



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2018 30 stp.**

Fakultet for realfag og teknologi  
Hovedveileder: Vegard Nilsen

# **Analyse av overvannsnett i Holtandalen i Horten kommune ved bruk av simuleringsprogrammet SWMM**

Analysis of the stormwater network in Holtandalen  
in Horten using the simulation program SWMM

**Khalid Zaidan**

Vann- og miljøteknikk  
Fakultet for realfag og teknologi



## Forord

Denne masteroppgaven er skrevet i våren 2018 og er en avslutning på min 5-årig masterstudiet innenfor vann- og miljøteknikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) i Ås. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Horten kommune og tilsvarer et semesterarbeid på 30 studiepoeng.

Oppgaven tar for seg problemstilling knyttet til overvann i Holtandalen i Horten. Ved bruk av dataprogrammet SWMM skal jeg analysere ulike flomsituasjoner og se hvordan disse situasjonene påvirker eksisterende ledningsnett i området. Oppgaven tar for seg flere interessante problemstillinger knyttet til overvannshåndtering med hensyn til framtidens klimaendringer. Dette er også et tema som har interessert meg gjennom hele studiet. Rapporten tar for seg også regelverket og teori rundt håndtering av overvann.

Jeg vil takke min veileder Vegard Nilsen for engasjert veiledning og tilstedeværelse gjennom hele perioden, hvor han stilte opp både på dagstid og kveldstid for å hjelpe meg med analysemodellen og oppgaven generelt. Stor takk til min biveileder professor Oddvar Lindholm. Takk til Jon Arne Engan for god råd til analysemodellen og faglige diskusjoner. Jeg ønsker også å takke min kontaktperson i Horten kommune Knut M. Hovden for nyttige informasjon til oppgaven.

Avslutningsvis vil jeg takke min kone Klaudia som har motivert meg til å stå på i hele utdanningsperioden. Takk til min mor Atra som har støttet meg og stilte opp i oppgave perioden.

---

Khalid Zaidan

Ås, 13.05.2018



## Sammendrag

Konvensjonelle overvannssystemer består stort sett av sluk og rørsystem. Målet med dette systemet er å lede overvannet raskt gjennom rørsystemet fra tettsteder til nærmeste resipient. Med hensyn til vannmengder fungerte denne løsningen bra før, da et slikt system var dimensjonert etter tidligere standarder og nedbørsmengder. Erfaringer viser at disse systemene fungerer dårlig for dagens nedbørsmengder og fortettede byer. Konsekvensen av dette er at ledningsnett blir overbelastet av store mengder overvann, noe som kan medføre kjelleroversvømmelser.

Denne oppgaven er skrevet etter et forslag fra Horten kommune som ønsker å kartlegge kapasiteten til overvannsnett i Holtandalen. Området har vært spesielt utsatt, da store nedbørsmengder har skapt kjelleroversvømmelser i private boliger. En kraftig nedbørhendelse i september 2015 førte til 135 registrerte kjelleroversvømmelser i Holtandalen. Overvannsnett i området har ikke tilstrekkelig kapasitet til å håndtere slike overvannsmengder. For å redusere risikoen for oversvømmelser i området kan LOD (lokal håndtering av overvann) være nødvendig. LOD-tiltak reduserer belastningen på ledningsnett og er også med å dempe flomtoppen.

For å kartlegge kapasiteten til overvannsnett, ble det laget en overvannsmodell ved bruk av programmet SWMM. Modellen ble bygget for Holtandalen med utgangspunkt i en eksport fra Gemini VA. Modellparametere ble estimert delvis fra litteraturen og delvis (særlig delfeltens helning og andel tette flater) basert på informasjon om lokale forhold. Nedbørdata fra hendelsen i 2015 som er brukt i simuleringen er hentet ut fra to målestasjoner; Nykirke og Horten II målestasjon. I tillegg ble det kjørt simuleringer med konstruerte hyetogrammer for 25- og 200-års gjentaksintervaller, samt et hyetogram med 24 mm nedbør på 60 min som representerer den mest intense timen fra hendelsen i september 2015.

Gjennom modellen ble det sett på oppstuvning i kummene sammenlignet med innmålte kjellernivåer i området. Det ble også sett på kapasiteten til ledninger og hvordan

ledningsnettets ble påvirket under de ulike nedbørsituasjonene. En enkel følsomhetsanalyse for parameterne andel tette flater og infiltrasjonskapasitet ble gjennomført. Primærmodellen ga mindre oversvømmelser enn observert i 2015, men justering av andel tette flater og/eller infiltrasjonskapasiteten gav resultater som lignet mer på de observerte. Gjennom simuleringen ble det funnet en flaskehals i rundkjøringen i krysset mellom Holtanveien og Grønligata. For videre arbeid med modellen anbefales vannføringsmålinger for å gi grunnlag for kalibrering.

## Abstract

Conventional stormwater systems consist largely of drains and piping systems. The aim of this system is to lead storm water quickly through the pipeline system from towns to the nearest recipient. This solution worked well before, as such a system was designed according to previous standards and rainfall patterns. Experience has shown that these systems work less well for today's rainfall patterns and denser cities. The consequence of this is that existing pipe networks are overloaded by large amounts of storm water, which can lead to flooding of basements.

This thesis is written based on a proposal from Horten municipality that wishes to investigate the capacity of the stormwater network in Holtandalen. The area has been particularly exposed, as large rainfall has created basement flooding in private homes. A heavy precipitation event in September 2015 caused 135 flooded basements in the area. The stormwater network does not have sufficient capacity to handle such stormwater quantities. To reduce the risk of floods in the area, LID (low impact development) measures may be necessary. The LID measures reduce the load on the mains and will also attenuate the flood peaks.

In order to investigate the capacity of the stormwater network, a stormwater model was made using the SWMM software. The model was built for Holtandalen based on exported data from Gemini VA, the municipality's pipe database. Model parameters were estimated partly from the literature and partly based on information on local conditions (in particular subcatchment slope and percentage impervious area). Precipitation data from the 2015 event used in the simulation was derived from two measurement stations; Nykirke and Horten II. In addition, simulations using constructed hyetograms were performed for 25- and 200-year return periods, as well as a hyetogram containing 24 mm of precipitation in 60 minutes, representing the most intense hour from September 2015.

Using the model, simulated surcharging in manholes were compared to measurements of basement levels in the area. The capacity of the pipe network was analyzed under

different precipitation situations. A simple sensitivity analysis for the parameters percentage impervious area and infiltration capacity was performed. The primary model produced less basement flooding than observed in 2015, but adjustment of the impervious area and/or the infiltration capacity gave results similar to those observed. Through the simulation a bottleneck was found in the roundabout at the intersection of Holtanveien and Grønligata. For further work with the model, water flow measurements are recommended to facilitate a proper calibration of model.



## Innholdsfortegnelse

Forord.....	II
Sammendrag .....	IV
Abstract .....	VI
Innholdsfortegnelse.....	VIII
Figurliste .....	X
Tabelliste.....	XIII
Liste over forkortelser.....	XIII
1 Innledning .....	1
1.1 Horten kommune.....	2
1.2 Mål for oppgaven .....	2
1.3 Problemstilling .....	3
1.4 Oppgavens struktur .....	3
2 Bakgrunn.....	4
2.1 Hydrologi og klima .....	4
2.1.1 Urbanhydrologi og nedbør.....	5
2.1.2 Klima og klimaendringer .....	13
2.2 Overvann og flomproblematikk .....	19
2.2.1 Overvannsflommer og kommuneutfordringer .....	22
2.2.2 Skader som forårsakes av overvann.....	24
2.2.3 LOD og Treleddstrategien .....	30
2.2.4 Regelverk for vann og avløp.....	39
2.2.5 Matematiske modeller og dimensjonering.....	42
2.2.6 Modelloppbygging i SWMM.....	46
3 Studieområde og metoder .....	51
3.1 Områdebeskrivelse og avgrensninger .....	51
3.2 Ledningskartverk og modelloppbygging .....	53
3.3 Overflatedata .....	57
3.4 Nedbørsinput .....	58
4 Resultat, analyse og diskusjon .....	65

4.1	Simuleringer for eksisterende situasjon med nedbørhendelsen fra september 2015.	65
4.1.1	Nedbørdata fra Nykirke målestasjon: .....	65
4.1.2	Nedbørdata fra Horten II målestasjon:.....	70
4.2	Simuleringer med hyetogrammer fra Tønsberg for 25- og 200-års gjentaksintervall .....	73
4.2.1	Hyetogram for 25-års gjentaksintervall .....	73
4.2.2	Hyetogram for 200 års gjentaksintervall.....	76
4.2.3	Nedbørdata med 24 mm på 60 min:.....	79
4.3	Overordnet diskusjon og forslag til videre arbeid.....	83
5	Konklusjon.....	85
6	Referanser .....	86
7	Vedlegg A: Kart over vannivå ved ulike parametervalg .....	90

## Figurliste

Figur 2-1: Vannkretsløpet og hydrologiske prosesser (Vannetskretsløp, 2018).....	5
Figur 2-2: Prinsippet for konstruksjon av et nedbørhyetogram (Lindholm O. , Overvann, 2016). .....	10
Figur 2-3: IVF-kurven fra Tønsberg-kilen (Nedbørintensitet, 2018). .....	11
Figur 2-4: Illustrasjon av nedbørfelt (Wikipedia, 2018). .....	12
Figur 2-5: Klimascenarioer som følge av global oppvarming fram mot år 2100 .....	14
Figur 2-6: Endring i avrenning i årstidene fra 1980-99 til 2030-49 (Sekse, 2012). .....	17
Figur 2-7: Effekten på avrenningsintensitet på ulike overflater (Urbanhydrologi, 2017). .....	20
Figur 2-8: Erstatning av ulike typer skader (Skaaraas, 2015). .....	26
Figur 2-9: Sykehuset på Sørlandet under flommen november 2014 .....	27
Figur 2-10: Skade på vei som følge av erosjon.....	28
Figur 2-11: Bekken i Holtandalen (Horten kommune). .....	31
Figur 2-12: Illustrasjon av treleddstrategi (Lindholm O. , Overvann, 2016). .....	33
Figur 2-13: Frakobling av takvann (arkitektur.no). .....	35
Figur 2-14: Illustrasjon over fordrøyningsbasseng (Lindholm O. , Overvann, 2016). .....	36
Figur 2-15: Regnbed i bolig område (Regnbed, 2013). .....	37
Figur 2-16: Grønne tak i tettsted (Grønn overvannshåndtering, 2017). .....	38
Figur 2-17: Permeable dekk på parkeringsplass (Aaltvedt, 2018). .....	39
Figur 2-18: Fysiske objekter som brukes til å modellere et overvannssystem i SWMM. .....	45
Figur 2-19: Viktige parametere for delfelt (utklipp fra SWMM). .....	47
Figur 2-20: Grafisk framstilling av Hortons infiltrasjonslikning.....	48
Figur 2-21: Lednings egenskapen (utklipp fra SWMM). .....	50
Figur 3-1: Viser de laveste koter i Holtandalen (Horten kommune). .....	52
Figur 3-2: Utsatte boligene i Holtandalen området (Horten kommune). .....	52
Figur 3-3: Kotehøyde for kjellerne i Holtandalen (Horten kommune). .....	53
Figur 3-4: Eksport innstillinger fra Gemini til SWMM. .....	54
Figur 3-5: Fallretning og helningsprosent på veiene i Holtandalen (Horten kommune). ..	55
Figur 3-6: Overvannsnett i Holtandalen.....	56
Figur 3-7: Infiltrasjonsevne i området (Norges Geologiske Undersøkelse NGU-2018). .	58

Figur 3-8: Nykirke og Horten II målestasjoner.....	59
Figur 3-9: Søylene viser nedbør mellom kl 12:00 og 06:00, 1, 2 og 3 september 2015... 60	
Figur 3-10: Søylene viser nedbør mellom kl 08:00 og 12:00, 1, 2 og 3 september 2015. 61	
Figur 3-11: Blokkhyetogram for 25-års gjentaksintervall. ....	61
Figur 3-12: Blokkhyetogram for 200-års gjentaksintervall. ....	62
Figur 3-13: Blokkhyetogram for nedbørdata med 24 mm på 60 min. ....	63
Figur 4-1: Kjellernivåer sammenlignet med vannivået i kummene for nedbør fra Nykirke i det mest utsatt område. ....	66
Figur 4-2: Ledningskapasiteten for nedbør fra Nykirke målestasjon. ....	67
Figur 4-3: Bunnpunktledningen. ....	68
Figur 4-4: Overbelastede ledning.....	68
Figur 4-5: Kum oversvømmelser for nedbør fra Nykirke målestasjon.....	69
Figur 4-6: Kjellernivåer sammenlignet med vannivået i kummene for nedbør fra Horten II .....	70
Figur 4-7: Ledningskapasiteten for nedbør fra Horten II målestasjon.....	71
Figur 4-8: Kum oversvømmelser for nedbør fra Horten II målestasjon. ....	72
Figur 4-9: Kjellernivåer sammenlignet med vannivået i kummene for 25-års gjentaksintervall. ....	73
Figur 4-10: Kapasitetskart for ledningsnett for 25 års gjentaksintervall. ....	74
Figur 4-11: Oversvømmelser i kum for 25 års gjentaksintervall. ....	75
Figur 4-12: Kjellernivåer sammenlignet med vannivået i kummene for nedbør med 200 års gjentaksintervall. ....	76
Figur 4-13: Kapasitetskart for ledningsnett for 200 års gjentaksintervall. ....	77
Figur 4-14: Oversvømmelser i kum ved 200 års gjentaksintervall.....	78
Figur 4-15: Kjellernivåer sammenlignet med vannivået i kummene for nedbør med 24 mm på 60 min. ....	79
Figur 4-16: Kapasitetskart for ledningsnett for nedbør med 24 mm på 60 min.....	80
Figur 4-17: Oversvømmelser i kum for nedbør med 24 mm på 60 min. ....	81
Figur 7-1: Kart over vannivå ved infiltrasjonsverdi (30-5) og 30% andel tettestflater. ....	90
Figur 7-2: Kart over vannivå ved infiltrasjonsverdi (30-5) og 35% andel tettestflater. ....	90

Figur 7-3: Kart over vannivå ved infiltrasjonsverdi (30-5) og 40% andel tettestflater. ....	91
Figur 7-4: Kart over vannivå ved infiltrasjonsverdi (50-10) og 30% andel tettestflater. ....	91
Figur 7-5: Kart over vannivå ved infiltrasjonsverdi (50-10) og 35% andel tettestflater. ....	92
Figur 7-6: Kart over vannivå ved infiltrasjonsverdi (50-10) og 40% andel tettestflater. ....	92
Figur 7-7: Kart over vannivå ved infiltrasjonsverdi (75-20) og 30% andel tettestflater. ....	93
Figur 7-8: Kart over vannivå ved infiltrasjonsverdi (75-20) og 35% andel tettestflater. ....	93
Figur 7-9: Kart over vannivå ved infiltrasjonsverdi (75-20) og 40% andel tettestflater. ....	94

## Tabelliste

Tabell 2-1: Utdrag fra IVF-kurven for Tønsberg-Kilen. Måleperiode for stasjonen: 01-01-2000 til 28-03-2018 (Nedbørintensitet, 2018). .....	9
Tabell 2-2: Viser øvre og nedre verdier for havnivåstigning og stormflo (Sekse, 2012). 18	
Tabell 2-3: Avrenningskoeffisienter for aktuelle områder (Lindholm O. , 2015). .....	21
Tabell 2-4: Erstatning av overvannskader mellom 2008 og 2014 (Skaaraas, Overvann i byer og tettsteder, som problem og ressurs, 2015) .....	25
Tabell 3-1: Parametere valgt til modellen.....	56
Tabell 3-2: Andel tetteflater i området.....	57
Tabell 3-3: Nedbør, avrenning og infiltrasjonsmengden for Nykirke. ....	59
Tabell 3-4: Nedbør, avrenning og infiltrasjonsmengden for Horten II.....	60
Tabell 3-5: Nedbør, avrenning og infiltrasjonsmengden for 25-års gjentakintervell.....	62
Tabell 3-6: Nedbør, avrenning og infiltrasjonsmengden for 200-års gjentakintervell....	63
Tabell 3-7: Nedbør, avrenning og infiltrasjonsmengden for 24 mm på 60 min. ....	64
Tabell 4-1: Antall noder som opplever oversvømmelse ved forskjellig parametere. ....	82

## Liste over forkortelser

**LOD** Lokal overvannsdiskonering

**IVF** Intensitet, varighet, frekvens

**NVE** Norges vassdrags- og energidirektoratet

**DSB** Direktoratet for sosial sikkerhet og beredskap

**RSO** Risiko og sårbarhetsanalyse

**GIS** Geografiske informasjonssystemer

**VASK** Vannskadestatistikken

**KTP** Kommunal tekniske tjenesten

**SWMM** Storm Water Management Modell

**USEPA** United States Environmental Protection Agency

## 1 Innledning

Overvann er en samlebetegnelse på alt vann som renner av på overflater, slik som jordoverflater, tak, vegger og parkeringsplasser.

Med en stadig byvekst og urbanisering som følge av den økende befolkningsveksten, blir grøntarealer i byer asfaltert og videre benyttet til boligutbygging, parkeringsplasser og vegger. Tette flater hindrer den naturlige infiltrasjon i jorden, derfor øker utfordringene knyttet til overvann i byer og tettsteder. Erfaringer viser at det ikke bare en årsak til overvannsutfordringer, men heller en kombinasjon av flere sammensatte faktorer; som økning av tetteflater, kapasiteten på ledningsnett, klima endringer og resulterende temperatur økning og stigning av havnivået. I tillegg til medfølgende effekter, som ekstremvær og intense og hyppige nedbørhendelser.

Tradisjonelt blir vannet ledet gjennom lukkede systemer og bort til resipienten, i noen tilfeller til renseanlegg før det slippes ut. Økningen av overvannsmengden overbelaster ledningssystemet og kan forårsake oversvømmelser, som gir skade på bebyggelser. I tillegg kan overvannet gi skade på helse og miljø, hvis vannet ikke blir håndtert på forsvarlig måte.

For å kunne lage en god og tilfredsstillende overvannsløsning, er det viktig å ha god informasjon om overvannet, her er det viktig å ha målinger på nedbørsmengder som genererer avrenningen i område. Kunnskap om urban hydrologi er viktig for å forstå utfordringene knyttet til overvann. I dag har NVE flere målestasjoner fordelt over hele landet, hvor informasjon om nedbør, snøsmelting og avrenning registreres.

Horten kommune har de siste årene hatt tilfeller av oversvømmelser etter kraftige nedbørhendelser. Sommeren 2015 har vært svært kritisk der nedbørsmengden som falt hadde en antatt returperiode på over 200 år. Mange offentlige etater som brannvesen, sivilforsvar og kommunen stilte opp med pumper og andre tilgjengelige tiltak for å hjelpe til i de utsatte steder. Det ble registrert vanninntrenging på 135 adresser i kommunen.

Området Holtandalen var utsatt med store skader og kjeller oversvømmelser. Horten kommune ser på hendelsen som svært kritisk, og saken er høyt prioritert hos den kommunale tekniske tjenesten (KTP). Horten kommune retter fokus mot de økende problemene tilknyttet overvann, og har i de siste årene fokusert på kartlegging av overvannshåndtering.

