rådgivning AS. De har stor erfaring på dette området og har mange tidligere lignende eksempler å gå etter.

Det blir fokusert på å finne forskjell i kostnadene til de tre alternativene, derfor blir det ikke gjort beregninger på kostnader som er tilnærmet like for alle tilfellene. Hovedforskjellene til de tre modellen vises i en oversikt i tabellen under.

	<b>MODELL 2</b>	<b>MODELL 3</b>	<b>MODELL 4</b>
<b>Områder</b>	Område A, B og C	Område A	Område A, B og C
<b>Fordrøyningsmagasin</b>	Område A: 320 m <sup>3</sup> Område B: 160 m <sup>3</sup> Område C: 250 m <sup>3</sup>	Område A: 170 m <sup>3</sup>	Ingen
<b>Dimensjon på rør</b>	Normale størrelser	Reduserte størrelser	Normale størrelser
<b>Ledningstrase</b>	Naturlige traseer, legges kun nye ledninger ved nytt felt	Naturlige traseer, legges kun nye ledninger ved nytt felt	Nytt overvannsnett legges ned til resipient (Storåna)
<b>Infiltrasjonskum</b>	Ingen	120 stk	ingen

Tabell 8: Oversikt over forskjeller i de tre modellene

### 6.5.1 Modell 2

Det som gir hovedforskjellen i kostnader sett i forhold til de to andre alternativene er kostnader i forbindelse med fordrøyningsmagasinet. Det vil også komme andre små forskjeller, men det velges å neglisjere disse.

Til grunnlag for beregning av kostnader av et fordrøyningsmagasin brukes:

- Fastpris på 100 000 kr uavhengig av størrelse.
- 2000 kr pr kubikkmeter

Da blir kostnader til de forskjellige områdene:

Område A:  $100\ 000 + (320 \times 2000) = 740\ 000$  kr

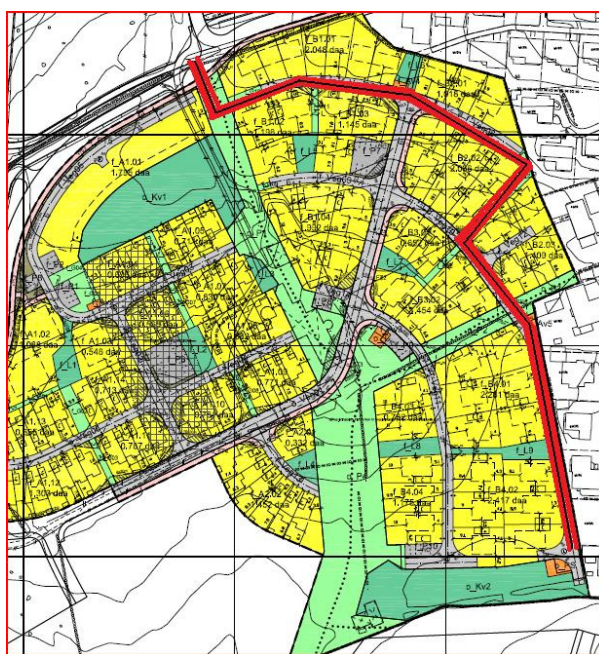
Område B:  $100\ 000 + (160 \times 2000) = 420\ 000$  kr

Område C:  $100\ 000 + (250 \times 2000) = 600\ 000$  kr

## 6.5.2 Modell 3

I modell 3 er det kun utført simuleringer for området A. Kostnadene er regnet ut med følgende antagelser:

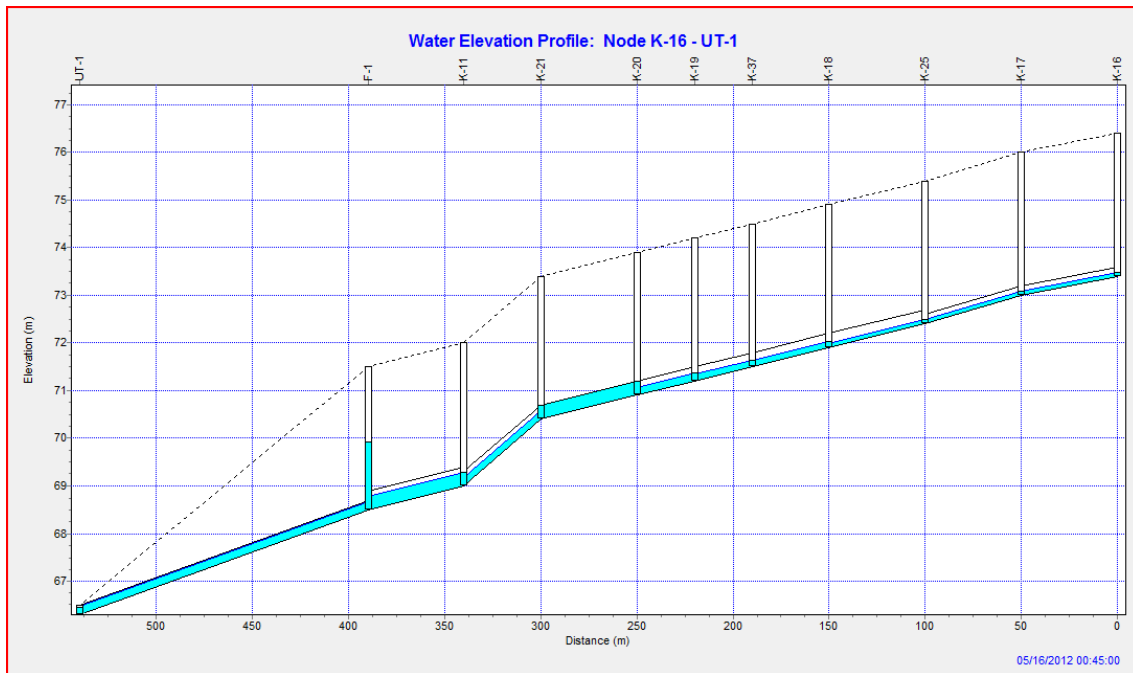
- Infiltrasjonskum kostnader settes til 15 000 kr.
- På grunn av infiltrasjon og fordrøyning på hver eiendom kan rørdimensjonen på overvannsnettet reduseres. Det antas at 400 meter med ledningsnett kan redusere rørdiameteret en størrelse (for eksempel fra 300 millimeter til 200 millimeter). Dette gir både lavere innkjøpskostnader og lavere leggekostnader. Det beregnes reduksjon i pris på 150 kr per meter.