Temaet for denne oppgaven er basert på problemene med oversvømmelser i området Holtandalen i Horten kommune. Det skal lages en analyse modell for det eksisterende ledningsnett for å undersøke om det vil oppstå kapasitetsproblemer i nettet.

## 1.1 Horten kommune

Horten er en kystby i Vestfold, beliggende mellom Holmestrand i nord og Tønsberg i sør. Kommunen har 27 321 innbyggere (2017), det er forventet en befolkningsvekst i løpet av de kommende ti årene, forventet befolkningsutvikling i 2030 er 29 950 innbyggere (Statistisk sentralbyrå, 2017). Dette må tas i betraktning ved gjennomføring av tiltak på vann og avløpsnett. Økning i befolkningsveksten og urbanisering i Horten kommune i kombinasjon med klimaendringer vil i framtiden kunne skape problemer knyttet til overvann.

Horten kommune benytter kartverket Gemini-vann og avløp som er et system for forvaltning av VA nettet. I Gemini databasen blir alle informasjon om ledninger og bilder av kummer registrert.

## 1.2 Mål for oppgaven

Hovedmålet med oppgaven er å analysere kapasiteten til dagens overvannsnett i Holtandalen området i Horten. Dette skal gjøres ved å benytte nedbørsdata som er hentet ut fra målestasjonene; Nykirke og Horten II. I tillegg ble IVF-kurven basert på 25- og 200-års gjentaksintervall benyttet. Til simulering av ledningsnett benyttes simuleringsverktøy SWMM. Horten kommune hadde på forhånd lastet inn informasjon



om overvannsnett, kummer og koblingspunkter fra Gemini databasen. Det ble lagt inn nedbørsfelter manuelt og koblet inn til ledningsnett i modellen.

### 1.3 Problemstilling

Problemstillingen for oppgaven omfatter:

- Hva er muligheten til å gjenskape de problemene som ble observert i september 2015 ved å modellere overvannsystemet i SWMM?
- Hvordan er hydrauliske kapasiteten til ledningsnett ved ulike nedbørintensiteter, og hvor i nettet vil problemene oppstå?
- Finnes det flaskehals som enkelt kan utbedres?
- Hvilke parametere i modellen som er mest følsomme?

### 1.4 Oppgavens struktur

Oppgaven er inndelt i 5 hovedkapitler. Den starter med en innledning som presenterer oppgaven og problemstilling. Litteraturen vil ta for seg noen aktuelle tema om overvann og overvannshåndtering, noe som gir bedre forståelse for oppgaven. Prosjektområdet blir presentert før metoden gjennomgås. Til slutt blir resultatene for oppgaven presentert. Resultatene blir diskutert og konkludert ut fra oppgavens problemstilling.

## 2 Bakgrunn

### 2.1 Hydrologi og klima

Hydrologi er vitenskapen om vannets kretsløp, den beskriver forekomsten av vannet og forholdet til omgivelsene, begrepet omfatter også hele sirkulasjonssyklus av vannet gjennom ulike prosesser på jorden. Hydrologi er også definert som geofysisk vitenskap om vann på jorden, vannadferd, sirkulasjon og fordeling, samt fysiske egenskaper og reaksjoner i omgivelsene (Vannetskretsløp, 2018). Figur 2-1 illustrerer ulike hydrologiske prosesser i vannsyklusen, og samspillet mellom disse prosessene. Hydrologiske prosessene varierer med årstiden.

Når solstråling treffer jordoverflaten og vannets temperatur forhøyes, vil vanndråpene gå fra væskeform til gassform og vannet vil begynne å fordampe. Fordampingsprosessen forekommer fra overflater og vegetasjon, denne prosessen kalles evapotranspirasjon. Evapotranspirasjon kan beskrives som summen av vannfordamping fra alle overflater. Vanndamp vil stige opp ved hjelp av varm luft. Varm luft har en større evne til å binde vannet enn kald luft. Vannmengden som kan holdes tilbake i luften er avhengig av metningstrykket i luften. Metningstrykket faller inn i takt med temperaturen. Når lufttemperaturen minker vil vanndampen kondensere og danne vanndråper. Vanndråpene kan falle i form av regn eller snø avhengig av årstiden og lufttemperatur. Nedbøren faller på overflaten, en del av vannet vil infiltrere til grunnen og lagres som grunnvann. Overskuddet vil kunne renne som overflatevann.

I sommer, hvor det er som vanlig en tørr årsperiode, vil det være lavvannstand i både overflatemagasiner som elver og innsjøer og i grunnvann. Overflaten vil også være tørr i sommer. Når nedbøren faller etter den tørre perioden, vil det bli begrenset overflate avrenning, fordi en god del av vannet vil fylle porene i den permeable jordoverflaten. Vannet vil infiltrere videre gjennom den umettede sonen for å bli til slutt lageret i grunnen i form av grunnvann. Noen av vannet blir også lageret i den umettede sonen i form av markvann.

I vinteren kommer nedbør i hovedsak i form av snø, snøen blir ofte liggende på overflaten. Is og snø kan sees på som en midlertidig lagring av overflatevann. Overflaten vil være frossen om vinteren, noe som gjør at gjennomtrengeligheten i permeable overflaten og infiltrasjonskapasiteten blir kraftig redusert. I en slik situasjon vil nedbør i form av regn føre til en kraftig overflateavrenning. Kombinasjon av rask avrenning og kraftig nedbør på frosne overflater vil i stor grad føre til flom.



Figur 2-1: Vannkretsløpet og hydrologiske prosesser (Vannetskretsløp, 2018).

### 2.1.1 Urbanhydrologi og nedbør

#### Nedbør

Årlig nedbør varierer fra år til år og fra region til region. Nedbør blir påvirket av flere faktorer som for eksempel; vindforhold og temperatur. gjennomsnittlig årlig nedbør i Norge beregnet til 1486 mm. Av dette er det anslått at 346 mm fordamper, mens resten går til avrenning dvs. 1140 mm (Leiar, 2010).

## Nedbørstypene

Generelt har vi 4 forskjellige typer nedbør. Nedbørstypene er kategorisert etter hvordan nedbør blir dannet.

1. Orografisk nedbør: den typen oppstår når luftstrømmen går mot et fjell. Fjellet presser luftstrømmen oppover. Luften blir adiabatisk avkjølt og kondenserer. Fuktigheten i luften blir omdannet til regn. I områder med relativt kontinuerlig vindretning vil klimaet på vindsiden av fjellet ofte være svært forskjellig fra klima på lesiden av fjellet. På lesiden vil fjellene forårsake orografisk nedbør, mens lesiden ofte ligger i en regnskog med fønvind. Et eksempel på denne effekten finnes i Sør Norge (Nedbør, 2018).
2. Konvektiv nedbør: konvektiv nedbør dannes når luften nær bakken blir sterkt oppvarmet. Dermed blir noen av luften lettere enn luften omkring, den varmluftpakken vil stige opp. Lengere opp blir luften avkjølt. Luften vil ikke lengre kan holde på vanddampen. Fuktigheten i luften kondenserer og man får lokale skydannelser og nedbør. Konvektiv nedbør gir kortvarige og ofte store regnbyger (Konvektiv nedbør, 2018).
3. Frontnedbør, kaldfront: oppstår når en kald luftfront møter en varm luftfront. På kaldfront vil en kald luftstrøm presse seg under en varm luftmasse. Kaldfronten dytter opp den varme luftmassen, noe som fører til en rask nedkjøling av den varme luftmassen og vi får korte og intense regnbyger. For frontnedbør er det varm luft som kommer inn og møter et område med kald luft. Varmluften er lettere og dermed vil den presse seg opp over den kalde fronten. Luften som stiger opp blir sakte avkjølt, resultatet blir en langvarige og lav intensitets nedbør (Frontnedbør, 2018).
4. Konvergensnedbør: er en nedbør som er knyttet til steder. To fuktige luftstrømmer trenges sammen i et lavere luftlag og presser hverandre oppover. Luften blir

avkjølt høyere opp, fuktigheten i luften kondenserer og faller som nedbør (Ødegaard, 2014).

### **Avgjørende kriterier**

Ved dimensjonering av systemer for vann og avløp er nedbørintensitet, varighet, hyppighet og størrelsen på nedbørsfelt er avgjørende kriterier. Regn med høy intensitet og kort varighet vil ofte forårsake store flomproblemer.

- Nedbørintensiteten: er nedbørmengden per tidsenhet (eks. mm/døgn, l/s ha).
- Nedbørsvarigheten: beskriver hvor lenge en nedbør varer.
- Hyppighet: beskriver hvor ofte det regner med en bestemt intensitet innen en viss tidsperiode.
- Arealfordelingen: er hvordan en nedbør fordeler seg innen et gitt område.

### **Vannbalansen**

Vannbalansen beskriver forholdet mellom nedbør, evapotranspirasjon, avrenning og lagring i vannets kretsløp for en gitt tidsperiode.

Vannbalansen er i enklere form kan defineres som (Ødegaard, 2014):

$$N = Q + E + \Delta R$$

**Formel 1: Vannbalansen.**

Hvor:

N = Nedbør

Q = Avrenning

E = Evapotranspirasjon

$\Delta R$  = Endring i vannmagasin

## **Måling av nedbør og IVF-Kurve**

Nedbør i Norge blir målt av det meteorologiske institutt. Vannmengden måles ved beholdere som kan samle opp regnvann. Etter regnfall stopper blir vannstanden i beholderen målt. Nedbørmengden som faller omtales vanligvis i millimeter. Når 1 millimeter nedbør faller på en kvadratmeter areal, vil total mengden nedbør som falt tilsvare 1 liter.

Det finnes to hovedkategorier av nedbørmålere, manuell og automatisk. Manuelle målere kontrolleres 1-4 ganger om dagen. Når det er sjekket, innholdet fra beholderen blir ført til et måleglass som viser den målte vannmengden i millimeter. Hvis den samlede nedbør er i fast form, så må den varmes opp til smeltepunkt for å få riktig målt volum. Den målte verdien sendes videre til Meteorologisk Institutt for registrering.

Den vanligste typen av automatiske nedbørmålere bruker bøtteprinsippet. Nedbør som faller blir samlet opp i en bøtte, hvor vannmengden beregnes ut kontinuerlig av en vekt. Vektøkningen forteller hvor mye nedbør som har falt. Frostvæske brukes om vinteren for å smelte snøen i beholderen. Her er det viktig å tømme bøtta med jevne mellomrom når den er full (Hvordan måles nedbør, 2010).

Nedbørmålere kan gi feilmålinger. Største feilkilden skjer når det dannes turbulent og uregelmessige luftstrømmer rundt nedbørmåleren. Luftstrømmen kan hindre at vandrdåpene treffer måleren. Løsningen for det er å beskytte nedbørmåleren mot vinden ved å sette opp vegger rundt måleren.

Hvis man vil ha detaljerte nedbørsdata, kan man bruke noe som heter pluviograf i stedet for en tradisjonell måler. Pluviograf måleren bruker samme prinsippet som vippekar for å måle nedbør. Pluviograf registrerer den målte nedbørmengden automatisk med detaljert fordeling av nedbør over periode. Pluviograf kan være nødvendige for å analysere overvannsmengden som kan være kritiske for overvannsavrenningen (Ødegaard, 2014).

Måledataene som er registrert fra nedbørmålerne benyttes til fremstilling av IVF-kurver. IVF står for Intensitet, Varighet og Frekvens, og er statistisk sammendrag av tidligere nedbørshendelser. Tabell 2-1 viser et utdrag for IVF-kurven til Tønsberg-Kilen. Returverdi for nedbør er gyldig til 28-03-2018 og er i millimeter (Nedbørintensitet, 2018).

**Tabell 2-1: Utdrag fra IVF-kurven for Tønsberg-Kilen. Måleperiode for stasjonen: 01-01-2000 til 28-03-2018 (Nedbørintensitet, 2018).**

RETURPERIODE (ÅR)	VARIGHET (MINUTTER)									
	1	2	3	5	10	15	20	30	45	60
2	1.7	2.9	3.9	5.6	8.2	10.0	10.8	13.1	15.6	16.9
5	2.1	3.9	5.0	7.1	10.4	12.9	14.0	17.4	20.4	22.1
10	2.4	4.5	5.8	8.1	11.8	14.8	16.2	20.3	23.6	25.6
20	2.7	5.0	6.5	9.0	13.2	16.7	18.2	23.0	26.6	28.8
25	2.8	5.2	6.7	9.3	13.6	17.3	18.9	23.9	27.6	29.9
50	3.1	5.8	7.4	10.2	14.9	19.1	20.9	26.5	30.6	33.1
100	3.4	6.3	8.0	11.2	16.2	20.8	22.9	29.2	33.6	36.3
200	3.6	6.9	8.7	12.1	17.6	22.6	24.9	31.8	36.6	39.5

IVF-kurven kan benyttes for å beregne maksimal vannføring fra utløpet til et nedbørsfelt, det kan gjøres ved bruk av den rasjonelle formelen for beregning av dimensjonerende avrenningsmengden er:

$$Q = C * i * A * kf$$

**Formel 2: Rasjonelle formelen for beregning av avrenningsmengden.**

Hvor:

Q: Dimensjonerende avrenning (l/s)

C: Avrenningskoeffisienten.

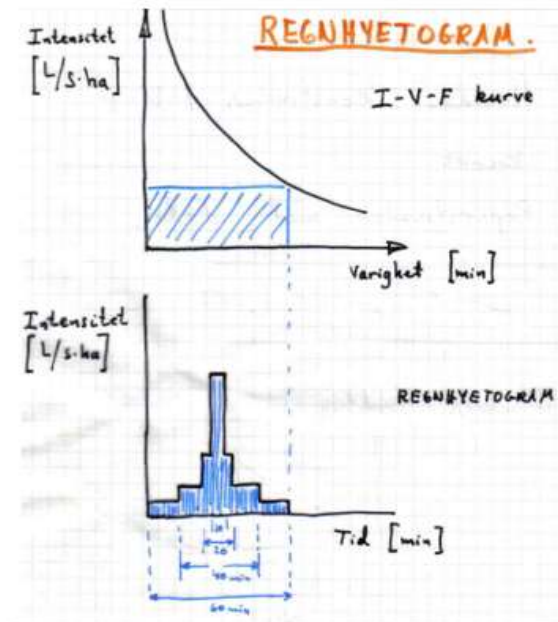
i: Nedbørsintensitet (l/s.ha). Finnes fra IVF-kurver for ulike returperiode og beregnet tilrenningstid  $t_c$ .

A: Areal av nedbørsfeltet (ha)

kf: Klimafaktur (varierer med sted)

## Nedbørhyetogram

For å finne mengden vann som faller i et nedbørsfelt lager man et kasseregnet med regnvarighet lik nedbørsfeltets konsentrasjonstid, kasseregnet har en konstant regnintensitet som kan hentes fra IVF-kurven. Figur 2-2 viser prinsippet for konstruksjon av nedbørhyetogram.

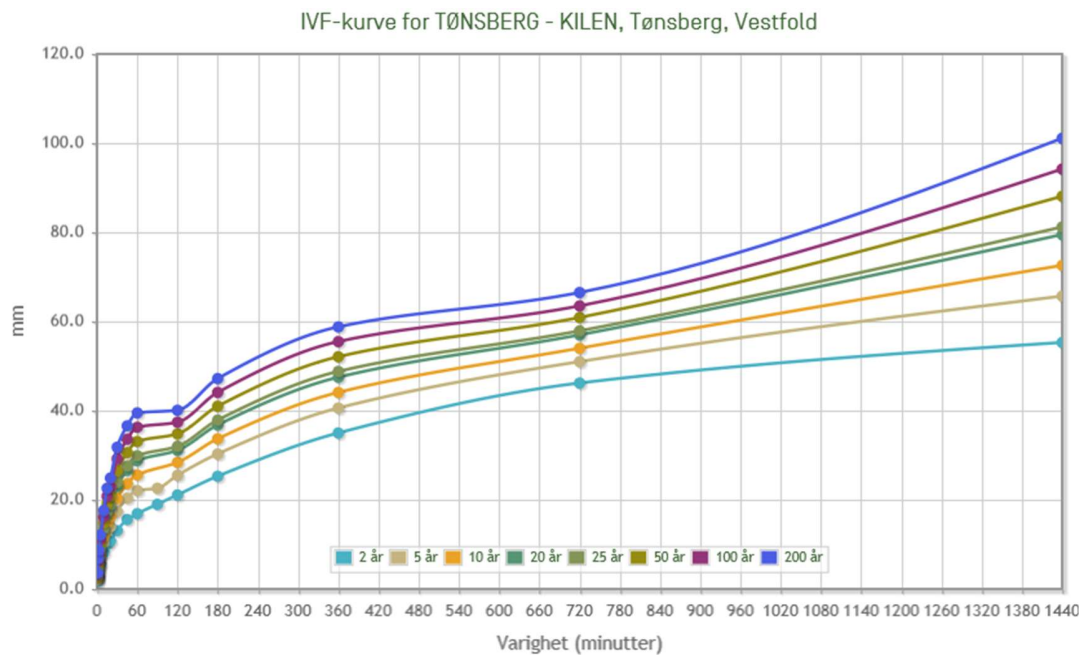


Figur 2-2: Prinsippet for konstruksjon av et nedbørhyetogram (Lindholm O. , Overvann, 2016).

Ved å trekke en linje fra x-aksen som presenterer regnvarigheten og opp til gjentaksintervall kurven som skal benyttes, for så å trekke en linje til y-aksen som presenterer nedbørintensiteten, får man et areal, altså kasseregnet. Et kasseregnet har konstant intensitet fra regstart til regnslutt. I virkeligheten har regn en varierende intensitet. Det er derfor vanlig å benytte kasseregnet til omdanning av symmetrisk hyetogram som beskriver virkeligheten bedre, og til videre bruk i nedbørsmodeller (Lindholm O. , Videregående emner om nedbør, 2016).

I oppgaven ble IVF-kurven fra Tønsberg Kilen benyttet. Intervallene som ble simulert er 25- og 200-års gjentaksintervaller. IVF-kurven fra Tønsberg Kilen er vist i Figur 2-3.





**Figur 2-3: IVF-kurven fra Tønsberg-kilen (Nedbørintensitet, 2018).**

### Nedbørfelt

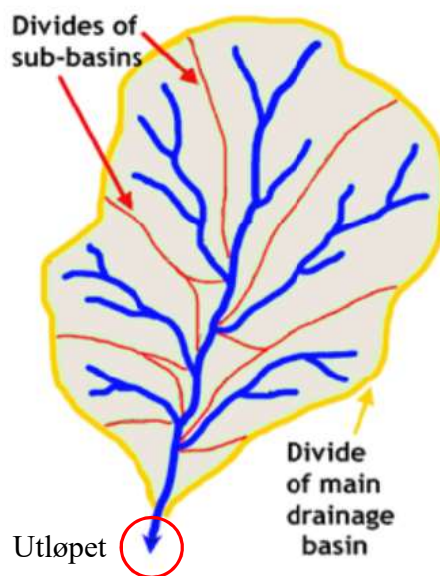
Et nedbørfelt (også kalt nedslagsfelt) er et hydrologisk avgrenset areal som bidrar med vann til et bestemt punkt eller et vassdrag.

Nedbørfeltet blir knyttet til resipienten det blir set på. For eksempel vil områdene i og rundt Holtandalen være nedbørfeltet til Oslofjorden, ettersom vannet fra Holtandalen ender opp i Oslofjorden. Vannskille som definerer et nedbørfelt er høydehellene i terrenget. Høydehellene definerer et skille for hvilket område som bidrar med avrenning i et nedbørfelt, i tillegg til at høydene skiller mellom ulike nedbørfelt.

I et nedbørfelt foregår et væsketransport, både på overflaten i form av overflatevann og i bakken som grunnvann. I nedbørfelt vil det være varierende mengder vann som renner på overflaten, og hvor mye som vil bli grunnvann. Høye områder som legger langt fra elver og bekker, kalles for innstrømningsområder. Her er det en kontinuerlig transport av vann inn i bakken.

I områder lenger ned vil det være en kontinuerlig vannstrøm ut av grunnvann, dette kalles utstrømningsområder, hvor vannet fra bakken renner sammen med vannet som renner på marken. Våtmarker og myrer er eksempler på slike områder.

Figur 2-4 viser illustrasjon av nedbørfelt. De røde linjene på bilde illustrerer vannskille for delfelt som bidrar til side vannlinjen i feltet, mens gul linjen illustrerer vannskille for hele nedbørfeltet som bidra til vannføringen ved utløpet (Wikipedia, 2018).



Figur 2-4: Illustrasjon av nedbørfelt (Wikipedia, 2018).

I tillegg til nedbør målinger, kreves det flere parametere for å få nøyaktige vannføring ut av nedbørfeltet, noen av de parametere er:

- Infiltrasjonskapasiteten til nedbørfeltet.
- Permeabiliteten i feltet.
- Grunnvannsforhold og avstanden til grunnvannet.
- Andel vegetasjon i feltet.
- Fallgradienten på nedbørfeltet.
- Grop magasinering i terrenget.

## 2.1.2 Klima og klimaendringer

Klimaendring kan identifiseres som endring av gjennomsnittværet over en tidsperiode, hvor endringen varer i en lengere periode, typisk ti år eller lengere.

Klimaendringer er både naturlig og menneskeskapt, den viktigste faktor som påvirker klimaendringer er utslipp av klimagasser, eksempel på slike klimagasser er karbondioksid (CO<sub>2</sub>) og metangass (CH<sub>4</sub>), klimaendring prosessen begynner ved at klimagassene samler seg i atmosfæren og lager en hinne rundt jorden, økning i klimagasser i atmosfæren forsterker drivhuseffekt. Drivhuseffekten er atmosfærens evne til å holde igjen varmen rundt jorden, varmen kommer fra solstråling, når solstråling passerer gjennom klimagassene i atmosfæren og treffer jordens overflate, en del av solstrålingen blir reflektert tilbake fra jordoverflaten til atmosfæren, varmestrålingen blir reflektert tilbake av klimagassene som sender varmen tilbake til jordoverflaten og varmer opp jorda. En økt mengde klimagasser i atmosfæren vil derfor bidra til en økt netto stråling og vil videre bidra til økt oppvarming av jordoverflaten (FN-Sambandet, 2018).

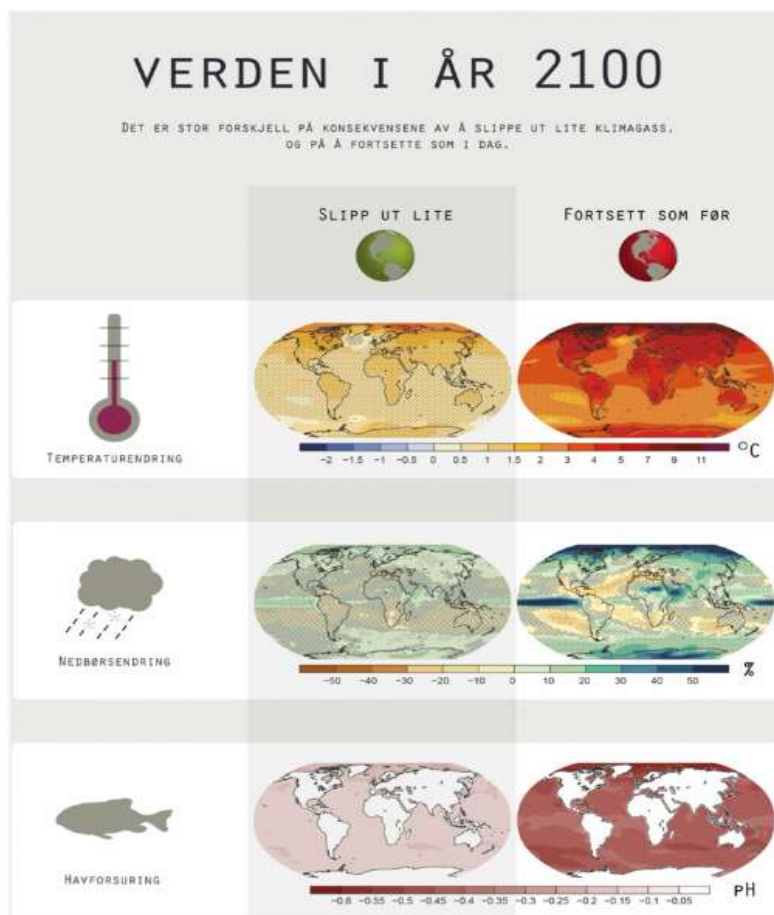
Hvert av de siste tiårene har vært varmere enn det foregående, og de tre siste tiårene har vært varmest siden 1850, ifølge klimapanelet vil oppvarmingen skje både raskere og kraftigere i nord delen av jordet (Miljødirektoratet, 2013).

Klimaendringer og økningen av gjennomsnittstemperaturen som følge av global oppvarming kommer til å medføre økt risiko for ekstremvær, mer intense og hyppige nedbørshendelser, oversvømmelser og havstigning i framtiden. Dette er fordi varm luft er i stand til å holde på mer vanndamp enn kald luft. Global oppvarming forårsaker også endring i nedbørsmønster som leder til økning av vannføring og dermed flom og erosjon i store deler av både Norge og Nord-Europa generelt. Den nærmeste fremtiden vil bringe med seg flere ekstremvær hendelser i form av orkaner og sykloner og mange steder i Norden vil oppleve intensiv nedbør oftere. Ifølge FNs klimapanel kan klimaendringene føre til mange utfordringer som for eksempel (FN-Sambandet, 2018):

- Dårligere tilgang til mat og vann.
- Helseproblemer.

- Økonomisk problemer.
- Konflikter og flykninger
- Skader på natur, infrastruktur og bygninger.
- Tap av naturmangfold.

Figur 2-5 viser illustrasjon av klimascenarier og hvor omfattende klimaendringene vil bli, ut fra hvor mye verdens klimagassutslipp reduseres. Figuren viser temperaturendring, nedbørsendring og havforsuring. Bildene på høyresiden av figuren viser klimaendringer fram mot år 2100 dersom klimautslippet fortsetter å øke fremover, mens bildene på venstresiden viser klimaendringer med betydelige redusert utslipp.



**Figur 2-5: Klimascenarier som følge av global oppvarming fram mot år 2100 (FN-Sambandet, 2018).**

## **Klima i Norden**

Klima endringene vil gi store konsekvenser, spesielt i Norden. Det vil bli varmere og våtere klima i framtiden, noe som gir store konsekvenser på livsbetingelsene for menneskers bosetting, planter og dyr, jordbruk og næringsvirksomhet.

Det europeiske miljøbyrået (EEA) spår at temperaturen i Finland og Sverige vil stige mye raskere enn andre land, muligens med så mye som 2,5 grader i 2050 og rundt 6 grader i slutten av århundre.

Med varmere klima vil atmosfæren inneholde mer fuktighet, noe som medfører kraftig økning i nedbør i Norden. Temperaturøkningen vil føre til mildere og kortere vinter og har bidratt til smelting av isbreer og havis i Arktis. I 2050 anslås antall dager med skiføre å være omlag halvparten så mange som på 80 og 90-tallet. Mange byer i Norden som er helt avhengig av vinterturisme går dermed mot en usikker framtid. Smelting av isbreer og havis i Arktis vil bidra til stigning av havnivået. FNs klimapanel har beregnet at havet vil kunne stige med inntil en meter dette århundret, om vi ikke lykkes med kraftige globale utslippskutt, havet langs norskekysten vil kunne stige med mellom 40 og 85 cm. Dette vil blant annet føre til at kystbyer står i fare for oversvømmelse (FN-Sambandet, 2018).

## **Klima i Norge**

Klimaendring Norge ble etablert i mai 2007, som en del av regjeringens satsing på klimatilpasning. En nettside er opprettet ([Klimatilpasning.no](http://Klimatilpasning.no)) der direktoratet for sosial sikkerhet og beredskap (DSB) har et sekretariat. Et av hovedmålene for fremtidige byer er å bidra til tilpasning av klimaendringer ved å utvikle strategier for å møte fremtidige klimaendringer. Dette krever koordinering og kompetanseutvikling på tvers av organisasjoner. I 2008 ble det opprettet en regjering for å vurdere Norges sårbarhet og tilpasningsbehov som følge av klimaendringer. I november 2010 presenterte komiteen rapporten (Tilpasning til en klimaendring), som anbefaler følgende klimatilpasningstiltak: Klimaendringen må styrkes i planleggingssystemet. Utvalget ser på et styrket planleggingssystem som er måten samfunnet kan gjøre for å tilpasse seg klimaendringer.

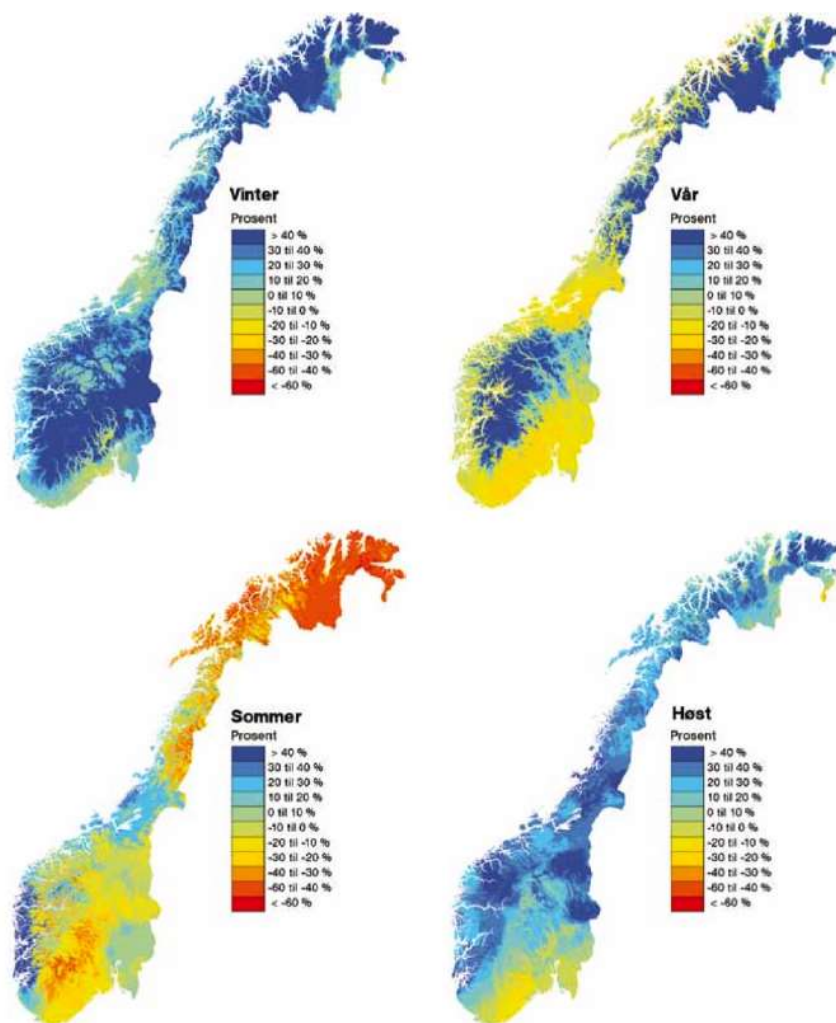
Et annet tiltak vil være å styrke den tverrgående samordning av arbeid med klimatilpasning. Det vil gi en mer helhetlig tilnærming. Utvalget anbefaler videre at hensynet til klimatilpasning inkluderes i nye forskrifter til plan- og bygningsloven. Utvalget anbefaler også at kommunene får midler for å styrke plan kapasiteten og planlegge kompetanse slik at klimatilpasning kan integreres i planlegging (Sekse, 2012).

### **Klimaforskjeller i Norge**

Norge er et langt land, som strekker seg over 13 breddegrader. Dette gir et grunnlag for store forskjeller i klima fra sør til nord. Samtidig varierer landskapet mye over korte avstander. Klimaforskjeller i Norge skyldes også de varmestrømmene fra Atlanterhavet og vestavindsbeltet som transporterer varmen fra sørligere delen av jordet til Norge. Nord områder kan karakteriseres av store og høye fjell, mens et nærliggende område kan påvirkes av et landskap med fjorder. Dette bidrar til lokale klimaforskjeller. Østlandet opplever andre klima forhold enn resten av landet. På grunn av fjellkjeden som deler Vestlandet fra resten av landet, vil Vestlandet få et kystklima, mens Østlandet vil ha et mer kontinentalt klima. Kystklima preges ofte av mye nedbør og varmere vinter enn det kontinentale klimaet. I nord Norge varierer klimaet sterkt gjennom årene. I noen perioder kan klimaet bli mildere, dette skyldes påvirkning av en vestlig sirkulasjonstype. I andre perioder vil klimaet i nord Norge bli kjøligere ved at kontinentale luftstrømmer som kommer fra øst. Den gjennomsnittlige årlige temperaturen varierer mye over hele landet. De sentrale fjellområdene (750-1000 meter over havet) har en årlig gjennomsnittstemperatur på rundt 0°C, mens i områder på vestkysten er opp til 8°C. de laveste årlige gjennomsnittstemperaturene finnes nord for Finnmark (-1 til -2°C). den årsmiddeltemperaturen til landet er under 1°C (Klima i Norge, 2013).

Dersom klimagassutslippene fortsetter på dagens nivå, forventes temperaturen å stige med mellom 2,3 (lav framskrivning) til 4,6 (høy framskrivning) grader innen år 2100. Temperaturen vil stige mest i innlandet og i Nordlandet. Temperaturøkning betyr at mer tilført energi til klimasystemet, noe som vil bidra til at mer varme må fraktes bort fra ekvator. Varmere luft kan holde på mer fuktighet og resultere kraftigere nedbørmengder

innenfor en svært små tidsperiode på de fleste steder i Norge. Nedbørsmengden kommer til å øke mellom 5% og 30%. vinternedbøren vil øke mest med opptil 40% i deler av Øst, Vest og Sørlandet. Nedbør vil øke både i hyppighet og nedbørsmengde. Det kan også forventes en betydelig økning i ekstremnedbør. Det er i ulike klimarapporter antyder inntil 40-60% økning i nedbørsmengden ved ekstremhendelser. Figur 2-6 viser forventede endringer i avrenning fordelt på de fire årstidene fram til år 2050 (Sekse, 2012).



Figur 2-6: Endring i avrenning i årstidene fra 1980-99 til 2030-49 (Sekse, 2012).

Ekstremvær kan forårsake flom og rashendelser. Økning av nedbørsmengden er en særlig utfordring for vann og avløpssystemene i Norge, hvor ledningssystemer i en rekke norske

byer har ikke taklet de enorme vannmassene de siste årene. Flere byer vil ha behov for å utvide kapasiteten for disse systemene. I tillegg vil gjennomsnittlig vindhastighet øke i de fleste steder i Norge, noe som gir økt hyppigheten av stormer og store skader.

Ekstremvær og økt hyppighet av denne typen nedbør forventet å koste samfunnet mye.

Klimaendringer og økningen av gjennomsnittstemperaturen som følge av global oppvarming kommer til å medføre stigning i havnivået. Smelting av is på land står nå som den største årsaken til at havnivået stiger. I løpet av dette århundre kan havnivået langs norskekysten stige til mellom 40 og 50 cm. Det meste stigningen kommer til å skje på Sør og Vestlandet.

I rapporten (Klima i Norge 2100) ble det angitt tall for fremtidig stigning av havnivå og stormflo for kommuner med kystlinje. Tabell 2-2 viser et estimat for øvre og nedre verdier for stigning av havnivå og mulig stormflo i 2050 og 2100 (Sekse, 2012).

**Tabell 2-2: Viser øvre og nedre verdier for havnivåstigning og stormflo (Sekse, 2012).**

Norske kystbyer	År 2050				År 2100			
	Havstigning (cm)		Stormflo (cm)		Havstigning (cm)		Stormflo (cm)	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Bergen	15	37	178	200	53	108	221	276
Oslo	-1	21	189	211	21	76	216	271
Stavanger	17	39	143	165	58	113	189	244
Tromsø	10	32	229	251	43	98	267	322
Trondheim	-1	21	246	268	22	77	274	329

Fiskepotensialet i Norge vil også bli påvirket som følge av klimaendringer og havtemperaturstigning. Dette har blant annet allerede ført til at fisken beveger seg mot nord på leting etter kaldere vann, torsk og sild gyter på nye områder og makrellen som vanligvis befinner seg på sør og Vestlandet er observert i Arktis. I tillegg vil en rekke planter og dyr få problemer med å tilpasse seg klimaendringer i Norge.

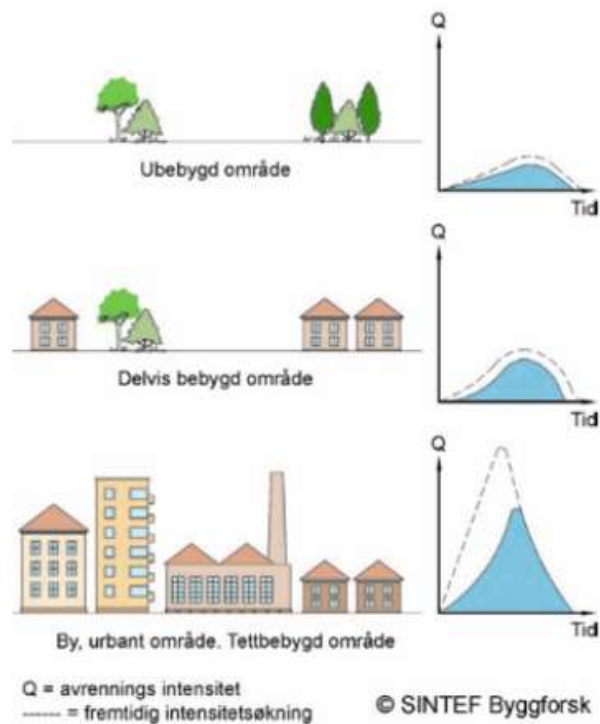


Konsekvensene av klimaendringer kommer til å variere i forskjellige deler av landet. For eksempel vil en global oppvarming på 2°C i 2050 forventes å gi en temperaturøkning på 4°C i Finnmark om vinteren, mens temperaturen i Vestlandet forventes å stige med 1,5°C, sammenlignet med perioden 1971-2000 (Klimaendringer i Norge, 2016).