Tabell 9: Viser hvilket ledningstrekk som det er tatt utgangspunkt i følgende eksempel

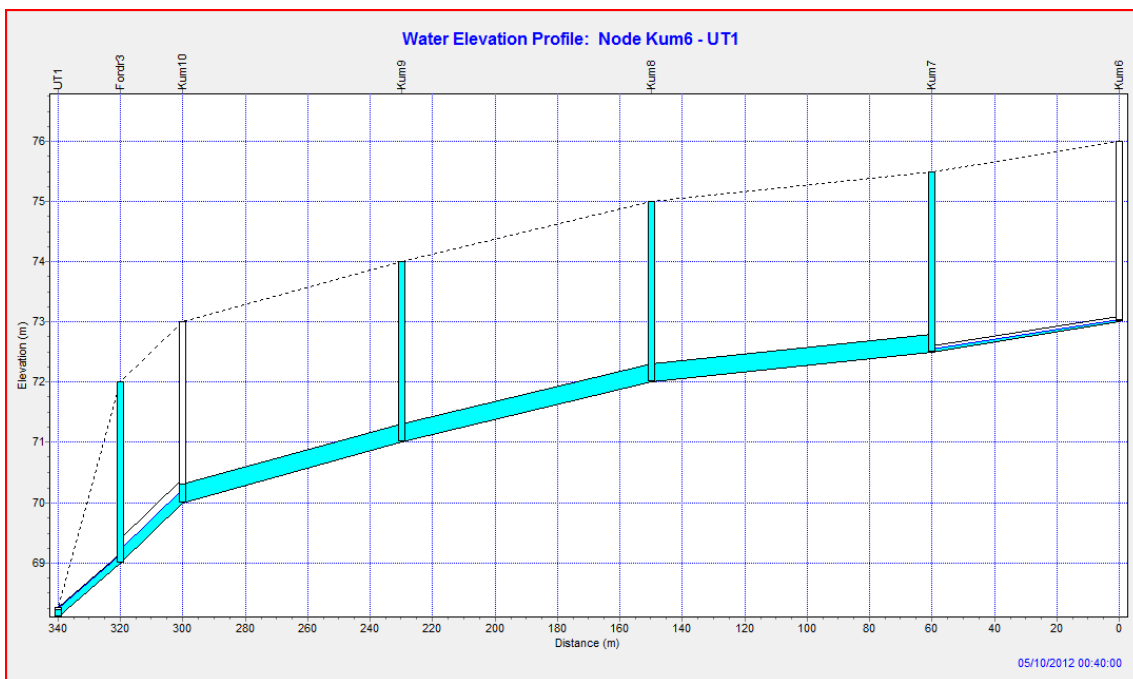
I simulasjonene som er gjort i SWMM kommer det tydelig fram at det er mulig å gå ned i ledningsdimensjoner i modell 3 i forhold til modell 2. Det kan vises ved å ta utgangspunkt i ledningstrekket som er vist i tegning ovenfor. Nedenfor vises to figurer, en fra modell 3 og en fra modell 2. Den samme ledningsdiameter er brukt i begge eksemplene for å få frem hva som vil skje.





Figur 39: Hentet fra simulasjoner gjort i modell 3. Viser mengde vann i ledninger og kummer på et kritisk tidspunkt.

På det mest kritiske tidspunktet skjer det oppstuvning kun i siste kum, som er fordrøyningsbassenget. Hvis en kjører samme simulering i modell 2, med den samme ledningsdiameter, blir resultatet som følger.



Figur 40: Hentet fra simulasjoner gjort i modell 2. Viser mengde vann i ledninger og kummer på et kritisk tidspunkt

Modell 2 er noe mer forenklet, det er ikke lagt inn like mye detaljer i form av antall kummer og korrekt ledningstrase osv. Det er grunnen til at figurene ikke er helt like. Men uansett kommer det tydelig frem at ledningsnettets er underdimensjonert, da det skjer oppstuvninger og oversvømmelser fra de fleste kummene. Simuleringene er gjort med det samme grunnlaget, forskjellen er infiltrasjonskummen som ikke er brukt i modell 2. Vannmengde gjennom nettet vil bli mye høyere og det kreves derfor større ledningsdimensjoner.

Kostnader for område A:

Infiltrasjonskummer:  $15\ 000 \times 120 = 1\ 800\ 000$  kr

Fordrøyningsmagasin:  $100\ 000 + (170 \times 2000) = 440\ 000$  kr

Kostnadsreduksjon:  $400 \times 150 = 60\ 000$  kr

Ut i fra tallene kan en konkludere med at reduksjon i kostnader i forbindelse med mindre rørdimensjoner, er små og ubetydelige. For sammenligning med modell 1 og 3 brukes  $2\ 180\ 000$  kr ( $1\ 800\ 000 + 440\ 000 - 60\ 000 = 2\ 180\ 000$ ) som grunnlag.


### 6.5.3 Modell 4

Kostnadsberegninger for å legge en helt ny overvannsledning ned til nærmeste resipient er omfattende. For ikke å bruke for lang tid på dette arbeidet er flere antakelser gjort. Og det er brukt tall fra tidligere beregninger av Dimensjon Rådgivning AS. Den ferdige utregnede totalkostnad skal likevel være realistisk og gir godt grunnlag for videre vurderinger.