## 2.2 Overvann og flomproblematikk

Overvann er alt vann som ikke infiltreres i grunn, men renner bort på overflater. En stadig fortetting av arealer som følge av urbanisering og byutvikling har sørget for at mindre deler av arealer er grønne flater. Denne urbaniseringen har sørget for at de hydrologiske egenskaper forandres, for overvann gjør dette seg gjeldene ved at infiltrasjonskapasiteten minkes og en større andel av nedbøren renner på overflaten istedenfor å infiltrere i grunnen. Urbane flater som asfalt og betong som dekker stor andel av byområder har en meget høy avrenningskoeffisient i motsetning til vegetasjon flater som generelt har lav avrenningskoeffisient. Store mengder av nedbør som ofte er kombinert med snøsmelting vil renne på overflaten og skape utfordringer, spesielt for urbane områdene.

Avrenningen er andelen av nedbør som renner av på overflaten. Avrenningsmengden er avhengig av overflatetyper og nedbørintensiteten. Urbane områder er bygd over tette og glatte flater. Slike typer overflater kan samle store vannmengder i løpet av kort tid. Vannmengden som samler seg i urbane områder kan forårsaker flom og oversvømmelser. Figur 2-7 illustrerer forskjellen på avrenningen på ulike typer overflater.



Figur 2-7: Effekten på avrenningsintensitet på ulike overflater (Urbanhydrologi, 2017).

For å finne sammenheng mellom nedbør og avrenning for et område, kan man benytte seg av nedbørsdata i form av IVF-kurver. Den rasjonelle formelen for beregning av dimensjonerende avrenningsmengden Formel 2, gir en rask og enkel metode for beregning av overvann i et bestemt areal. Formelen egner seg best for mindre områder, men grunnprinsippet brukes likevel i enkelte versjoner av datamodeller. Formelen blir benyttet i stor grad for dimensjonering av overvannssystemer i Norge. For å benytte formelen, må man finne avrenningskoeffisienten i studie området. Tabell 2-3 viser avrenningskoeffisienter for noen aktuelle områder.

Tabell 2-3: Avrenningskoeffisienter for aktuelle områder (Lindholm O. , 2015).

Type områder	Afløbs- teknik Danmark	P110 Svensk Vatten	Urban drainage	Norsk Vann 193/2012
Sentrumsområder			0,7-0,95	
Kontorområder, forretningstrøk			0,5-0,7	
Industri			0,5-0,9	
Tett bebyggelse og ingen vegetasjon		0,7-0,9		
Tett bebyggelse med noe vegetasjon		0,5-0,7		
Flerfamiliehus med åpne områder mellom husene		0,4-0,6		
Rekkehus og kjedehus		0,4-0,6		
Eneboliger med tomter < 1000 m <sup>2</sup>		0,35-0,45		
Eneboliger med tomter > 1000 m <sup>2</sup>		0,2-0,3		
Takflater	0,9-1,0	0,9	0,75-0,95	0,8-0,9
Asfalterte gater og betongflater	0,8-1,0	0,8	0,7-0,95	0,7-0,8
Grusveger	0,4-0,5	0,4		0,4-0,6
Plener, Parker	0,1	0,1	0,05-0,35	0,05-0,1

### Flom og oversvømmelse

Flom oppstår når vi har høy vannstand og når vannføringen går utover elv og bekkekanter i vassdraget. Flom forårsaker oversvømmelser og skade på bygninger og omgivelsen. Kraftig og langvarig nedbør i snøsmeltingsperiode er ofte årsaken til oversvømmelser, men kan også oppstå av andre årsaker som f.eks. stormflo i kystområder. Hvor en heving av vannivå ved et lavtrykk værssystemer kombinert med pålandsvind som skyver vann i en bølge mot kysten og forårsaker flom (Wikipedia, 2017).

I urbane områder oppstår oversvømmelse når overvannet renner på overflater med svært begrenset infiltrasjonsevne eller helt tette flater. Vannet følger terrengfallet og renner videre til laveste punkter i terrenget. I disse punktene vil store mengder vann samle seg i løpet av kort tid og overbelaste ledningsnettet. Dette vil forårsake oversvømmelser og skader i området. Det er forventet større og hyppigere regnflommer og dermed økning i flomskader i framtiden.

### 2.2.1 Overvannsflommer og kommuneutfordringer

Kommunene i Norge får en viktig og sentral rolle når det gjelder klimatilpasningen. Tilpasningen er en stor utfordring for kommunene. Norske kommuner har ansvaret for å takle de nye klimautfordringer og for å sikre at utbygging av arealer skal være trygg. Noen av utfordringene som flere kommuner har er at det kan være forskjellige politisk interesse ved å ta hensyn til klimautfordringene, i tillegg har mange kommuner mangel på kapasitet og kompetanse for gjennomføring av arbeid med problemstillinger knyttet til framtidige klimaendringer. Dette gir begrensninger for gjennomføring av gode byggeprosesser og kontroll av planleggingsaker.

Mange kommuner sliter allerede med konsekvensene av klimaendringer. Nedbørshendelser som har inntruffet de siste årene viser at mange steder i Norge har store utfordringer knyttet til håndtering av overvann. Flommer i urbane områder og hyppige kjelleroversvømmelser som følge av de forventede klimaendringene er utfordringer som kan forventes å øke i framtiden. Alle norske kommuner er pålagt å vurdere effekter av fremtidige klimaendringer i en risiko og sårbarhetsanalyse (RSO) for hele kommunens område. Klimaendringer og effektene av disse må også inkluderes i det kommunale beredskapsarbeidet. Et stort antall norske kommuner har ikke eller i liten grad tatt hensyn til eller gjennomført krav som kan ivareta klimaendringer. Mange kommuner har et stort forbedringspotensial ved å gjennomføre en helhetlig og samordnet arealplanlegging. Noen få kommuner har satt konkrete krav til blant annet bruken av høyere regnintensiteter ved beregning av overvannsavrenning ved byggeprosjekter.

Innenfor vann og avløpssektor har det lenge vært arbeidet for å få til en egen sektorlov som kan ivareta og klargjøre kommunens ansvar og beskytte innbyggernes rettigheter og plikter på en bedre måte. Klimatilpasningsarbeidet aktualiserer ytterligere en egen sektorlov på dette området. En slik lov vil forenkle arbeidet med klimatilpasningen i kommunene. NOU- komiteen anbefaler at nasjonalt ansvar for dette plasseres så snart som mulig. Det er også nødvendig at myndigheten som får det ansvaret, tilføres nokk

ressurser til å bevare disse oppgavene. Blant de forholdene som i større grad bør tas opp i kommunale planer innen vann, avløp og overvann kan nevnes:

### **Økende avrenning**

Ved planlegging av nye utbyggingsområder må en rekke forhold ivaretas, for eksempel: Avløpssystemer og overvannssystemer i tettsteder må være tilfredsstillende, robust og helhetlig, samtidig må disse systemer være dimensjonert for å klare å ta bort de ekstra nedbørmengdene som kan oppstå.

Kartlegging av de sårbare bebyggelsene som kan bli truet av flom, skred eller erosjon. Kan økt utbygging og mangel på overvannshåndtering fører til økt risiko for uønskede hendelser? Dette bør vurderes i forbindelse med planlegging av nye utbyggingsområder i kommuneplanen. Det bør planlegges slik at avløpsnett og overvannsnett er separert, og dermed unngås at flomvannet blandes inn med avløpsvannet. Videre skal flomveier og fordrøyningsvolumer vurderes, som tiltak for å forhindre flom.

Vannabsorberende grønne arealer som kan ta bort store deler av overvannet bør oppbevares ved utbygging av nye områder.

Gode løsninger for lokal overvannshåndtering må mest mulig benyttes for å redusere områdets avrenning.

### **Overvannskvalitet**

Overvannsløsningen krever at vassdraget skal ikke tilføres forurenset vann. I arealplanleggingen må man derfor fokusere på vannkvaliteten og kravet til vannbehandling ved overvannshåndtering for å sikre rent vann til vassdrag.

### **Kombinasjon av flom og havstigning**

Kommunene må se på sannsynligheten for at en kraftig flom opptrer samtidig med stormflo og hvilke områder som vil bli oversvømt når det skjer. Hvis store deler av byen blir oversvømt, vil det ikke bare være skade på bygninger, men også infrastruktur vil bli berørt.

### **Arealer rundt vassdrag**

Kommunen må sikre områder som kan oversvømmes uten at det blir alvorlige konsekvenser, må også sikre at det er beplanting langs vassdragene for å hindre utglidninger og erosjon.

### **Bruk av lokalt tilpassede klimafaktorer**

Kommunene bør bruke klimafaktorer som er representative for det aktuelle lokalgeografiske området. Store regionale forskjeller i nedbørsregime må tas i betraktning. Kommunene må hele tiden bruke mest representative og lokalt tilpassede klimadata, og ta hensyn til at ulike ekstreme hendelser kan oppstå samtidig (Sekse, 2012).

### **2.2.2 Skader som forårsakes av overvann**

Som resultat av klimaendringer vil det bli store utfordringer for å hindre skade på bygninger, infrastruktur, helse og miljø. Mye nedbør fører allerede til store kostnader knyttet til flom og oversvømmelser i byer og tettsted. Total kostnadene for skadene i de neste 40 årene kan bli i størrelsesorden 45-100 milliarder kroner, med mindre det tas tiltak. De ulike overvannstiltakene i de ulike trinnene i tretrinnsstrategien vil begrense en god del overvannsskader. Her vil jeg presentere noen typer skader.

Skadedataene er basert på rapporten (Overvann i byer og tettsteder-Som problem og ressurs (NOU 2014:15) og Vista analyse 23 beregninger, som er også basert på statistikken fra Finans Norge. Vannskadestatistikken kalles VASK og er en oversikt over vannskader som medfører forsikringssaker (Regjeringen, 2015).

#### **Skade på bygninger**

Skader på bygninger kommer i flere forskjellige former og kan ramme private boliger, offentlige bygninger og næringsbygg. Vannskadene kan føre til fuktskader på bygninger, mugg og soppdannelse og medfølgende hygieniske og helse problemer. Skadene kan deles i 2 ulike former, direkte og indirekte skader. Direkte skadene er vannskadene som påføres selve bygningen, mens indirekte skadene er skader som forårsaket av den direkte skaden på bygningen.

Tabell 2-4 viser erstatningsutbetalinger mellom 2008 og 2014 hentet fra Finans Norge (VASK-Vannskadestatistikk), erstatningsverdiene er knyttet til vanninntrenging utenfra (Skaaraas, Overvann i byer og tettsteder, som problem og ressurs, 2015).

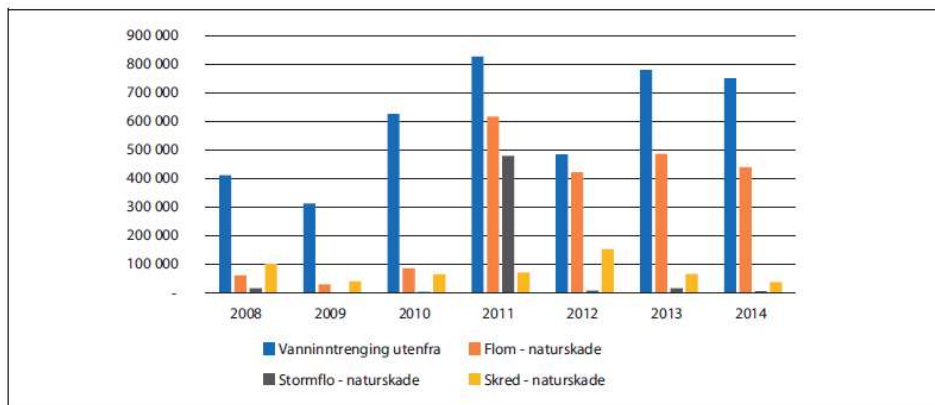
**Tabell 2-4: Erstatning av overvannskader mellom 2008 og 2014 (Skaaraas, Overvann i byer og tettsteder, som problem og ressurs, 2015)**

År	Antall skadetilfeller	Erstatning (millioner kroner)
2008	10 537	411
2009	8 657	313
2010	16 117	625
2011	20 855	826
2012	12 279	484
2013	18 332	780
2014	18 827	750
Sum	105 605	4 189

Tabellen viser at det totale antall skader mellom 2008 og 2014 var 105 606 skader, og at skaden til sammen førte til en erstatningsverdi på 4,189 milliarder norske kroner. De vanlige kostnader knyttet til inntrenging av vann eller avløp i privat bolig eller næringsbygning ligger et sted mellom 50 000 og 150 000 kroner, kostnaden er avhengig av skadetype, størrelse og hva som befinner seg i skadeområde.

Overvann kan føre til store skader på bygninger på andre måter enn vanninntrengingen, for eksempel skred og ras, eller at flom som følge av ekstrem nedbør påvirke vassdragsbalansen, noe som medfører forurensing av drikkevannskilder.

Ut fra Figur 2.8 ser vi at skader etter vanninntrenging utgjør en større skadebelastning enn naturskadesakene.



Figur 2-8: Erstatning av ulike typer skader (Skaaraas, 2015).

I motsetning til de tekniske kostnadene er indirekte skadeverdien fra overvann vanligvis mye vanskeligere å beregne og vil ofte bidra til å øke de totale skadekostnadene vesentlig. For private eiendommer vil indirekte skader gi redusert tilgjengelighet, som tørking, reparasjon eller bytting av gjenstander i området der skaden fant sted. Tap av leieinntekter og midlertidig utflytting av hus er også aktuelt i noen tilfeller.

For næringsbygninger, for eksempel bedrifter og butikker som rammes av overvannsskader vil de samme skader som nevnt ovenfor gjelde, i noen tilfeller kan det være tap av produksjon, nedleggelse, stenging eller redusert åpningstider. En butikk som rammes av vanninntrenging vil kunne få betydelig tap av inntekt, i tillegg av store kostnader i form av arbeidstid knyttet til opprydding og vasking. I tillegg til andre type kostnader, som for eksempel leie av midlertidige lokaler for lagring og i noen tilfeller skader på utstyr og salgsvarer. Offentlig virksomheter som kontorer, skoler, beredskap og sykehus osv. kan også bli påvirket av overvannsskader. Figur 2-9 viser oversvømmelse på sykehuset på Sørlandet under flommen november 2014. En slik skade kan gi store konsekvenser for mange mennesker. Viktigheten av de offentlige virksomheter for samfunnet gjør at det må finnes raske alternative tiltak når hendelsen finner sted (Skaaraas, Overvann i byer og tettsteder, som problem og ressurs, 2015).





**Figur 2-9: Sykehuset på Sørlandet under flommen november 2014  
(Skaaraas, Overvann i byer og tettsteder, som problem og ressurs, 2015).**

### **Skade i transportsektoren**

Skader som påvirker infrastrukturens kvalitet og tilgjengelighet vil i likhet med skader på offentlige bygninger påvirke mange mennesker. Her skiller mellom direkte og indirekte skader. Direkte skadene på transportsektoren fremkommer som skader på infrastruktur som veier, jernbane og flyplasser. Skade i transportsektoren vil medføre store kostnader til både gjenoppbygging og vedlikehold avhengig av skadeomfanget. Overvann kan medføre at veier og baner glir ut. Figur 2-10 viser skade på vei som forårsaket av overvann (Skaaraas, Overvann i byer og tettsteder, som problem og ressurs, 2015).



**Figur 2-10: Skade på vei som følge av erosjon**

De indirekte skadevirkninger som følge av direkte skader vil gi et velferdstap for alle brukere av vei og bane. Skadene kan være i form av redusert fremkommelighet, omkjøringer, kø eller forsinkelser. Dette kan gi tapte inntekter for transportøren, samtidig gir det tapt nytte og store kostnader for privatbilister, buss og togpassasjerer, fotgjenger og syklister. I noen tilfeller kan veien, jernbane eller flyplassen bli helt stengt, slik at det ikke er mulig å komme seg dit man skal for kortere eller lenger periode (Skaaraas, Overvann i byer og tettsteder, som problem og ressurs, 2015).

### **Skade på vann og avløps infrastruktur**

Kvaliteten på drikkevann og en hygienisk, miljømessig håndtering av avløpsvann er av avgjørende betydning for velferden i samfunnet.

Direkte skadevirkningene for vann og avløp infrastrukturen består i at vann og avløpsanlegg kan bli ødelagt og må repareres som følge av flom eller overbelastning. Den mest utsatt delen av vann og avløps infrastruktur er nok avløpsledningsnett, særlig når nettet blir satt under høyt trykk ved tilførsler av store mengder overvann. Ved skade kan avløpsvann renne ut i vassdrag, hvor drikkevannskilder og badesteder kan bli forurenset. Et slik utbrudd på avløpsledningsnett kan få indirekte skadevirkninger, konsekvensen av

det kan være at mange personer blir syke. For å begrense risikoen for indirekte skader, er det viktig å reparere den direkte skaden raskt.

De indirekte skadene er knyttet til følgeskader. Hvis avløpsledningen sprekker, kan forurenset vann trenge inn gjennom skjøter eller andre lekkasjepunkter i vannledningen dersom vannledningen ligger i samme grøft og har undertrykk. Følgende av dette kan være skader på helse og miljø (Skaaraas, Overvann i byer og tettsteder, som problem og ressurs, 2015).

### **Skade på naturmangfold**

Overvann og følgende avrenning fra kraftig nedbørshendelser kan føre til skader på naturmangfold, eksempel på det er skader som kan oppstå på bekker og elver som følge av kraftig nedbør. Hvor kraftig nedbør kan øke fare erosjon og massetransport i elven. En av konsekvensene av dette er at vannplanter og andre organismer får større problemer med å etablere seg. I tillegg vil oppvekstområder og levevilkårene for mange fiskearter som ørret blir negativt påvirket av økt partikkeltransport og nedslamming. I tørkeperioden vil vannføringen bli redusert og dermed reduserer vannets selvrensende effekt (Skaaraas, Overvann i byer og tettsteder, som problem og ressurs, 2015).

### **Skader forårsaket av utslipp av forurenset overvann**

Ved økt nedbørsmengder vil overvann skape dårlig innvirkninger både på lokalmiljø og på resipienten. Overvannet renner av på overflater i urbane områder og samler opp mye forurensninger. Avgassing fra kjøretøy og maskiner, i tillegg til korrosjonsstoffer fra fabrikker og bygninger bidrar til forurensning av overvann. Forurensningsstoffer binder seg til vannet ved det første regnskyll som kommer etter en tørrværsperiode. Forurenset vannet transporteres videre til resipienten. Det er derfor viktig å etablere renseløsning av overvann fra by og tettstedsområder ved dimensjonering av overvannsanlegg. Renseløsningen vil sikre en god vannkvalitet i resipienten (Ødegaard, 2014).

Forurensninger fra urbane områder kommer ofte fra trafikkerte flater. Tungmetaller og organiske miljøgifter er stoffer som ikke er ønsket i overvannet.

Organiske miljøgifter som kan finnes i overvann er skadelig for både mennesker og dyr. Høye konsentrasjoner av organiske miljøgifter kan føre til helseproblemer som leverproblemer, fosterskader, hudsykdommer, skader på nervesystemet og kreft.

Forurensning i overvannet består som hovedsakelig av partikulært materiale og i form suspendert stoff. Dermed trenger det en relativt enkel og liten kostbar rensemetode for å fjerne disse partikulære forurensningene (Ødegaard, 2014).

### 2.2.3 LOD og Treleddstrategien

Ved videreføring av den tradisjonelle håndtering av overvannet vil overbelastning av ledningssystemet bli mer sannsynlig. Samtidige vil overflateavrenningen, flomfrekvensen og etterfølgende skader øke. Den ønskede overvannshåndteringen skal gjøres ved bruk av overflateløsninger, hvor det legges mer vekt på åpne vannrenner og mindre bruk av ledninger. Overvannssystemer skal avlede vannet på overflaten på en forsvarlig og miljøtilpasset måte, hvor innbyggernes helse, sikkerhet og økonomiske interesser vekt legges. Overvannet skal brukes slik at det skaper glede for innbyggerne ved å gjøre det synlig og tilgjengelig i bebygde og byområder (Ødegaard, 2014).

Overvannløsningen er viktig for å unngå flomskader ved å sikre at overvannet ved ekstrem nedbør ledes vekk fra bebyggelse gjennom flomveier, slik at det blir minst mulig skader. Kvaliteten på overvannet som ledes til resipienten må være av god kvalitet for å forhindre forurensning av vassdrag, grunnvann og sjøer, her er det viktig å redusere overløpsdrift fra avløpssystemet, noe som representerer en forurensningsfare.

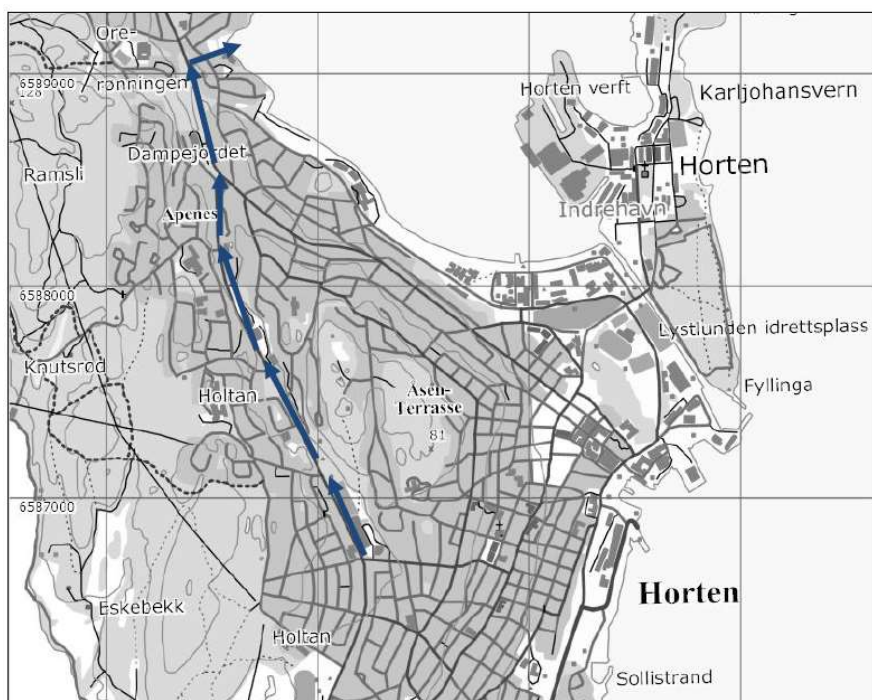
Ved etablering av nye urbane områder er det viktig å sikre at området er ikke utsatt for flom. Der er også viktig å ivareta vegetasjonsområder i tillegg til god bruk av vannveger og flomveier. Tradisjonelt har det vært vanlig å foreta lukking av bekker i urbane områder, noe som vanligvis fører til nedsatt hydraulisk kapasitet. Dette vil også gi negativ virkninger for naturen og omgivelsene. Det er derfor viktig å unngå lukking av bekk. Ofte

vil det være aktuelt å åpne opp en lukket bekk, i stedet for å investere i nytt system.

Åpning av lukkede bekk kan gi mange fordeler som:

- Nye områder for planter og dyr for å overleve. Større biologisk mangfold.
- Flomdemping og stor effekt på fordrøyning
- Økt mulighet for rensing av partikler og næringsstoffer og dermed redusere eutrofiering og algerblomstring i de hoved vassdragene.
- Rikere friluftsliv, opplevelse og kulturskap.

Bekken som gikk fra Holtandalen til Bakkebukta er i dag lagt i rør, området over bekken er fortettet med infrastruktur og bygninger. Oversiktsplan for den 2.9 km lange ledningstrase kan sees av Figur 2-11. ledningsstørrelser er varierende, men naturlig økende fra sør til nord.



Figur 2-11: Bekken i Holtandalen (Horten kommune).

Ved håndtering av overvann bør man vite vannmengder, vannets veier og forurensningsfare ved avrenning av overvann. Det er også viktig å vite om eksisterende

overvanns systemer i området har god kapasitet til å takle ekstreme nedbørshendelser. Overvannsnett og avløp må separeres for å unngå at flomvannet blandes inn i avløpsvannet. Videre bør det anlegges flomveier og fordrøyningsbassenger for å dempe flomtoppen. Grønne arealer kan fungere som infiltrasjons flater som tar unna store mengder vann. Lokal overvannshåndtering må også benyttes for å redusere og fordrøye overvannet.

I motsetning til tradisjonell overvannshåndtering er ideen for fremtiden å fordrøye og infiltrere overvannet lokalt, slik at belastningen på overvannsnettet unngås. Dette kalles lokal overvannsdisponering LOD og skal omtales i etterfølgende kapittel 3.3. løsningen skal blant annet gir mindre belastning på ledningsnett, mindre overløpsdrift og dermed mindre forurensning til omgivelsene. LOD løsningen opprettholder grunnvannsstanden og sikrer at overvannet behandles på en miljøvennlig og kostnadseffektiv måte. Ved å synliggjøre overvannet i form av åpne dammer og renner istedenfor å legge det under grunn, bidrar til et variert økosystem og kan fungere som rekreasjon for innbyggerne. Håndtering av overvann er imidlertid en kompleks affære og krever sterkt samarbeid fra alle involverte parter i det aktuelle området.

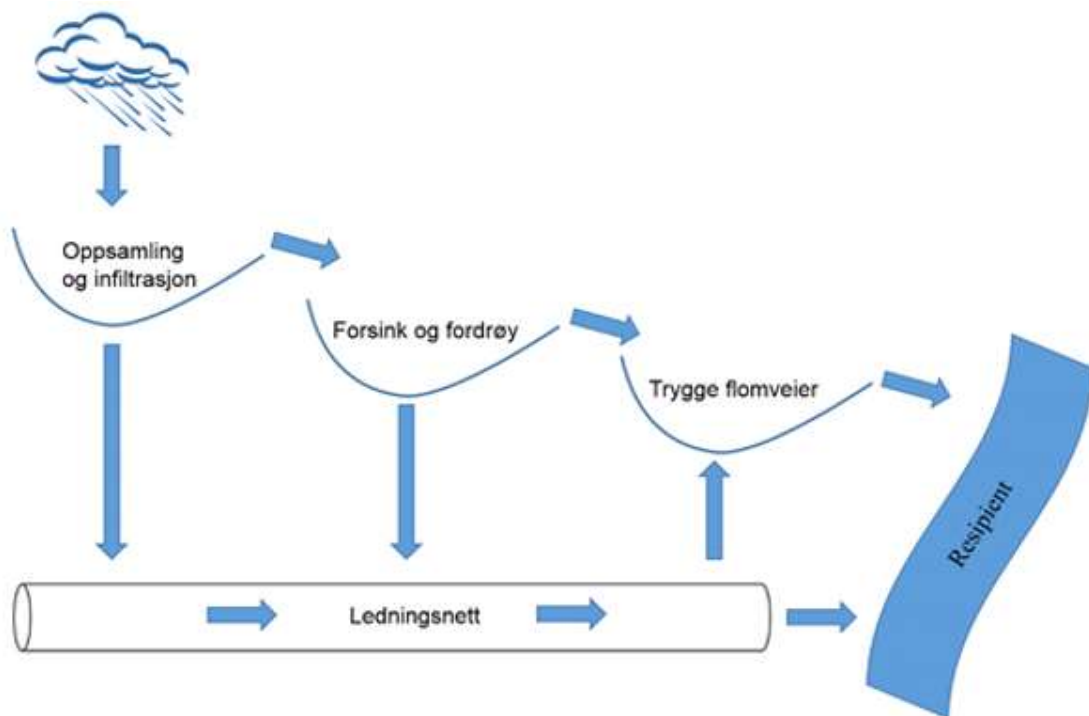
Treleddstrategien er en tiltakskombinasjon for håndtering av ulike mengder med nedbør ved å infiltrere og fordrøye mest mulig av overvannet før vi avlede resten av vannet til en resipient, noe som må gjøres på en forsvarlig måte. Formålet med denne strategien er å håndtere overvannet på en god måte slik at tilfredsstillende sikkerhet for liv, miljø og helse oppnås, samtidig som det kan skapes et positivt landskapselement i byen.

Treleddstrategien er en sentral strategi for lokal håndtering av overvann og har tre følgende ledder:

1. Første ledd presenterer et lokalt og privat tiltak, hvor regn med mindre enn 20 mm skal fanges opp og infiltreres, det kan være grønne tak, regnbed, våtmark ... etc
2. Andre ledd sier at regn mellom 20 og 40 mm skal mest mulig forsinkes og fordrøyes, dvs større kommunalt tiltak som åpne dammer og renner.

3. Tredje ledd gjelder for ekstrem nedbør, med mer enn 40 mm skal det sikre åpne trygge flomveier gjennom byen.

Leddene i treleddstrategi må jobber sammen for å få til effektiv håndtering av overvannet. Strategien er vist i Figur 2-12.



Figur 2-12: Illustrasjon av treleddstrategi (Lindholm O. , Overvann, 2016).

### **(LOD) Lokal overvannsdisponering**

LOD er en alternativ metode for å håndtere overvannet lokalt, dette bør gjennomføres i størst mulig grad på overflaten i form av fordrøyning og infiltrasjon. Det å håndtere overvannet lokalt innebærer å la vannet finne naturlige veger via infiltrasjon til grunn og/eller renne bort via åpne vannveger og dammer. Løsningen skal være en synlig del av vassdraget og bybildet, noe som kan føre til et triveligere bomiljø. Metoden benyttes som en selvstendig løsning eller i kombinasjon med konvensjonelle ledningssystemer.

LOD løsninger skal gi redusert belastning på ledningssystemet ved å infiltrere vannet til grunnen lokalt. Dette kan føre til lavere kostnader for transport av overvann, samt redusere faren for ras og erosjon ved avrenning i sensitive områder. Andre sentrale formål med LOD løsninger er å unngå oversvømmelser og overløpsutslipp. I tillegg skal LOD løsninger sikre forsinkelse og fordrøyning av nedbør, slik at flomtoppene blir redusert.

God overvannshåndtering er avhengig av medvirkning fra arealplanleggere. For å nå målene bør planlegging av flom og overvannshåndteringen samordnes med arealplanlegging i kommunen. Det vil si at prinsipper eller løsninger for håndtering av overvann vurderes og fastsettes i kommuneplaner, reguleringsplaner og bebyggelsesplaner. God løsning også innebærer at metoden skal tilpasses lokale forhold og behov. Løsningen skal være bærekraftige og tilføre kvaliteter til omgivelsene. De valgte løsningene må fungere godt både sommer og vinter, samt ved vanlig nedbør, ved flom og tørrvær. Løsningen kan ikke legges hvor som helst, her er det viktig å se på de naturlige vannveger og hvor vannet strømmer i et felt, der hvor vannet samler seg kan det være naturlig å ha et tiltak, eventuelt kan vannet ledes videre til andre steder hvor man ønsker å samle vannet (Ødegaard, 2014).

Når man velger en løsning for håndtering av overvann, er det viktig å estimere vannmengden som skal tas hånd om. En bra estimat gjør det lettere for å velge en passende løsning med tilfredsstillende kapasitet, Her er det også viktig å ta hensyn til nedbørintensitet og varighet. Stedsspesifikt forhold er også av stor betydning. I områder med mye snøsmelting, er det viktig å inkludere smeltevann i beregningen. For å unngå konsekvenser når kapasiteten til overvannssystemet overskrider, er det nødvendig at vannet har mulighet til å bli overført til et annet system med ledig kapasitet, eventuelt til en flomvei når ekstrem nedbør treffer.



### **Takrenner og infiltrasjon på gressareal**

Frakobling av takvann er en veldig enkel måte for å redusere videreført vannmengde, Hvor vannet ledes ut på et gressareal. Gresskleddede flater har ofte en god infiltrasjonskapasitet og dermed kapasitet til å motta stor mengde med vann for å videre infiltrere det lokalt i området. For å lede takvannet ut på gressarealet, bør arealet være 1-2 ganger større enn takarealet (Lindholm O. , Overvann, 2016).



**Figur 2-13: Frakobling av takvann (arkitektur.no).**

Det er viktig å lede takvannet vekk fra bygninger for å unngå fuktskader og erosjonsskader på overflaten. Dette kan gjøres ved å lede vannet på et steindekke eller bruk av slange. Løsningen er vist i Figur 2-13.

Det samme prinsippet kan også brukes for bortledning av overvann fra en parkeringsplass. Dersom gressområdet er begrenset, bør det planlegges en ytterligere vei for vannet slik at det ikke oppstår uheldige konsekvenser ved kraftig nedbør. Dette kan for eksempel være et infiltrasjonsmagasin, regnbed eller permeable flater.

## Fordrøyningsbasseng

Fordrøyningsbassenger er magasiner under jorden for midlertidig vannoppbevaring, som etter hvert tilfører mesteparten av det oppsamlede vannet til ledningsnettets eller til en annen overvannssystem. Ved bruk av et regulert utløp blir vannmengden tilført til ledningsnettets over lengere tidsperiode, vanligvis flere dager. Dette er avhengig av hvilken nedbør anlegget er dimensjonert for å kunne takle. Fordrøyningsbassenger er et alternativ til infiltrasjon hvis infiltrasjon er vanskelig å gjennomføre. Løsningen brukes også i kombinasjon med infiltrasjon, der infiltrasjonskapasiteten er for lav og trenger mer tid til å infiltrere. Bassengene kan ta unna store mengder med vann og finnes i ulike størrelser og materialer. bygges hovedsakelig opp ved støpte betongkonstruksjoner, store betongrør, plastrør eller prefabrikkert plastkassetter som har store porevolum og som kan fås i en rekke størrelser og varianter. Magasinene må beskyttes ved bruk av fiberduk for å unngå tilstoppelse. Det er også viktig med forsedimentering for å hindre fortetting og tilstopping. Slike løsninger er enkle å jobbe med. Systemene brukes mye i kombinasjon med andre lokale løsninger.

Figur 2-14 illustrerer fordrøyningsbasseng under parkeringsplass (Lindholm O. , Overvann, 2016).



Figur 2-14: Illustrasjon over fordrøyningsbasseng (Lindholm O. , Overvann, 2016).

## Regnbed

Regnbed er et infiltrasjonstiltak for lokal disponering av overvann. Anlegget består av en beplantet bed i terrenget hvor overvann kan lagres midlertidig på overflaten og infiltreres etter hvert til grunnen eller overvannsnettet i løpet av et døgn. Regnbed reduserer avrenning og dermed hindre skader fra oversvømmelser. Løsningen kan brukes for både enkeltbolig og i større områder (Regnbed, 2013).



Figur 2-15: Regnbed i bolig område (Regnbed, 2013).

## Grønne tak

Grønne tak kan være den første ledd i treleddstrategien. Løsningen kan holde en vesentlig del av nedbøren som faller og kan bidra til redusert avrenning. Over et år kan et grønt tak holde igjen halvparten av nedbøren. Grønne tak kan anlegges både på nye og eksisterende bygg og bidrar til positivt bybilde. Anskaffelseskostnadene av grønne tak er høy, men vedlikeholdskostnadene er relativt lave (Ødegaard, 2014).



**Figur 2-16: Grønne tak i tettsted (Grønn overvannshåndtering, 2017).**

For å kunne anlegge grønne tak så er det to kriterier må være oppfylt:

- Takkonstruksjonen må kunne tåle den ekstra belastningen.
- Helningen på taket må ikke være for bratt. Hvis takhelningen er mer enn 15-20% da må taket forankres (Lindholm O. , Overvann, 2016).

### **Permeable dekker**

Permeable dekker er overflater som slipper vannet gjennom til underbyggende masser, hvor vannet kan fordrøyes og dreneres til grunnen. Permeable dekker kan være porøs asfalt, porøse betongtyper, steinsetting eller grus. Løsningen er veldig bra for å tilbakeholde og infiltrere vann og har på grunn av sitt store areal en høy fordampning. Permeable dekker kan i utgangspunktet brukes til de fleste formål.

Infiltrasjonskapasiteten for permeable dekker varierer stort mellom nyetablerte og etter lang tids bruk. Underbyggende masser er også avgjørende for infiltrasjonskapasiteten. For å sikre infiltrasjonskapasiteten så er det nødvendig med et rutinemessige og systematisk vedlikehold. På porøse asfaltflater opprettholdes infiltrasjonskapasiteten ved å støvsuge overflaten jevnlig. Åpne plasser og parkeringsplasser er overrepresentert som bruksområder. Permeable dekker kan også kombineres med fordrøyningsbassenger av kassettsystemer. Løsningen kan gi større lagringskapasitet for infiltrasjon (Lindholm O. , Overvann, 2016)



Figur 2-17: Permeable dekk på parkeringsplass (Aaltvedt, 2018).

#### 2.2.4 Regelverk for vann og avløp

For å forholde seg til temaet lokal overvannshåndtering, er det viktig å ha klarhet av hvilke regelverk som gjelder og hvordan disse fungerer og hvem som administrerer.

Problemstillinger knyttet til vassdrag og overvannshåndtering reguleres av flere lovverk. Norge har ikke et samlende regelverk for vann og avløp, til tross for at vann og avløp er en mest nødvendig infrastruktur. De gjeldende lov og forskrifter for vann og avløp er fordelt utover mange forskjellige lover. Lovene knytter seg for ulike departementer med forskjellige myndigheter. Noe som gjør at det blir tidskrevende og vanskelig å forholde seg til. De viktigste er vannressursloven, byggeteknisk forskrift, forurensningsloven og naboloven. Rammedirektivet for vann har også stor betydning for hvilke krav som må settes til overvannshåndtering.

## **Vannressursloven**

Forskrift om hvem som skal være vassdragsmyndighet og for å sikre en samfunnsmessig og forsvarlig bruk og forvaltning av vassdrag og grunnvann.

Kommunen er myndighet etter:

### **§§7 Vannets løp i vassdrag og infiltrasjon i grunnen**

*Ingen må hindre vannets løp i vassdrag uten hjemmel i denne lov.*

(Omfatter ikke nedbørsfelt, eller tiltak som øker vannføringa/-hastighet eller reduserer vannstanden).

*Utbygging og annen grunnutnytting bør fortrinnsvis skje slik at nedbøren fortsatt kan få avløp gjennom infiltrasjon i grunnen.*

(Redusere avrenningstopper/erosjon og forurensing i vassdrag;  
Retter seg først og fremst mot plan- og bygningsmyndigheter)

*Vassdragsmyndigheten kan gi pålegg om tiltak som vil gi bedre infiltrasjon i grunnen, dersom dette kan gjennomføres uten urimelige kostnader.*

(Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven) , 2000)

### **§§16 Allmennhetens rådighet over vassdrag**

NVE er myndighet etter de fleste bestemmelsene i loven.