Følgende antakelser er gjort:

- Ved legging av ny overvannsledning berøres ikke eksisterende VA system, det blir liggende som det er i dag.
- Ny ledningstrase er 1500 meter lang.
- 500 meter legges med betongrør DN 400, 1000 meter legges med DN 600
- Det er 50 meter mellom hver kum på hele strekningen
- En støter på 10 ledningskabler som gir merkostnader
- 500 meter av strekningen følger ledningen en eksisterende kabelgrøft som gir merkostnader
- Det går med 0,5 mill til trafikkavvikling og sikring.
- Grøften blir på fire meter, hele strekningen
- På grunn av smal vei og for å opprettholde trafikk blir det begrenset arbeidsplass og grøftmassene må flyttes på under arbeid.

Ut i fra disse antagelsene og priser som er hentet fra tidligere beregninger hos Dimensjon blir kostnadsberegninger som følger:

Oppdragsgiver: Selvaag Bolig	Oppdragsnr:	Dato: 06.06.12		
Oppdrag: Aase Gaard	Sign: MBF			
<b>Aase Gård - modell 4</b>				
Beskrivelse	Enhet	Mengde	Enhetspris	Sum
Kummer	stk	30	15 000	450 000
Overvannsledning Ø600 inkl klargjøring	m	1000	1 000	1 000 000
Overvannsledning Ø400 inkl klargjøring	m	500	800	400 000
Grøftarbeid	m	1500	1 000	1 500 000
Massehåndtering	m	1500	500	750 000
Kabelpasseringer	stk	10	3 000	30 000
Kabelgrøfter	m	500	300	150 000
Trafikkavvikling og sikring	stk	1	500 000	500 000
Riving av gammel vei	m <sup>2</sup>	6000	60	360 000
Trau og fiberduk	m <sup>2</sup>	8000	30	240 000
Forsterkningslag	m <sup>3</sup>	2000	180	360 000
Bærelag	m <sup>3</sup>	1000	230	230 000
Kantstein	m	1000	400	400 000
Asfaltering 6 cm adkomstvei	m <sup>2</sup>	6000	160	960 000
<b>SUM</b>				<b>7 330 000</b>
Uforutsett			10 %	733 000
<b>ENTREPRISEKOSTNAD</b>				<b>8 063 000</b>
Merverdiavgift, antatt 15 %			15 %	1 099 500
Administrasjon og prosjektering			5 %	403 150
<b>Overslag inkludert merverdiavgift</b>				<b>9 565 650</b>

Tabell 10: Kostnadsoverslag til utbygging av ny overvannsledning

Kostnaden som brukes i videre evaluering er eksklusiv merverdiavgift. Kostnaden avrundes til 8 500 000 kr.

## 6.6 Oppsummert resultat

	Resultat av simuleringer	Kostnadsberegninger
Modell 1	<p>Overvann til ledningsnettet med dagens situasjon, og videre begrensing på maksimalt overvannsutslipp:</p> <p>Område A) 42 l/s Område B) 17 l/s Område C) 53 l/s</p>	Eksisterende situasjon. Ingen kostnadsberegninger
Modell 2	<p>Tilfredsstiller krav til utslipp ved å bruke et fordrøyningsmagasin med kapasitet på:</p> <p>Område A) 320 m<sup>3</sup> Område B) 160 m<sup>3</sup> Område C) 250 m<sup>3</sup></p>	<p>Område A: 740 000 kr Område B: 420 000 kr Område C: 600 000 kr</p>
Modell 3	<p>120 stk infiltrasjonkummer med kapasitet på to kubikkmeter før vannet går i utløp, sammen med et stort felles fordrøyningsmagasin på 170 m<sup>3</sup>, må til for å få godkjent mengden overvannsutslipp. (Simulering kun gjort for område A)</p>	2 180 000 kr
Modell 4	Ny overvannsledning må være av størrelse DN 600	8 500 000 kr

Tabell 11: Oversikt over oppsummert resultat.

# Kapittel 7 - Usikkerhet

## 7.1 Generelt

En mye brukt definisjon på usikkerhet er: Differansen mellom den informasjonen som er nødvendig for å ta en sikker beslutning og den informasjonen som er tilgjengelig på tidspunktet for beslutningen.

På *Wikipedia* står det: "Usikkerhet er benyttet på ulike måter i ulike felt, men det har noe å gjøre med prediksjon av fremtidige hendelser, fysiske målinger som allerede er gjort eller det ukjente."

I oppgaven er simuleringene i stor grad basert på antagelser. I noen tilfeller kan det være gode argumenter, mange tidligere erfaringer og en del dokumentasjon, på antagelsene. I enkelte andre tilfeller er det et mindre grunnlag for antakelsene som er gjort. Med andre ord inneholder resultatene i denne oppgaven en hel del usikkerhet.

Det å definere og evaluere usikkerheten, er i denne masteroppgaven et omfattende arbeid. På grunn av begrensinger i tidsbruk, vil usikkerhetene kun blir nevnt og evaluert i korte trekk.

## 7.2 Usikkerhet til grunnlagsdata

### 7.2.1 Nedbørsdata og simulering av regn

Nedbørsdata er hentet ut i fra Eklima. Simulering av regnet er gjort på grunnlag av målinger fra Rovik målestasjon. Stasjonen har målinger fra en tidsperiode på over 30 år, og ut i fra dette er det laget en IVF kurve. Det forbinder seg i liten grad usikkerhet til disse dataene. Men det har vist seg tidligere å være store forskjeller på nedbør, selv med korte geografiske avstander. Rovik målestasjon ligger med en avstand på ca 4 km fra Aase Gård. Dette kan føre til at feil regn er brukt. Det er dessuten også usikkerhet til regnhyetogrammet som er konstruert. Regnet vil aldri ha en eksakt lik intensitet som dette over tid. Regnet kan være formet på en helt annen måte, for eksempel med lavere intensitet over en lengre tidsperiode. Det er brukt beregningssteg på fem minutter, ved kortere beregningssteg ville hyetogrammet hatt høyere toppintensitet som kunne gitt utslag i resultatene.

Det er også en stor usikkerhet i forbindelse med fremtidig regn. På grunn av klimaforandringer er det mange meninger om at det blir mer ekstremvær og ekstremnedbør. Det er sannsynlig at nedbøren kommer til å øke de neste tiårene. Det er ikke direkte tatt høyde for eventuelle klimaendringer i denne oppgaven.

Usikkerhet i forbindelse med simulering av regn brukt i oppgaven oppfattes likevel som lav, da den er basert på sikre grunnlagsdata. Men det skal være sagt at regnet som blir brukt i modellene har stor konsekvens på utfallet.

### 7.2.2 Kartdata

Kartdataene som er lagt til grunn i denne oppgaven er hentet fra forskjellige nettsider som finn.no, gulesider.no, norgeskart.no. Forslag til reguleringsplan fra Sandnes Kommune og detaljreguleringsplan utarbeidet av Dimensjon Rådgivning AS, er også brukt. Disse kartdataene er brukt for målinger av størrelsen på området, fastsettelse av andel tette flater, fastsettelse av helningsgrad, for å finne kotehøyder og for grunnlag av brukte geologiske grunnforhold. Det har også blitt gjennomført befarings på stedet for å sikre best mulig grunnlag.

Det er naturlig nok også usikkerheter når det gjelder kartdata. Målingene på størrelsen av områdene kan være noe unøyaktige. Andel tette flater ved dagens situasjon er valgt ut i fra enkle målinger og fra satellitt bilder, disse kan avvike noe fra realiteten. Kotehøyder og terrenghelning er bestemt ut i fra det som kommer frem i reguleringsplanen. I forbindelse med avlesning kan det forekomme små feil. Geologiske grunnforhold er antatt etter en enkel visuell befarings på stedet. Det ble ikke foretatt grunnundersøkelser, men resultat fra et forsøksprosjekt med en infiltrasjonskum ble tatt til betraktning.

### 7.2.3 Eksisterende anlegg

Opplysninger om det eksisterende anlegg, er fått fra Sandnes kommune og anses som sikre. Men det som derimot ikke er sikkert er hvor overvannet tar veien med dagens situasjon. Det blir antatt at kapasitetsproblemet til gammelt ledningsnett ikke nødvendigvis er ved påkoblingspunktene, men lengre nede i overvannsnettet. Det forbinder seg usikkerhet ved denne antakelsen, da det ikke har blitt gjort målinger på dette.

Mer om dette kommer under usikkerhet til modellen.

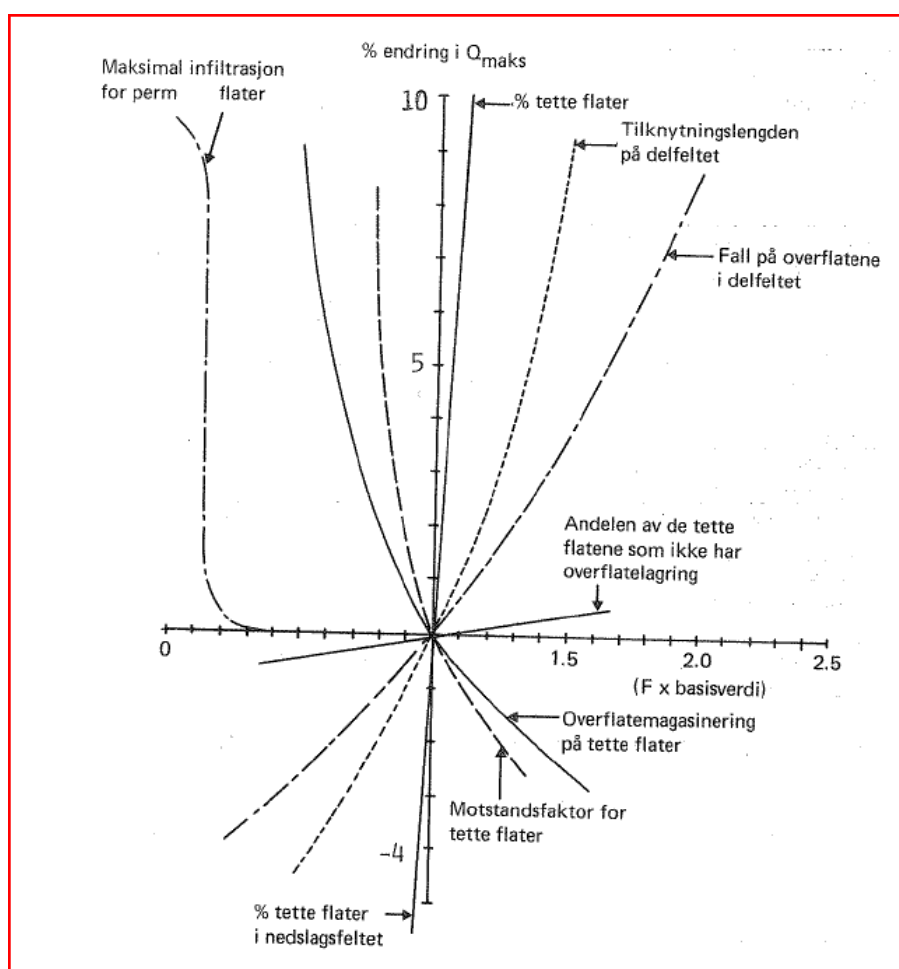
### 7.2.4 Infiltrasjonsdata

Det ble gjort målinger ved at en infiltrasjonskum ble gravd ned på stedet høsten 2011. Det ble kun utført målinger i løpet av en periode på en måned. Optimalt sett burde målinger blitt tatt i løpet av et helt år. Det er også grunn til å tro at målingene gir et noe feil bilde på hvor mye vann som kan infiltreres da prosessen var annerledes enn hva som vil bli reelt. Denne kummen ble hele tiden fylt på med vann, slik at magasinet rundt kummen konstant var fullt opp. I realiteten vil denne vannstanden variere en hel del og antageligvis vil infiltrasjonen gjøre det samme. Det er også grunn til å tro at ved ferdig utbygging vil grunnvannstanden endre seg en hel del der, og dermed også infiltrasjonskapasitet.