**Paragrafer som kommune bør ha kunnskap om**, uten å være myndighet, bla.a.:

§2 og §3 Definisjoner på vassdrag, vassdragstiltak, vassdragsanlegg, vannføring, høyst vanlige flomvannstand.

§8 Konesjonspliktige tiltak (unntatt §12 Gjenoppretting av avløp, og §15 Grunneiers uttak av vann), kan være:

- Bekkelukkinger (av noe omfang) normalt konsesjonspliktig.
- Forebyggingstiltak.

NVE Veileder 1/2002: Behandling etter vannressursloven m.v. av vassdragstiltak og tiltak som kan påvirke vassdrag og grunnvann (Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven) , 2000).

#### **§14. Gjenåpning av vassdrag**

Vassdragsmyndigheten kan med seks måneders varsel til grunneieren foreta gjenåpning av et lukket vassdrag. Grunneieren har rett til erstatning etter reglene i lov 6. april 1984 nr. 17 om vederlag ved oreigning av fast eiendom for tap som skyldes gjenåpningen. Dersom ikke annet er avtalt, fastsettes erstatningen ved skjønn som begjæres av vassdragsmyndigheten (Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven) , 2000).

#### **Byggtekniske forskrift (TEK10)**

Avløpsanlegg skal prosjekteres og utføres slik at avløpsvann bortledes i takt med tilført vannmengde, og slik at god hygiene og helse ivaretas. Bortledning av overvann og drensvann skal skje slik at det ikke oppstår oversvømmelse eller andre ulemper ved dimensjonerende regnintensitet.

Følgende skal minst være oppfylt:

- a) Anlegg skal ha tilstrekkelig tetthet mot lekkasje ved normal bruk. Avløpsledning skal være selvrensende og ha nødvendige punkter for inspeksjon og rengjøring.
- b) Byggverk skal sikres mot oversvømmelse som følge av høy vannstand eller overtrykk i avløpsledning. Sjenerende lukt skal ikke forekomme.
- c) Overvann, herunder drensvann, skal i størst mulig grad infiltreres eller på annen måte håndteres lokalt for å sikre vannbalansen i området og unngå overbelastning på avløpsanleggene (Byggteknisk forskrift (TEK10), 2011).

#### **Europeisk-EUs rammedirektiv for vann**

EUs vanddirektiv trådte i kraft i EU i desember 2000. formålet med dette er å sikre god miljøtilstand innen 2021 i alle vannforekomster i alle EU og EØS land og alt

grunnvann og overflatevann inkludert kystvann skal ha god tilstand i samsvar med de angitte kriteriene. Dette skal oppnås gjennom en helhetlig og koordinert forvaltning både nasjonalt og internasjonalt nivå.

Forvaltning i henhold til vanndirektivet omfatter følgende hovedaktiviteter:

- Karakterisering av alle vannforekomster i tillegg til en beskrivelse av alle relevante egenskaper og belastninger som landbruk, tettsteder og forurensning. Dette inkluderer grunnvannsforekomster i løsmasser og fjell, ferskvannsforekomster inkludert bekker, elver, innsjøer og kystvann.
- Overvåkning av vannforekomster i henhold til type og tilstand. Dette omfatter grunnleggende overvåkning for informasjon og tilstand over lang tid, for å vurdere effekter og eventuelle forbedringer etter tiltak.
- Tiltak knyttet til en vannforekomst for å snu trender som går i feil retning når det gjelder kvalitet eller vannmengden. Slike tiltak kan omfatte fjerning av forurensningskilder, eller justeringer av vannuttak for å motvirke saltvannsintregning i kystnære grunnvannsforekomster.
- Koordinering av forvaltningsprosesser i et helt vassdrag (EUs vanndirektiv, 2016).

### **2.2.5 Matematiske modeller og dimensjonering**

Overvannet transporteres i to ulike rørsystemer, fellessystem og separatsystem. I fellessystemet er det to ledninger, en for drikkevann og den andre er for både spillvann og overvann. Dette betyr at fellessystemet transporterer avløpsvannet fra husholdning og industri, inkludert overvann i ett felles rør til renseanlegget eller resipienten. De store og intense nedbørshendelser gir store utfordringer og kapasitetsproblemer til fellessystemet, noen av de utfordringene er at avløpsvannet kan gå i overløp og videre urensset til resipienten. Med tanke på dette problemet har flere kommuner rettet fokuset på de negative effektene med fellessystemet, og dermed oppgraderer sine fellessystemer til separatsystemer (Ødegaard, 2014).



Separatsystemer har separate ledninger for spillvann og overvann. Der avløpsvannet ledes fra husholdning og industri i et rør og videre til renseanlegget, mens overvannet ledes i et annet rør og direkte til resipienten. Resultat av det er at renseanlegget renser kun spillvann (i tillegg til noe innlekkasjevann), dermed belastes renseanlegget i mindre grad med separatsystem enn fellessystem. I tillegg er driftskostnader for separatsystem knyttet til rensing er mindre enn fellessystem. En av svakhetene med separatsystemer er feilkoblinger, hvor spillvannsledningen fra bolig bli koblet til overvannsledningen og drensledningen blir koblet til spillvannsledningen. En annen svakhet med separatsystemer er at forurenset overvann transporteres urensset til resipienten.

Som følge av klimaendringene vil nedbørsmengden øke og mange rørsystemer vil ikke være tilfredsstillende. dette vil føre til større overvannsmengder og dermed blir overvannsnett overbelastet, dimensjonering av overvannsnett må derfor øke med tanke på de forventende nedbørsmengder (Ødegaard, 2014).

Matematiske modeller som brukes for dimensjonering av transportsystemer vil aldri gi en 100 prosent korrekt situasjon, men kan gi en tilnærming av hvordan et system virker i virkeligheten. Modellene benyttes fordi de gir en god forståelse av det hydrauliske systemet og hvordan vil dette reagere ved ulike situasjoner. Bruk av matematiske modeller gjør det ryddig og oversiktlig over et system for både parameterne og resultatene som man får ut etter simulering av en situasjon. Modellanalyser gir informasjon som grunnlag for mulig endringer og prioriteringer. Ved bruk av dette kan man unngå store og kostbare feil i fullskala, når feilene blir oppdaget i en matematisk modell før utbygging. Slike modeller er effektive verktøy for dimensjonering av overvann- og avløpssystemer, i tillegg har disse modellene muligheten for utforskning av framtidige scenarioer, eksperimentering og prøve og feile fram til en får den ønskede resultatene. Når systemet trenger oppgradering, kan matematiske modellen være nyttig for å finne ut endringer som gir de beste resultater. Ved bruk av matematiske modeller, vil simuleringen skje mye raskere enn ved bruk av manuelle beregningsmetoder (Lindholm O. , Videregående emner om nedbør, 2016).

Ved simulering av et nytt avløpssystem er det mulig å endre de fysiske parameterne i analysemodellen til ønskede resultat oppnås. Eksisterende system har faste parametere, men i likevel er simulering av dette veldig interessant. Analysemodellen vil blant annet vise hvordan et system påvirkes for ulike nedbørsmengder ved ulike tiltak, i tillegg til muligheten til å avdekke svakhetspunkter i systemet.

For kalibrering av matematiske modellene, kan det installeres måleutstyr som måler vannets hastighet og dybde, målepunktet for avrenningen kan være i en kum. Det er alltid ønskelig å kjøre analysemodellen med nedbørshendelse for verifisering av modellen, og for å undersøke om vannmengden som kommer inn i systemet er likt vannmengden som går ut.

For simulering av avløpssystemer kan det benyttes flere simuleringstøytøyer. Her kan vi skille mellom tre ulike kategorier av dataverktøy:

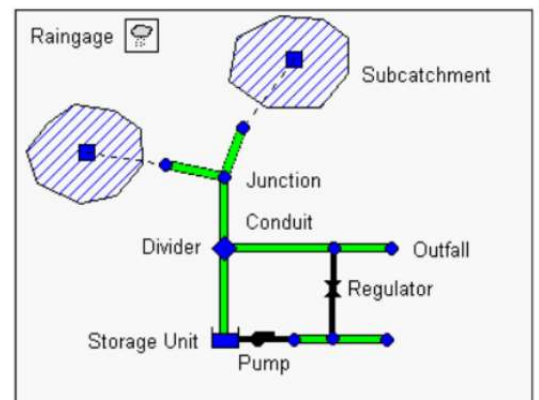
- Tradisjonelle nedbør-avløpsmodeller som SWMM, Mike URBAN og MOUSE, som har en forenklet, hydrologisk komponent for å beregne overflateavrenningen i form av nedbørsfelter, og en ledningsnettkomponent som tar imot avrenningen fra nedbørsfeltene. MIKE URBAN er et program som er utviklet av det Danske Hydrauliske Institutt for overvann. For beregning av en overvannsmodell kreves informasjon om avrenningsområdet, i tillegg til nedbørsmengder, ledninger, kummer, innløp og utløp. MOUSE brukes til modellering av avløp og overvannssystemer, i tillegg blir det brukt som en beregningsmotor for både ROSIE og MIKE URBAN, hvor ROSIE bruker MOUSE motoren til simulering av avrenning og rørstrømning.
- Hydrologiske modeller for overflateavrenningen, som beskriver overflatestrømningen etter nedbør på en fysisk mer realistisk måte. Eksempler er Mike21 og HEC-RAS.
- Modeller som kobler hydrauliske modeller for overflateavrenningen med en hydraulisk ledningsnettmodell. Eksempel er Mike Flood.

## Modellering i SWMM

SWMM er et dynamisk nedbør-avrenning simuleringsprogram. SWMM brukes blant annet til modellering og simulering av både avløpssystemer og overvannssystemer i urbane områder. Programmet er bygd i USA tidlig på 1970-tallet av USEPA (United States Environmental Protection Agency), og er fortsatt under utvikling. Programmet er gratis og kan lastes ned fra internett (Rossman, 2018)

En SWMM nedbør-avrenningsmodell består i prinsippet av tre sammenkoblede komponenter:

1. Nedbørskilden (Raingage), som beskriver intensitet og varighet av en nedbør.
2. Nedbørfelt (Subcatchment), arealer som genererer avrenning fra den mottatt nedbør.
3. Transportsystem, for transportering av avrenningen gjennom et system av ledninger, lagringsenheter, knutepunkter, pumper, mm



Figur 2-18: Fysiske objekter som brukes til å modellere et overvannssystem i SWMM (Rossman, 2018).

SWMM har mulighet til å spore vannmengden og kvaliteten av avrenningen som genereres i hvert delareal. Programmet kan også beregne strømningshastigheten, vanddybden og vannkvaliteten i hver ledning. Simuleringen i SWMM forekommer under en tidsperiode som består av flere steg (Rossman, 2018).

Følgende underkapitlet skal gi leseren et innblikk av de fysiske elementer som kan defineres i en SWMM modell og hvilke parametere som kreves å sette inn for at programmet skal klare å gjøre simulering og generer resultater, i tillegg til beregningsmetoder som SWMM bruker for å beskrive en virkelig prosess.

## 2.2.6 Modelloppbygging i SWMM

For å bygge opp en SWMM modell av et overvannsystem er det nødvendig med nedbørshendelser, nedbørsfelt som genererer avrenning, kummer, rør nett og utløp. I SWMM kan en velge mellom ulike enheter, informasjonsmodeller, strømningsmodeller og tidssteg. Parameterne blir forklart dypere i bruksmanualen til SWMM (Rossman, 2018)

### **Nedbør**

Nedbør blir lagt inn i SWMM i noe som kalles (Rain Gage). Her kan det velges hvilken nedbør som skal benyttes for hvert nedbørfelt. I SWMM modellen kan man benytte en eller flere ulike (Gages) for de modellerte delfeltene, der ulike nedbørfelt kan kobles til ulike (Gage) innenfor det modellerte området. Nedbørparameterne kan enten lastes fra en ekstern fil eller defineres inn i en (Gage). Viktigste parameterne for å definere en (Gage) er (Rossman, 2018):

- Nedbørdata (regnintensitet, volum eller akkumulert volum).
- Tidsintervallet til den samlede dataen.
- Kilden til nedbørsdataen, enten fra ekstern fil eller det er input.
- Navnet på nedbøren, det brukte datakilden.

### **Nedbørfelt (Subcatchments)**

Nedbørfelt i SWMM er et oppsamlingsareal som har en bestemt hydrologiske egenskaper og et utløpspunkt. Dette kan være en kum i systemet eller et annet delfelt. Nedbørfeltet må tegnes manuelt inn i SWMM. Nedbørfeltet i studieområdet bør deles inn i flere delfelt for å presentere avrenningen fra delområdet. Fordelingen blir basert på topografien og overvannsledninger i området. Hvert delfelt har to typer overflate, den ene typen er (permeable) som f.eks. skog og mark, den andre typen er (impermeable) som f.eks. tak, vegger og parkeringsplasser. Delfeltene i SWMM må ha bestemt verdier for å kunne kjøre modellen som:

- Nedbørmåler
- Utløpet
- Areal (ha)
- Bredder på delfeltet (m)
- Fall på terrenget (%)
- Permeabilitet (%)
- Manningstall n (for både permeable og impermeable overflater)
- Gropmagasinerer som presenterer lagringskapasiteten på overflate (mm)
- Infiltrasjonsmetode

For definering av infiltrasjonsevnen til delfeltene kan en velge mellom ulike infiltrasjonsmetoder (Rossman, 2018):

- Horton infiltrasjon
- Green-Amp infiltrasjon
- SCS Curve Number infiltrasjon

### Infiltrasjon

Infiltrasjonsprosessen er et begrep som beskriver prosessen der nedfalte nedbøren synker i den umettede jordsonen og videre ned til grunnvannet. I denne oppgaven ble Horton infiltrasjon metoden benyttet. Horton metoden er den mest kjente infiltrasjonsmetoden. I Horton metoden vil infiltrasjonsevnen synker fra maksimal infiltrasjonshastighet til en minimumshastighet over en lang nedbørshendelse. Avrenningen på overflaten begynner når vannmengden overskrider infiltrasjonskapasiteten. Metoden krever parametere for både maksimal og minimal infiltrasjonsevne. Standard verdier for det er 75-20 mm/hr. Formelen under viser Hortonsligning (Rossman, 2018):

Subcatchment 34	
Property	Value
Name	34
X-Coordinate	582818.662
Y-Coordinate	6586907.170
Description	
Tag	
Rain Gage	nykirke
Outlet	14650
Area	1.11
Width	105
% Slope	0.3
% Imperv	30
N-Imperv	0.013
N-Perv	0.24
Dstore-Imperv	2
Dstore-Perv	4
%Zero-Imperv	5
Subarea Routing	PERVIOUS
Percent Routed	47
Infiltration	HORTON
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0
Land Uses	0
Initial Buildup	NONE
Curb Length	0

**Figur 2-19: Viktig parametere for delfelt (utklipp fra SWMM).**

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

**Formel 3: Hortonsligning for beregning av infiltrasjonskapasiteten i SWMM.**

Hvor:

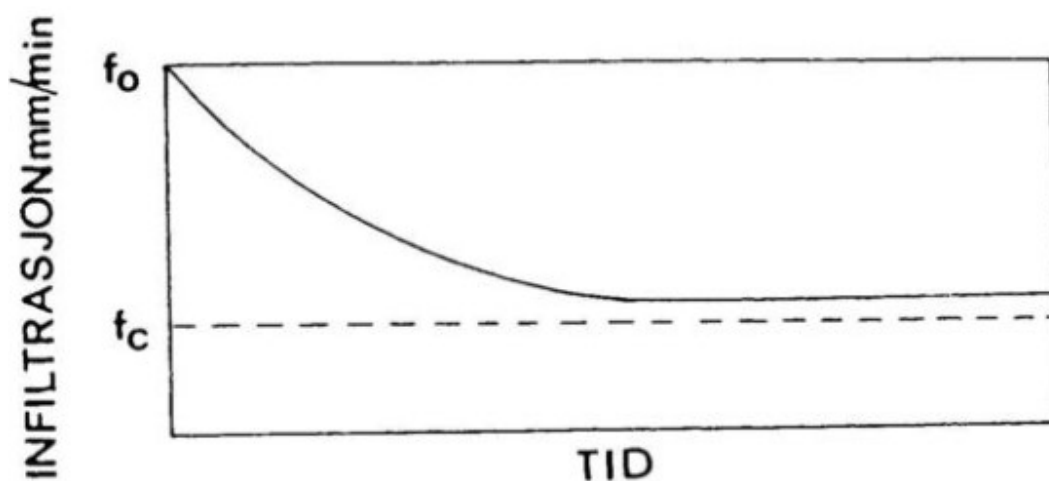
$f(t)$ : Infiltrasjonskapasiteten per tiden  $t$

$f_c$ : Infiltrasjonskapasiteten under mettet forhold (minimums - eller likevekts verdi)

$f_0$ : Maksimal infiltrasjonsverdi

$k$ : Konstant for reduksjon i jordinfiltrasjon (verdien angir hvor raskt infiltrasjonen faller fra  $f_0$  til  $f_c$ )

Horton likningen kan beskrives grafisk, vist i Figur 2-20, hvor infiltrasjonen starter med den høyeste verdien  $f_0$ , ved start av nedbør, og faller mot en konstant til minst infiltrasjonsverdi  $f_c$ .



**Figur 2-20: Grafisk framstilling av Hortons infiltrasjonslikning (Bøyum, et al., 1997).**

### Transportsystemet

Transportsystemet i SWMM er et nettverk som består av rør, pumper, lagring, regulatorer og utløp. Systemet brukes til å transportere vann til resipient eller renseanlegg. Rør kan tegnes inn manuelt, eller lastes inn fra andre kilder som for eksempel Gemini VA.

Mannings formel benyttes for å utrykke sammenhengen mellom strømmingen (Q), tverrsnittareal til rør (A), hydraulisk radius (R) og helningen i røret (S).

$$Q = \frac{1,49}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

**Formel 4: Manningsformel.**

Strømmingen av vannet i SWMM blir styrt av ligningen for massebevaring og momentbevaring. Likningene til Saint Venant som er vist i Formel 5 og Formel 6 benyttes i ulike kompleksitetsgrad for ulike strømminger (Rossman, 2018).