Men det er viktig å opplyse om at modellen ikke har tatt utgangspunkt i disse målingene. De har kun blitt brukt for å danne et bilde av hva som kan være realistisk å oppnå. De er med på å gi lavere usikkerhet til resultatet vi får ut ifra modellen.

### 7.3 Usikkerhet til modell i SWMM

I forbindelse med etablering av modell i SWMM blir det lagt inn flere parametre som påvirker utfallet til simuleringene. Optimalt sett burde det blitt gjort en sensitivitetsanalyse av disse parametrene, for å få en oppfatning av hvor sensitive hver av dem er. Dette er allerede gjort i forbindelse med andre hydrologiske modeller. Blant annet denne (funnet i undervisningsmaterialet til Institutt for matematiske realfag og teknologi UMB av Oddvar Lindholm):



Figur 41: Sensitiviteten av parametre i forhold til maks avrenning (Forelesningsnotat, Lindholm, 2010)

En sensitivitetsanalyse av parametrene i modellene brukt i denne oppgaven, ville lignet en hel del på denne. Ved noen raske endringer og simuleringer kommer det frem at dette stemmer godt overens med modellene brukt i denne oppgaven.

### 7.3.1 Usikkerhet til parametre brukt i alle modellene

- Manningstall: verdiene som er brukt er hentet ut i fra tabell som baserer seg på reelle målinger. Usikkerheten betraktes som lav, og konsekvensene av endringer i manningstallet er ubetydelig.
- Depression storage: Det er grunn til å tro at overflatene ved ferdig utbygd boligfelt vil for det meste bestå av gressdekke, asfalt og impermeable takdekker. Verdiene brukt er hentet fra tabeller med denne beskrivelsen. Det er antatt at alle impermeable og at alle permeable overflater har samme porelagring, noe som ikke stemmer i realiteten. Det forbinder derfor noe usikkerhet til disse verdiene, og endringer får konsekvenser for resultatet. Men det er god grunn til å tro at tallene er i nærheten av det som er reelt.
- % Zero – Imperv: Det er noe usikkerhet til verdien som er brukt. Men konsekvensen er liten og tilnærmet ubetydelig.
- Infiltration method: Valgt metode og valgte verdier er basert på forslag til verdier i brukermanualen til SWMM og av antakelser gjort av Dimensjon rådgivning AS. Men infiltrasjon generelt har ikke noe påvirkning på resultatene av simuleringene. Kun når det handler om hvor lang tid det tar å tømme en infiltrasjonskum er dette en aktuell usikkerhet. Og da har vi resultatene fra målingen gjort høsten 2011 for å sammenligne med, slik at vi kan bekrefte at resultatet fra modellen kan være realistiske.
- Kummehøyde: Er satt til tre meter på samtlige kummer. I realiteten vil det være noe forskjellig. Men i denne oppgaven vil det ikke gi noen konsekvenser da oppstuvninger i kum ikke vil skje.

I tillegg er det flere andre parametre som kan justeres på. Men disse antas å være ubetydelige for resultatet.

### 7.3.2 Modell 1 (dagens situasjon)

Utfallet av modell 1 gir grunnlaget for modell 2 og 3, og har store konsekvenser på hva resultatet til disse blir. Det er derfor usikkerhetene i denne modellen som er mest avgjørende for det endelige resultat.

Faktorer som har avgjørende betydning for utfallet av modell 1 er: størrelsen på feltet, terrenghelning og andel tette flater. Størrelsen på feltet og helningen er godt målbart og usikkerheten er lav. Andel tette flater er antatt og vurdert ut i fra satellittbilder og visuell befarings av området. Verdiene brukt kan ikke være langt unna det som er realiteten, men konsekvensen av å endre dem er ekstremt avgjørende. Kun ved å endre prosentandelen for tette flater med en, blir utslaget betydelig. Det er disse verdiene som gir det største bidraget til den totale usikkerheten til resultatet i oppgaven.



### 7.3.3 Modell 2 (med store felles fordrøyningsmagasin)

Usikkerheten som forbinder seg i modell 2 er i all hovedsak andel tette flater. Store deler av området er ikke detaljregulert og det er derfor ikke mulig å vite sikkert hvordan områdene vil bli seende ut etter ferdig bebyggelse. Det er ellers noe usikkerhet i forbindelse med ledningstrase når det gjelder plassering, høyder på kummer og fall på ledningene. Men dette er usikkerheter som får liten påvirkning på ferdig resultat.

### 7.3.4 Modell 3 (med infiltrasjon på hver eiendom)

Modellen er svært detaljert og dermed blir det også flere usikkerhetsfaktorer involvert. Igjen er det valgt andel tette flater som har størst betydning når det gjelder usikkerheten, fordi den har svært høy sensitivitet. Det forbindes også noe usikkerhet til størrelsen på eiendommene, gjennomsnittlige størrelser er brukt for å forenkle modellen. Selv om mange av eiendommene har fått feil størrelse, er resultatet å anse som riktig, da det er den totale størrelsen og antall infiltrasjonskummer som er betydelige i forhold til sluttresultatet. Også her avviker kotehøyder og plassering av ledningsnett fra det som vil bli realiteten.

Når det gjelder antagelsene i forbindelse med infiltrasjonskummer er disse svært usikre. Arbeidet med å utforme en slik kum, tilpasset formålet ved eiendommene ved Aase Gård var ikke ferdig når denne masteroppgaven ble skrevet. I skrivende stund er Skjeveland Cementstøperi i ferd med å tegne ferdig et forslag til løsning. Sannsynligvis blir ferdig resultat ikke så langt i fra slik som antatt i oppgaven. Det er tatt utgangspunkt i at magasinet rundt kummen vil kunne ta opp to kubikkmeter med vann før det renner i utløp. Dette viser seg å være et for lite tall, da realiteten sannsynligvis kommer til å være det dobbelte. Det er klart at dette er av stor betydning på simuleringene som blir gjort. Faktisk vil det føre til null utslipp av overvann ved eiendommer med infiltrasjonskummer, med den nedbøren som er brukt. Med andre ord er felles fordrøyningsmagasin i modell 3 overdimensjonert. Men som følge av usikkerheter velges det å beholde størrelsen.

Ut i fra modell 3 hentes et resultat på hvor lang tid det vil ta og infiltrere vannet fra magasinet rundt kummen. Her forbindes stor usikkerhet, da infiltrasjonen er beregnet ut i fra usikre verdier lagt inn i SWMM. Men når det sammenlignes med målingene som ble utført ved Aase Gård høsten 2011 gir det en indikasjon på at resultatet fra SWMM i hvert fall ikke er urealistisk. Svaret på dette får en ikke før alt er arbeidet er ferdig og ordentlige målinger blir brukt.

### 7.3.5 Modell 4 (ny ledningstrase)

Usikkerheten i denne modellen er forbundet med andel tette flater og fall og lengde på ledningsnett. Informasjonen er hentet fra avlesning av *norgeskart.no*, noe som kan gi unøyaktigheter. Men i helhet er det liten usikkerhet i denne modellen.

## 7.4 Usikkerhet til kostnadsberegninger

Kostnadsberegninger er i all hovedsak basert på informasjon fått fra Dimensjon Rådgivning AS. De har hentet tall fra tidligere prosjekter og ut i fra egne erfaringer. Det skal være sagt at arbeidet med å kostnadsberegne alternativene har vært nedprioritert i forhold til å få til riktige modelleringer i SWMM. Selv om det er forbundet usikkerhet i kostnadsberegningene, gir de et godt grunnlag for å vurdere de ulike alternativene opp mot hverandre.

## 7.5 Håndtering av usikkerheten:

På grunn av mange usikkerheter i oppgaven legges det til en buffer som vil ta høyde for et "worst case scenario", et verste tilfelle. Når det gjelder ledningsnett til overvannet inkludert fordrøyningsmagasin, kan konsekvensene være store om dette er underdimensjonert. Det skal være lagt til rette for trygge flomveier, for å begrense skadene til en eventuell flom. Men tidligere erfaringer viser likevel at flom kan føre med seg store ødeleggelser. Det er derfor vanlig å legge inn en sikkerhetsfaktor som gjør at en kan være trygg på prosjekteringen. Det ble tidligere nevnt at det ikke direkte blir tatt høyde for fremtidige klimaendringer, men ved å legge til en buffer, blir også dette tatt hensyn til.

Ved å bruke en sikkerhetsfaktor på 10 %, tar en unna det som er av usikkerheter. Dette er en vanlig måte å håndtere usikkerhet i forbindelse med prosjekteringsarbeid. I denne oppgaven velges det likevel å ikke ta hensyn til dette, da det uansett ikke vil påvirke evalueringen og konklusjon. Målet for oppgaven er å komme frem til det beste alternativet, da vil et påslag gi små og ubetydelige endringer i forskjeller mellom dem.

## Kapittel 8 - Kost-nytte evaluering:

### **8.1 Evalueringskriterier:**

I oppgaven er det blitt utformet tre ulike alternativer. Hver av disse skal evalueres i henhold til fire hovedkriterier:

#### Risiko:

I hvilken grad løsningen er forbundet med risiko. Sannsynligheten av at komplikasjoner oppstår multiplisert med konsekvensen av at dette skjer. I hovedsak er det oversvømmelse og flom det er snakk om. Men levetid blir også tatt i betraktning.

#### Økonomi:

Kostnader i forbindelse med utførelse av de forskjellige alternativene.

#### Vedlikehold:

I hvilken grad det stilles krav til vedlikehold for løsningen. Hvem har ansvar for vedlikeholdet og hva blir konsekvensen av dårlig/ingen vedlikehold.

#### Regelverk:

Det er i teoridelen i denne oppgaven nevnt flere lover og regler som skal følges i forbindelse med etablering av nytt overvannsnett. Det blir her vurdert i hvilken grad løsningen følger regelverket.



## 8.2 Oversikt

Kriterier	Modell 2	Modell 3	Modell 4
<b>Risiko</b>	Utslippsmengden av overvann er begrenset, det blir satt av et strupet utløp fra fordrøyningsmagasinet. Det er ikke under noen omstendighet mulighet for å slippe ut mer enn det som er fastsatt. Ved nedbørsmengder mer enn magasinet er beregnet for vil området rundt og over magasinet oversvømmes. Det vil også bli oversvømmelse i private hager, på veiene og ved friarealer. Men ved å ha fokus på å etablere nødflomveier vil skadene bli begrenset. Levetiden er lang og reparasjoner og eventuell fornyelse av magasinet er lettvinnt.	Samme argumenter som i modell 2. I tillegg til dette, forbindes risiko ved bruk av infiltrasjonskummer. Løsningen er ny og det finnes i liten grad tidligere erfaringer. Det er fare for tiltetting av utløp som fort får uønskede følger. Det kan tenkes at magasinet rundt kummen vil minske sin kapasitet over lengre tid, på grunn av tiltetting av slam. Oversvømmelser vil da skje hyppigere.	Liten risiko forbundet med denne løsningen. Ledningsdimensjonen setter begrensningene. Men det er viktig å få frem at det også er fare for oversvømmelse i Storåna. Og denne løsningen forsterker denne faren.
<b>Økonomi</b>	Helt klart det billigste alternativet. Kostnadene utover det som blir likt i alle tre alternativer, er beregnet til å være 1,8 mill kr.	2,2 mill kr for område A. Det er grunn til å anta at total kostnad for alle delfeltene vil bli $2,2 \times 2,5 = 5,5$ mill kr (2,5 ganger større areal). Altså en hel del høyere kostnad sett i forhold til modell 2.	Beregnet kostnad er 8,5 mill. Den dyreste og mest kompliserte løsningen.
<b>Vedlikehold</b>	For utenom vanlig vedlikehold av ledningsnettet med tømning av sandfang osv, er det nødvendig med oppfølging og kontroll av fordrøyningsmagasinet. Ved å bruke store betongrør som løsning, og sikre tilgang for inspeksjon og slamspyling, er dette en god løsning.	Denne løsningen krever en hel del vedlikehold. Både kommunalt vedlikehold av fordrøyningsmagasin som i modell 2, og privat vedlikehold av infiltrasjonskummer. Dette kan bli et problem da det ikke er vanlig vedlikehold for en boligeier. Men vedlikeholdsarbeidet skal være enkelt og lettvinnt for enhver eier.	Ingen vedlikehold utover vanlig kommunal vedlikehold av et overvannsnett.
<b>Regelverk</b>	Følger regelverket til dels. Vannressursloven nevner at nedbør skal kunne få sitt avløp gjennom infiltrasjon i grunnen. Byggteknisk forskrift sier at overvann skal i størst mulig grad infiltreres lokalt. Ved bruk av denne løsningen skjer det minimalt med lokal infiltrasjon. Kun nedbør som treffer impermeable overflater vil infiltreres til grunn.	Følger regelverket i detalj. Lokal overvannshåndtering blir maksimalt utnyttet. Eksisterende ledningsnett blir belastet i minst mulig grad.	Bryter regelverket ved flere punkt. Ingen lokal håndtering av overvann, ingen infiltrasjon.