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

**Formel 5: Kontinuitetsligning til Saint Venant.**

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

**Formel 6: Momentbevaringsligning til Saint Venant.**

Hvor:

Q: Avrenningen

A: Areal av nedbørfeltet

q: Hastighets bidrag basert på avrenningen

y: Dybde

g: Gravitasjon

$\chi$ : Lengde på røret

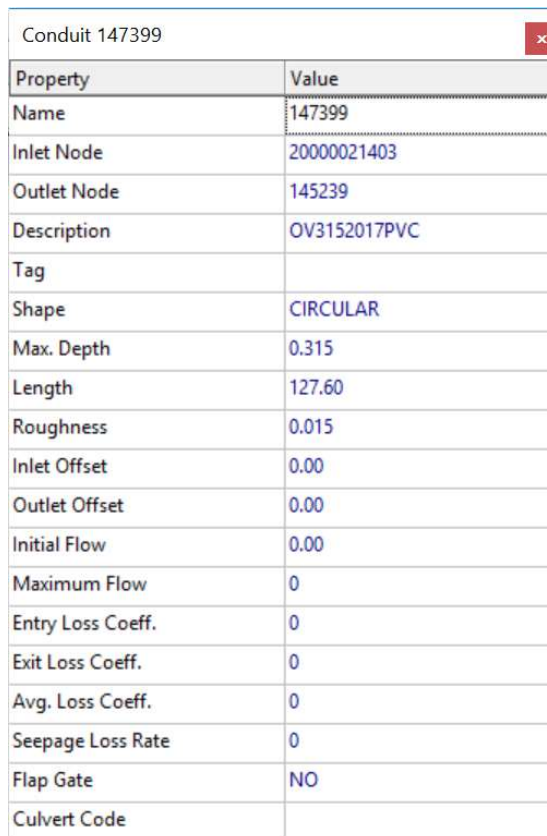
t: Tid

$S_0$ : Bunnhelning i røret

$S_f$ : Friksjonshelning

Rørsystemet i SWMM må ha bestemte parametere for å kunne kjøre modellen som:

- Navnet på innløpsnode
- Navnet på utløpsnode
- Maksimal dybde (verdier beskriver rørdiameter) (m).
- Lengde (m)
- Ruhet



Property	Value
Name	147399
Inlet Node	20000021403
Outlet Node	145239
Description	OV3152017PVC
Tag	
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	0.315
Length	127.60
Roughness	0.015
Inlet Offset	0.00
Outlet Offset	0.00
Initial Flow	0.00
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	

Figur 2-21: Lednings egenskapen (utklipp fra SWMM).

## Kummer

Kummer defineres som noder i SWMM og kan tegnes inn manuelt eller lastes inn fra andre programmer som for eksempel Gemini VA. Parametere som må settes inn for kummer er

- Kum dybden
- Bunnhøyde over havet



### **3 Studieområde og metoder**

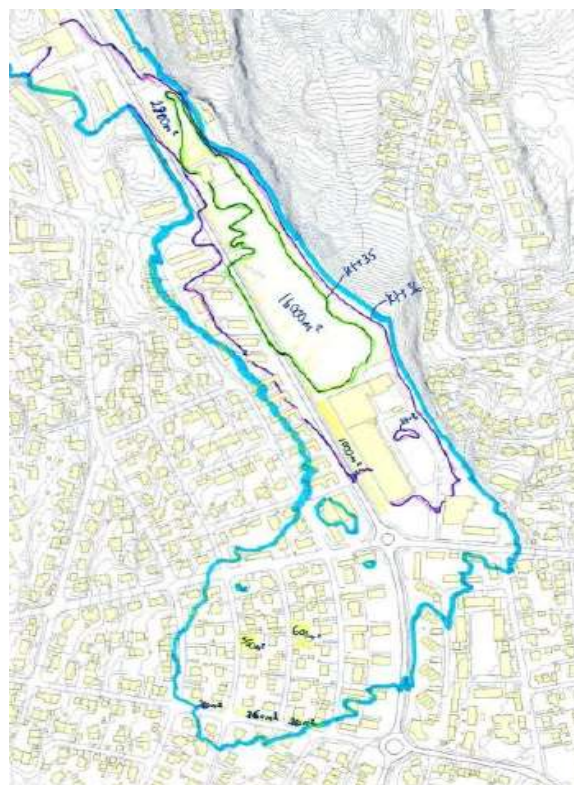
Området Holtandalen har vært spesielt utsatt, hvor ekstrem nedbør i 2015 har overbelastet ledningsnett og skapte skader og kjeller oversvømmelser i flere boliger.

Nedbørshendelse i sommeren 2015 har ført til over 135 kjelleroversvømmelse.

Nedbørsmengden som falt av har en antatt returperiode på 200 år. Hendelsen har gjort kommunen spesielt oppmerksom på overvannsproblematikken og forberedelse på framtidig klimaendringer. Kommunen har satt i gang et prosjekt for å utbedre situasjonen og for å redusere risikoen for flom og oversvømmelser i området. I tillegg skal kommune se på alternativer for både forbedring av ledningsnett og muligheten for håndtering av overvann lokalt.

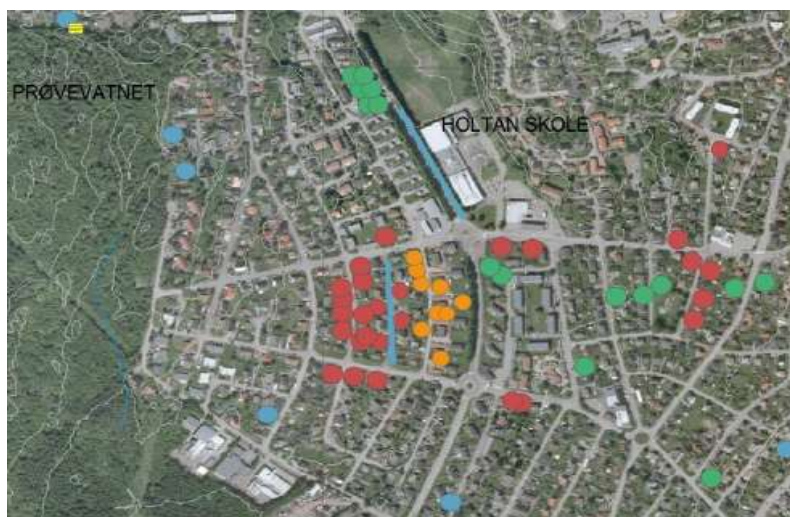
#### **3.1 Områdebeskrivelse og avgrensninger**

Holtandalen området ligger i vestdelen av Horten byen og er avgrenset av Braarudåsen i øst og stor skogsområdet i vest. I følge kommuneplanen er området avsatt til privat boligbebyggelse. Holtandalen området ligger nederst i en dal. Figur 3-1 viser de laveste kotene i området. Det er innenfor disse feltene alt vannet vil samle seg ved flom. Gul arealer viser hvor det kan eventuelt etableres en lokale tiltak for håndtering av overvann.



**Figur 3-1: Viser de laveste koter i Holtandalen (Horten kommune).**

Figur 3-2 viser de utsatte boligene i området. Skade graden er markert med farge, hvor største skader er markert med rødt og gult, mindre skader er bemerket med blått og grønt.



**Figur 3-2: Utsatte boligene i Holtandalen området (Horten kommune).**

### Laveste kjellernivå i utsatt område

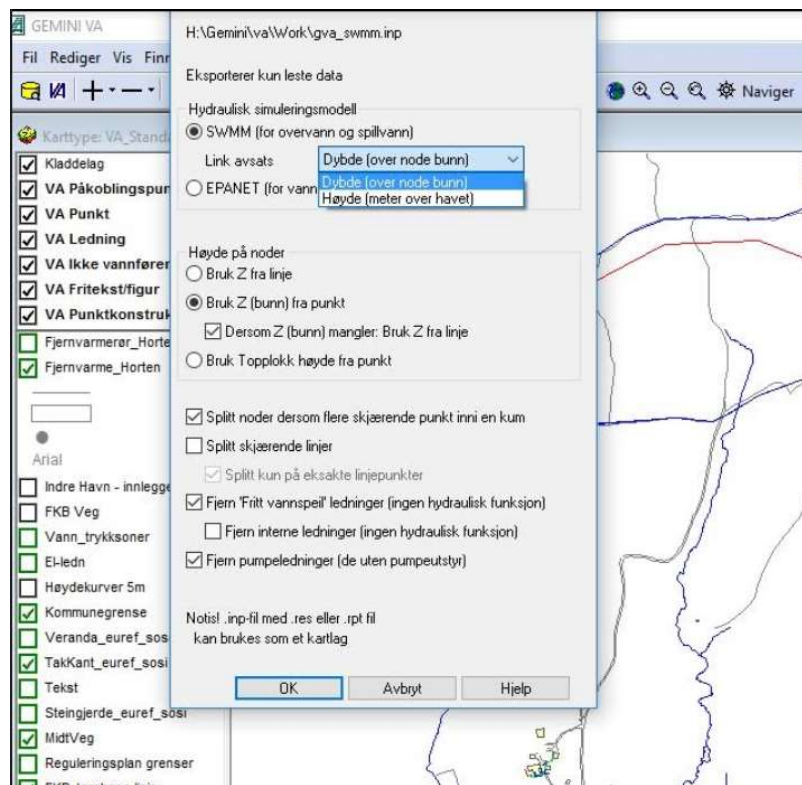
Horten kommune har målt noen av de mest utsatte kjellerne i Holtandalen. Figur 3-3 viser kotehøyde for kjellerne og kotehøyde for spillvannsledning i samme gate.



Figur 3-3: Kotehøyde for kjellerne i Holtandalen (Horten kommune).

## 3.2 Ledningskartverk og modelloppbygging

Ledningsnettets som ble brukt i simuleringen var en eksport fra Gemini VA til programvaren SWMM. Det var flere innstillinger som måtte bli tatt hensyn til i eksporten, som for eksempel å velge de riktige enhetene. Figur 3-4 viser eksportmetoden og innstillingene som er blitt brukt.



**Figur 3-4: Eksport innstillinger fra Gemini til SWMM.**

Det er viktig å kjenne til at i SWMM angis ikke ledningsdimensjon som en diameter, men som dybde (Max Depth). Stikkledninger fra boliger og bygninger ble med i eksporten, dette har bidratt til at det ble mange unødvendige kummer, knutepunkter og ledninger i modellen. Høyde på bunn kum eller kumlokk for mange kummer har ikke fulget med.

Det ble gjort en del justeringer i modellen på bakgrunn av samtaler med Horten kommune, hvor eventuelle feil på kum høyder ble rettet opp, i tillegg ble det gjort noen antagelser på de manglende høyder. Antagelsen var basert på terrenget og høyder på både ledningene og kummene i området. Samtidig var det ledninger som ikke er koblet på hovedledningen, og andre ledninger var ikke koblet til kum. Det ble gjort sammenligning av slik ledninger med kommunens kartverk. Alt feil og mangel ble rettet opp. Det ble også gjort en interpolering mellom noen av kummene basert på terrengets helning. Deretter ble tegnet inn nedbørsfelter. Modellen består av 228 rør og 218 koblingspunkter,

der 154 av dem er kummer (Storage Units). Totalt ble det tegnet inn 97 nedbørfelter. Helningen på nedbørfeltene følger helningen på veiene i området og er vist i Figur 3-5.



Figur 3-5: Fallretning og helningsprosent på veiene i Holtandalen (Horten kommune).

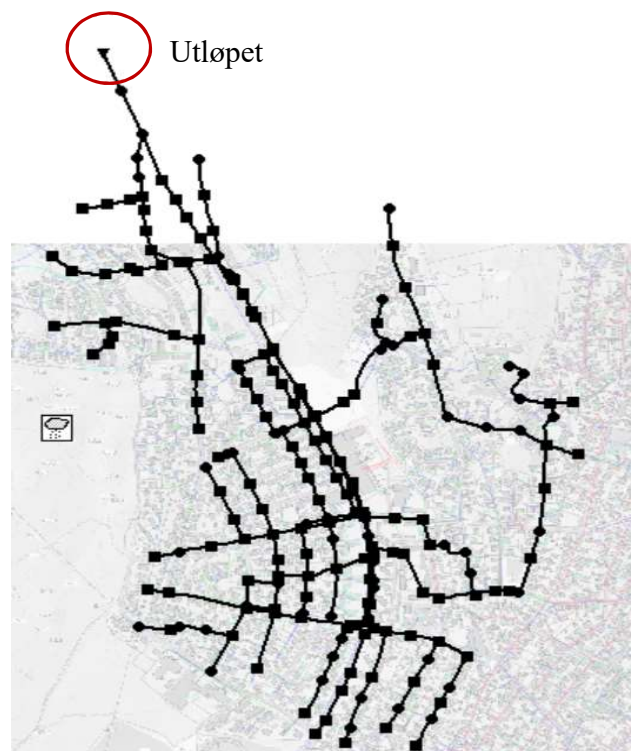
Parametere til modellen ble valgt ved hjelp av SWMM manualen. Det ble valgt dynamisk bølgerouting i SWMM modellen for å kunne se på vannoppstuvning. Strømningsenheten ble satt til liter per sekund. For infiltrasjon ble det valgt Hortons modell. Andel tette flater ble valgt utfra GIS. Primærverdiene som ble valgt i modellen er vist i Tabell 3-1.

Tabell 3-1: Parametere valgt til modellen.

Parameter	Verdien
Bredden til nedbørfelt	Kvadratroten av arealet (m)
Andel tette flater	30 %
Grop-magasin for tette flater	2 mm
Grop-magasin for permeable flater	4 mm
Andel av tette flater uten gropmagasin	5 %
Mannings tall for tette flater	0.013
Mannings tall for permeable flater	0.24
Mannings tall for rør	0.015
Maksimum infiltrasjonsrate (Horton)	75 mm/hr
Minimum infiltrasjonsrate (Horton)	20 mm/hr
Tidskonstant (Horton)	4 hr <sup>-1</sup>

### Ledningsnett

Rørdimensjonen i systemet varierer fra 200 mm til 1400 mm. Det ble også lastet inn et bakgrunnskart i modellen for å jobbe mot. Figur 3-6 viser hvordan ledningsnett ser ut i SWMM



Figur 3-6: Overvannsnett i Holtandalen

### 3.3 Overflatedata

Feltet har et areal på ca 97 hektar. Store deler av området består av eneboliger, leiligheter og ungdomskolen. Nedbørfeltet har utløp som fortsetter i hovedledning. Figur 3-6 viser hvor utløpet for nedbørfeltet er plassert i modellen. Hovedledningen fortsetter mot nord og videre til Oslofjorden.

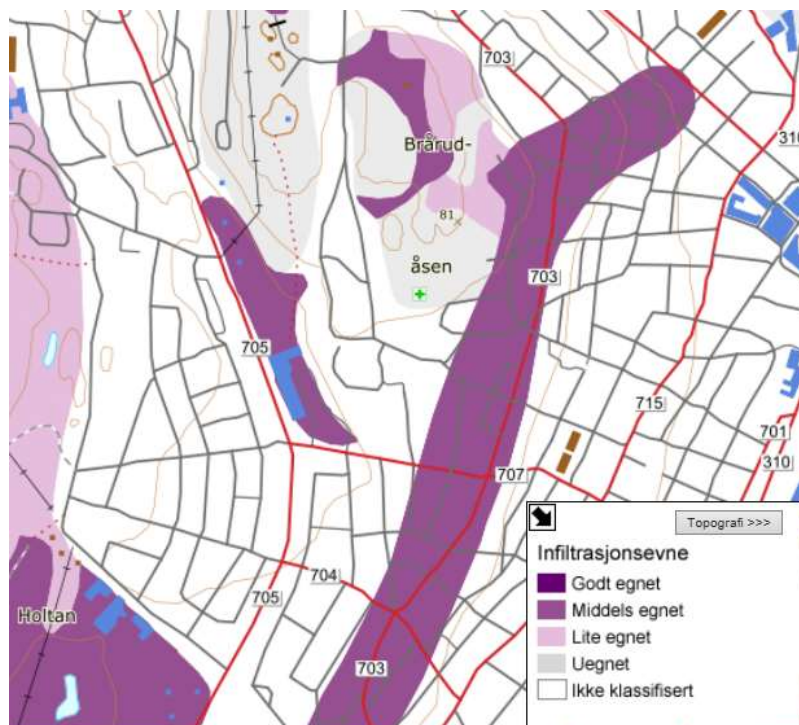
Andel tette flater i området som presenterer vegger og bygninger ble valgt utfra GIS og observasjon i feltet. Tabell 3-2 viser en oversikt over tett flate andelen.

**Tabell 3-2: Andel tetteflater i området.**

Arealer fra GIS, 13.04.2018, kl. 1100					
	Areal (m2)	Andel av feltareal (%)			
Antatt andel av takflater direkte koblet på nett	25%				
Percent routed	47%				
	Areal (m2)	Andel av feltareal (%)			
Nedbørfelt	968844	100,00%			
Veg	103638	10,70%			
GS-veg	4120	0,43%			
Traktorveg	217	0,02%			
Trafikkøye	424	0,04%			
SUM veg	108399	11,19%			
Bygning	170345	17,58%			
Annen bygning	6422	0,66%			
Takoverbygg	755	0,08%			
SUM, bygning	177522	18,32%			
SUM, alle tette flater (% Imperv)	285921	29,51%			
Takflate antatt direkte koblet på nett	44380,5	4,58%			
Takflate med antatt avrenning til permeable flater	133141,5	13,74%			

### Infiltrasjon i feltet

Infiltrasjonsevnen i nedbørfeltet er noe variert, boligområdet er ikke klassifisert. Vestsiden av feltet er et skogsområde som kan gi lite egnet infiltrasjonsevne. Øst, nordøst og sørsiden er det et område med middels egnet infiltrasjonsevne, kartet for infiltrasjonsevne er vist i Figur 3-7.



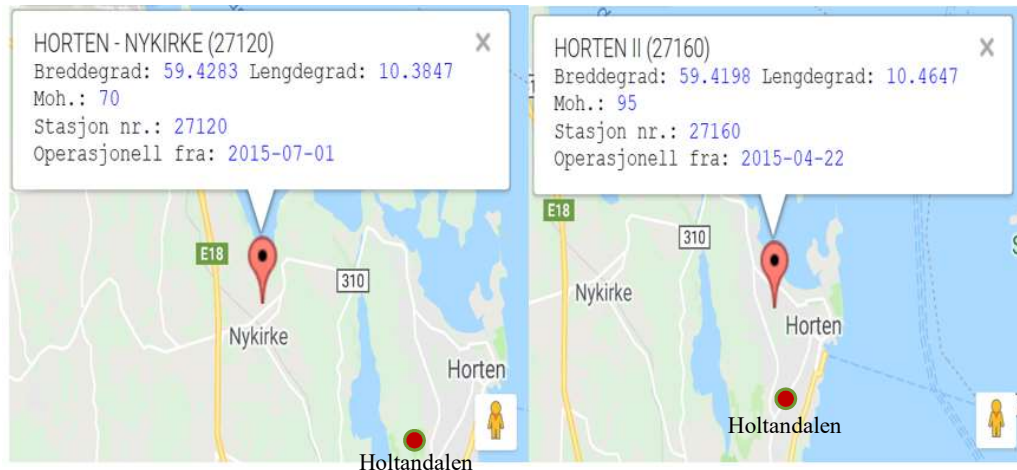
Figur 3-7: Infiltrasjonsevne i området (Norges Geologiske Undersøkelse NGU-2018).

### 3.4 Nedbørsinput

Nedbørsdata er hentet ut fra to målestasjoner; Nykirke målestasjon og Horten II målestasjon. Stasjonen i Nykirke ligger i Horten kommune, 70 meter over havet. Målestasjonen ble opprettet i juli 2015 og måler både nedbør og temperatur. Horten II stasjon har registrert høyere nedbørsmengde for hendelse i september 2015. Horten II målestasjon ligger nord for Horten byen og på 95 meter over havet. Målestasjonen ble



opprettet i april 2015 og måler også nedbør og temperatur. Figur 3-8 viser hvor de to målestasjonene ligger i forhold til Holtandalen området.