Tabell 12: Evalueringsoversikt

### 8.3 Grafisk evaluering

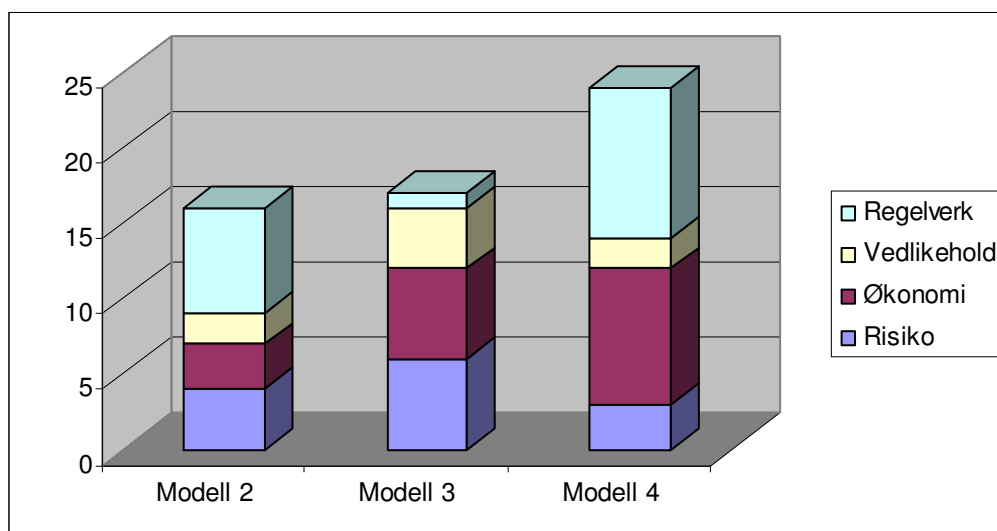
Evalueringen kan fremvises grafisk, ved å verdisette oppnåelse av kriteriene til hver modell. Grad av tilfredsstillelse av kriteriene verdisettes mellom 1 og 10. Der 1 er best mulig oppnåelse av kriteriet og 10 er dårligst.

Det er valgt å bruke disse verdiene:

	Modell 2	Modell 3	Modell 4
Risiko	4	6	3
Økonomi	3	6	9
Vedlikehold	2	4	2
Regelverk	7	1	10

Tabell 13: Valgte verdier

Som gir denne grafiske fremstillingen:



Figur 42: Grafisk fremstilling av evaluering

Det er modell 2 og 3 som kommer best ut ved bruk av denne fremstillingen. Det som taler for modell 2 er lav risiko, lave kostnader og lite vedlikehold. Modell 3 scorer bra på oppnåelse av regelverk, men har høy risiko. Modell 4 gir for dårlig resultat ved økonomi og regelverk.

## Kapittel 9 - Konklusjon

Oppgaven handler om å komme frem til den beste løsningen. Ut i fra evalueringer gjort er det en løsning som skiller seg ut negativt. Det er løsningen med å legge ny overvannsledning ned til nærmeste resipient. Dette alternativet er den dyreste løsningen, og vil føre til store unødvendige komplikasjoner for trafikkanter og nabolag langs ledningstraseen. I tillegg bryter denne løsningen med regelverket, som tilstreber mest mulig lokal håndtering av overvannet. I tillegg vil løsningen føre til mer belastning av Storåna i Sandnes, som allerede er overbelastet i nedbørsrike perioder. Sandnes kommune ville på dette grunnlaget aldri godkjent denne løsningen. Dette alternativet ble kun tatt med for å illustrere viktigheten av lokal overvannshåndtering i utbygginger av byer og tettsteder. Som oftest er både ledningsnett og resipient allerede overbelastet, og arbeid med legging av nytt overvannsnett er ofte dyrt og komplisert.

Det er da to alternativer igjen. Og ut i fra vurderinger gjort i denne oppgaven er det ikke en av disse løsningene som skiller seg klart ut. Løsningen basert på modell 2, med store felles fordrøyningsmagasin, er billigst, den forbinder noe mindre flomrisiko og det kreves kun lett kommunalt vedlikehold. Løsningen basert på modell 3, med infiltrasjonskummer på hver eiendom, er det klart beste alternativet med hensyn på regelverket. Men løsningen er relativt ny og det finnes derfor lite erfaringer, som igjen fører til høyere risiko når det gjelder levetid og grad av vedlikehold.

Sannsynligvis kunne begge løsninger blitt godtatt av kommunen, dersom de var godt nok dokumentert. Men Sandnes kommune og kommune-Norge generelt begynner å få mer fokus på lokal overvannshåndtering, og det blir stilt strengere krav til utbygger. Ut i fra dette ville nok kommunen likevel ønsket løsningen basert på infiltrasjon, og kanskje også krevd at denne løsningen ble valgt.

Konklusjonen blir å velge løsning basert på modell 3, som både inneholder lokal infiltrasjon og felles fordrøying. Løsningen følger regelverket "til punkt og prikke". Denne løsningen kan ses på som et pilotprosjekt, der erfaringer kan innhentes. Løsningen er dyr, men det er en kostnad som byggherren må ta for å få videreutviklet sitt prosjekt, Aase Gård. Det er forbundet en del usikkerhet når det gjelder levetid og vedlikehold. Men med god oppfølgelse, klare retningslinjer og gode prosedyrer vil dette gå seg til. Det er også noe risiko når det gjelder kapasiteten til ledningsnett og fordrøyningsbassenget. Ved å overdimensjonere noe, tar en også høyde for dette. Og totalt sett kan også denne løsningen defineres som sikker.

# Kilder

## Bøker og tidsskrifter

- 1) Åsmund Bøyum og Sveinn T. Thorolfsson, 2001: *VA-teknikk del 2, Avløp*, Tapir akademisk forlag.
- 2) Rolf Meek, 1981: *VA - beregninger for utvendige systemer*, Universitetsforlaget.
- 3) Øystein Vollen, 1992: *Kommunalteknikk 2 Vann og Avløp*, Yrkesopplæring ans.
- 4) Svein Håkon Høyvik, 2012, *Norsk Kommunaltekniske Forening sitt tidsskrift*
- 5) EPA, United States Environmental Protection Agency, *Storm water management modell user's manual*, Vesion 5.0, 2010
- 6) Ivar Tangerud Haga, *Analyse av klimaendringers virkninger på overvannsnettet i Bogafjellet, Sandnes kommune – en casestudie*, Masteroppgave ved UMB

## Rapporter/forelesninger/veiledere:

- 1) *Forelesningsnotat, Lindolm, 2010*  
Forelesningsnotat - Hydrological Modelling (hentet fra forelesninger i faget Hydrological Modelling THT300 fra Univeritet for Miljø og Biovitenskap)  
[https://www.tekna.no/ikbViewer/Content/812800/01\\_Lindholm,%20Oddvar.pdf](https://www.tekna.no/ikbViewer/Content/812800/01_Lindholm,%20Oddvar.pdf)
- 2) *Overvannshåndtering, Oslo kommune, 2011*  
En veileder for utbygger, vann og avløpsetaten Oslo kommune, 2011  
[http://www.vann-og-avlopsetaten.oslo.kommune.no/getfile.php/vann-%20og%20avl%C3%B8psetaten%20\(VAV\)/Internett%20\(VAV\)/Bilder/Overvann/Veiledning%20om%20overvannsh%C3%A5ndtering%20med%20vedlegg\\_endelig%20version.pdf](http://www.vann-og-avlopsetaten.oslo.kommune.no/getfile.php/vann-%20og%20avl%C3%B8psetaten%20(VAV)/Internett%20(VAV)/Bilder/Overvann/Veiledning%20om%20overvannsh%C3%A5ndtering%20med%20vedlegg_endelig%20version.pdf)
- 3) *Bruk av nedbørsdata, Meteorologisk Institutt og Cowi, 2010*  
Sluttrapport fra pilotprosjekt  
[http://www.cowi.no/menu/Prosjekter/vannogmiljo/naturogvannressurs/Documents/Rapport\\_lav.pdf](http://www.cowi.no/menu/Prosjekter/vannogmiljo/naturogvannressurs/Documents/Rapport_lav.pdf)
- 4) *Retningslinjer for overvannshåndtering i Bergen kommune, Vann og avløpsetaten Bergen kommune, 2005*  
<http://www.regjeringen.no/upload/MD/Kampanje/klimatilpasning/Bilder/Kommunecase/Hordaland/Retningslinjer.pdf>
- 5) *Overvannshåndtering Utfordring og muligheter, Trond Sekse, Norconsult*  
[http://www.driftsassistansen.org/admin/rapport\\_filer/Aarsm06\\_10\\_Overv\\_utfordringer\\_trond\\_sekse.pdf](http://www.driftsassistansen.org/admin/rapport_filer/Aarsm06_10_Overv_utfordringer_trond_sekse.pdf)

- 6) *Byøkologisk program 2011-2026, Oslo kommune, 2011*  
[http://www.miljo.oslo.kommune.no/getfile.php/Milj%C3%B8portalen%20%28PMJ%29/Internett%20%28PMJ%29/Dokumenter/By%C3%B8kologisk%20program/Trykksak\\_By%C3%B8kologisk%20Program%202011-2026%20NO.pdf](http://www.miljo.oslo.kommune.no/getfile.php/Milj%C3%B8portalen%20%28PMJ%29/Internett%20%28PMJ%29/Dokumenter/By%C3%B8kologisk%20program/Trykksak_By%C3%B8kologisk%20Program%202011-2026%20NO.pdf)
- 7) *Vann i by, utfordringer og muligheter for veg og VA, Sveinn T. Thorolfsson, 2002*  
[http://www.bygg.ntnu.no/pbl/bm4\\_2003/faginfo/vann\\_i\\_by.pdf](http://www.bygg.ntnu.no/pbl/bm4_2003/faginfo/vann_i_by.pdf)

Internett:

- 1) [www.svenskvatten.se](http://www.svenskvatten.se)
- 2) [www.sandnes.kommune.no](http://www.sandnes.kommune.no)
- 3) [www.lovdata.no](http://www.lovdata.no)
- 4) [www.skjeveland.no](http://www.skjeveland.no)
- 5) [www.norgeskart.no](http://www.norgeskart.no)
- 6) [www.finn.no/kart](http://www.finn.no/kart)
- 7) [www.selvaagbolig.no](http://www.selvaagbolig.no)
- 8) [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- 9) [www.eklima.no](http://www.eklima.no)
- 10) [www.byggforsk.no](http://www.byggforsk.no)
- 11) [www.norvar.no](http://www.norvar.no)

Personer:

- Per Helge Ollestad, Dimensjon Rådgivning
- Svend Svendsen, Dimensjon Rådgivning
- Kirsten Vike, Sandnes kommune