**Figur 3-8: Nykirke og Horten II målestasjoner  
(Målestasjon-Nykirke, 2018) (Målestasjon-Horten II, 2018).**

**For simuleringen ble det valgt ut følgende nedbørhendelser:**

**1. Nedbørdata fra Nykirke målestasjon**

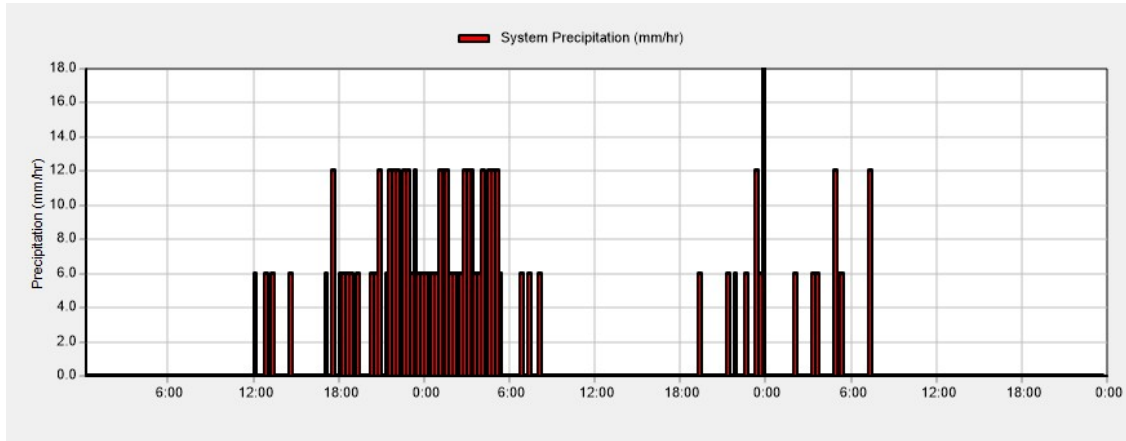
Hendelsen har høytidsoppløsning (minuttoppløsning), men det ble målt mindre nedbørmengde enn Horten II stasjonen, som ligger nærmest Holtandalen.

Tabell 3-3 viser nedbørmengden fra Nykirke målestasjon. Total nedbør er 136.9 mm, hvor 21.483 mm av det renner av og 114.881 mm infiltrerer i grunnen.

**Tabell 3-3: Nedbør, avrenning og infiltrasjonsmengden for Nykirke.**

***** Runoff Quantity Continuity *****	Volume hectare-m	Depth mm
	-----	-----
Total Precipitation .....	10.660	136.900
Evaporation Loss .....	0.000	0.000
Infiltration Loss .....	8.946	114.881
Surface Runoff .....	1.673	21.483
Final Storage .....	0.045	0.581
Continuity Error (%) .....	-0.033	

Nedbøren fordelt over tiden fra Nykirke målestasjonen er vist i Figur 3-9.



Figur 3-9: Søylene viser nedbør mellom kl 12:00 og 06:00, 1, 2 og 3 september 2015.

## 2. Horten II målestasjon

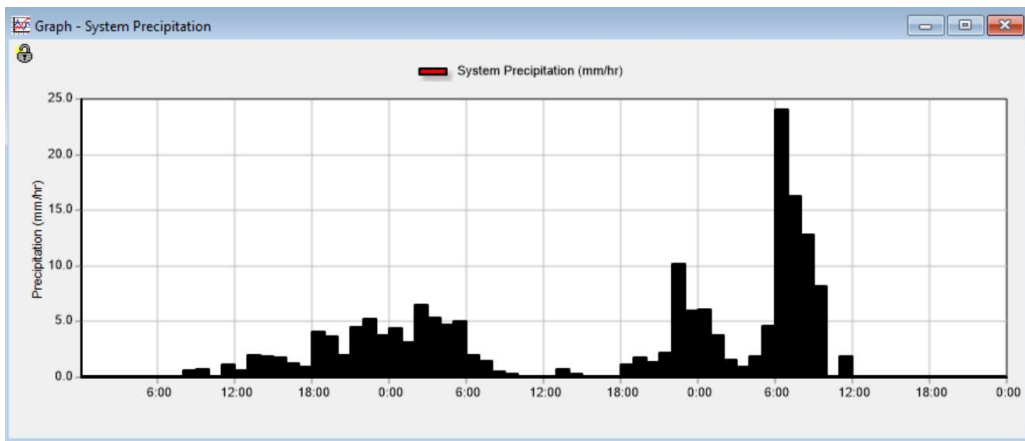
Stasjonen ligger veldig nær Holtandalen, men nedbørsdata som ble registrert har for grov tidsoppløsning (timeoppløsning), det betyr at vi får grovt fordeling av nedbørmåling over tid. Det gjør at nedbørdata blir jevnet ut og vi mister flømtoppen som forårsaket kjelleroversvømmelser. En slik fordeling gir ikke en realistisk simulering.

Tabell 3-4 viser nedbørsmengden fra Horten II modellen. Total nedbør er 169.1 mm, hvor 28.179 mm av det renner av og 140.353 mm infiltrerer i grunnen.

Tabell 3-4: Nedbør, avrenning og infiltrasjonsmengden for Horten II.

***** Runoff Quantity Continuity *****	Volume hectare-m -----	Depth mm -----
Total Precipitation .....	13.168	169.100
Evaporation Loss .....	0.000	0.000
Infiltration Loss .....	10.929	140.353
Surface Runoff .....	2.194	28.179
Final Storage .....	0.044	0.571
Continuity Error (%) .....	-0.002	

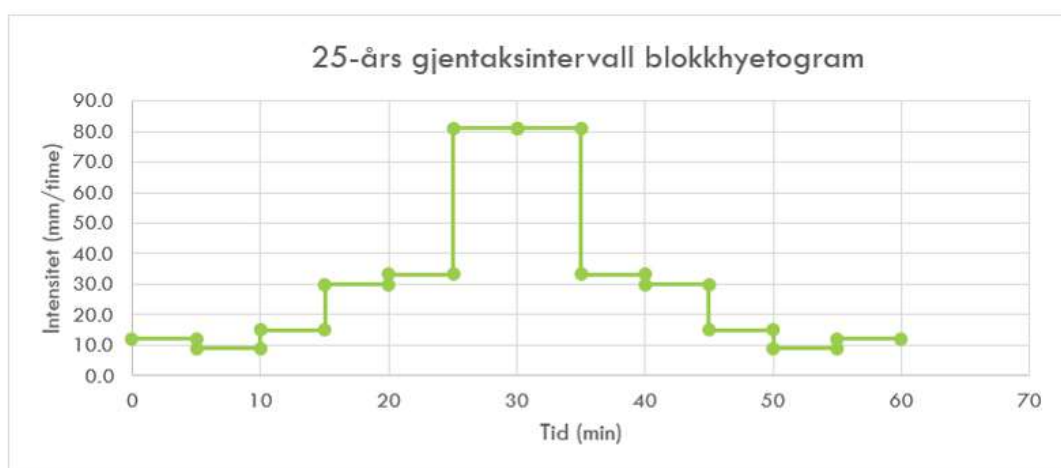
Nedbøren fordelt over tiden fra Horten II målestasjonen er vist i Figur 3-10.



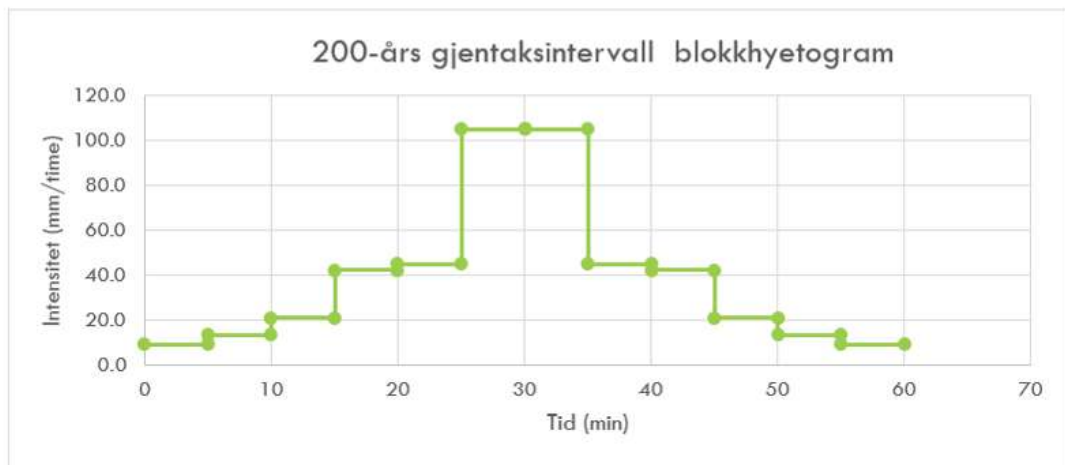
Figur 3-10: Søylen viser nedbør mellom kl 08:00 og 12:00, 1, 2 og 3 september 2015.

### 3. Hyetogram for 25 og 200 års gjentaksintervall

For konstruksjon av blokkhyetogrammene ble IVF-kurven fra Tønsberg Kilen basert på 25- og 200-års gjentaksintervall benyttet. Blokkhyetogrammene er vist i Figur 3-11. og 3-12. Simuleringer ble kjørt for begge gjentaksintervaller. Hensikten med å kjøre simulering med hyetogram er for å undersøke hvordan ledningsnettets reagerer med et bestemt gjentaksintervall. Resultatene blir representert i kapittel 4.



Figur 3-11: Blokkhyetogram for 25-års gjentaksintervall.



**Figur 3-12: Blokkhyetogram for 200-års gjentaksintervall.**

Tabell 3-5 viser nedbørmengden fra Hyetogram for 25-års gjentaksintervall. Total nedbør er 30 mm, hvor 5.562 mm av det renner av og 23.869 mm infiltrerer i grunnen.

**Tabell 3-5: Nedbør, avrenning og infiltrasjonsmengden for 25-års gjentaksintervall.**

***** Runoff Quantity Continuity *****	Volume hectare-m -----	Depth mm -----
Total Precipitation .....	2.336	30.000
Evaporation Loss .....	0.000	0.000
Infiltration Loss .....	1.859	23.869
Surface Runoff .....	0.433	5.562
Final Storage .....	0.045	0.578
Continuity Error (%) .....	-0.031	

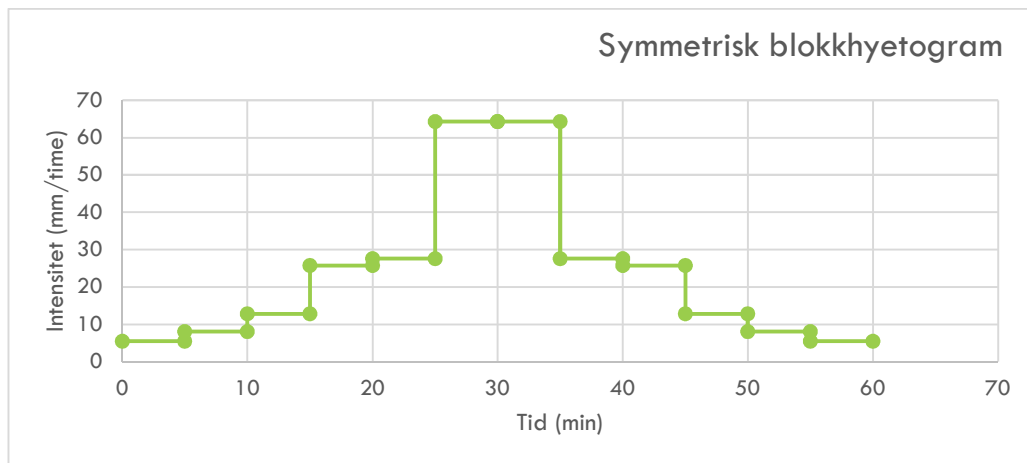
Tabell 3-6 viser nedbørmengden fra Hyetogram for 200-års gjentaksintervall. Total nedbør er 39.2 mm, hvor 10.804 mm av det renner av og 27.833 mm infiltrerer i grunnen.

Tabell 3-6: Nedbør, avrenning og infiltrasjonsmengden for 200-års gjentaksintervall.

***** Runoff Quantity Continuity *****	Volume hectare-m -----	Depth mm -----
Total Precipitation .....	3.053	39.200
Evaporation Loss .....	0.000	0.000
Infiltration Loss .....	2.167	27.833
Surface Runoff .....	0.841	10.804
Final Storage .....	0.045	0.578
Continuity Error (%) .....	-0.036	

#### 4. Nedbørdata med 24 mm på 60 min

Dette har samme form som 200-års Hyetogrammet fra Tønsberg målestasjon (med god oppløsning), Nedbørdata ble skalert slik at det gir oss 24 mm nedbør på 60 min. Dette er like mye nedbør som falt i den mest nedbørrike timen i hendelsen i september 2015. Det ble konstruert et blokkhyetogram for denne nedbørhendelsen. Hyetogrammet er vist i Figur 3-13.



Figur 3-13: Blokkhyetogram for nedbørdata med 24 mm på 60 min.

Tabell 3-7 viser nedbørsmengden for 24 mm på 60 min. Total nedbør er 23.998 mm, hvor 6.628 mm av det renner av og 16.799 mm infiltrerer i grunnen.

**Tabell 3-7: Nedbør, avrenning og infiltrasjonsmengden for 24 mm på 60 min.**

*****	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
*****	-----	-----
Total Precipitation .....	1.869	23.998
Evaporation Loss .....	0.000	0.000
Infiltration Loss .....	1.308	16.799
Surface Runoff .....	0.516	6.628
Final Storage .....	0.045	0.578
Continuity Error (%) .....	-0.026	

## 4 Resultat, analyse og diskusjon

### 4.1 Simuleringer for eksisterende situasjon med nedbørhendelsen fra september 2015.

Det ble gjennomført tre simuleringer av dagens situasjon. Simuleringene skal representere hendelsen i september 2015, og er basert på de målte nedbørdataene fra Nykirke og Horten II målestasjoner.

Figurene som er representert i det kapitlet er tatt ut fra det tidspunktet med størst vannføring, dermed høyest vannivå.

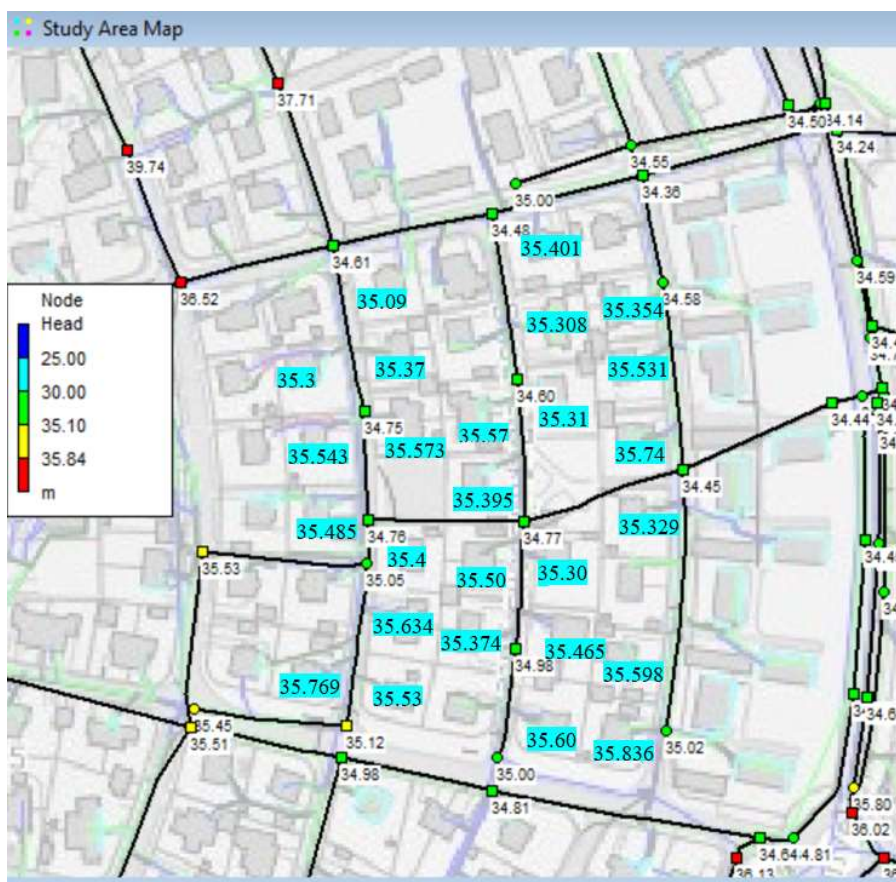
#### 4.1.1 Nedbørdata fra Nykirke målestasjon:

For denne hendelsen er figurene tatt ut på tidspunktet 02-09-2015 kl 21:45.

#### Oppstuvning i kummene

Figur 4-1 viser kjellernivåer sammenlignet med vannivået i kummene for nedbørdata fra Nykirke målestasjon. Ved å sammenligne vannstanden i kummene (Head) med de målte kjellernivåer i utsatt område, ser vi at kummene har en lavere vannstand enn kjellernivået, og dermed ingen kjelleroversvømmelse i dette tilfelle.

Kummer med gul farge har vannstand over laveste kjellernivå blant de innmålte kjellerne. Kummer med rød farge har vannstand over høyeste kjellernivå blant de innmålte kjellerne.

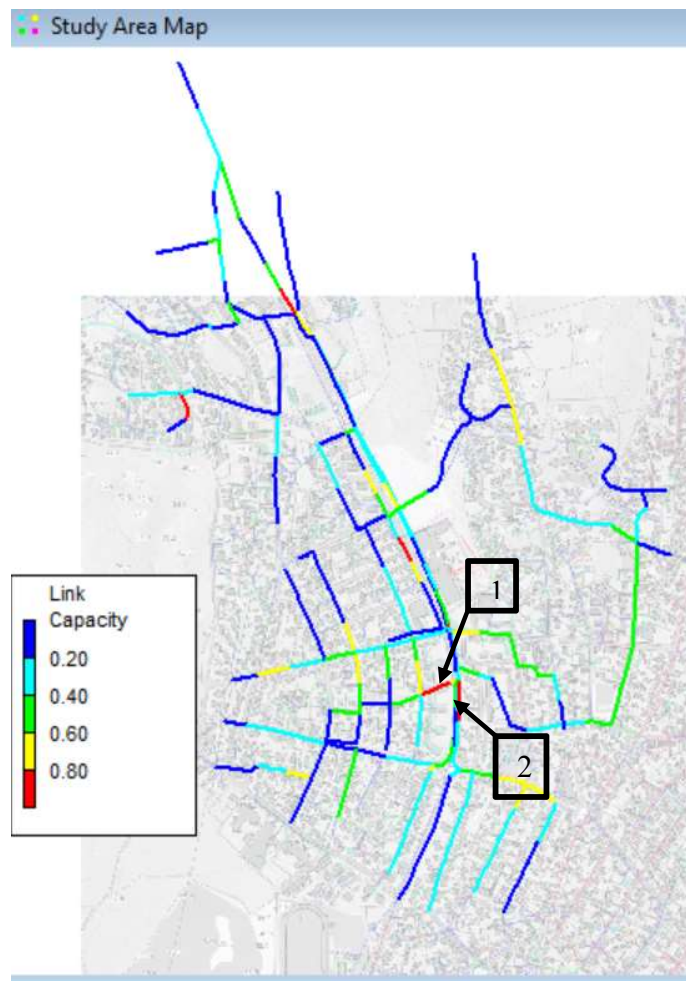


Figur 4-1: Kjellernivåer sammenlignet med vannivået i kummene for nedbør fra Nykirke i det mest utsatt område.

### Kapasitet til ledninger

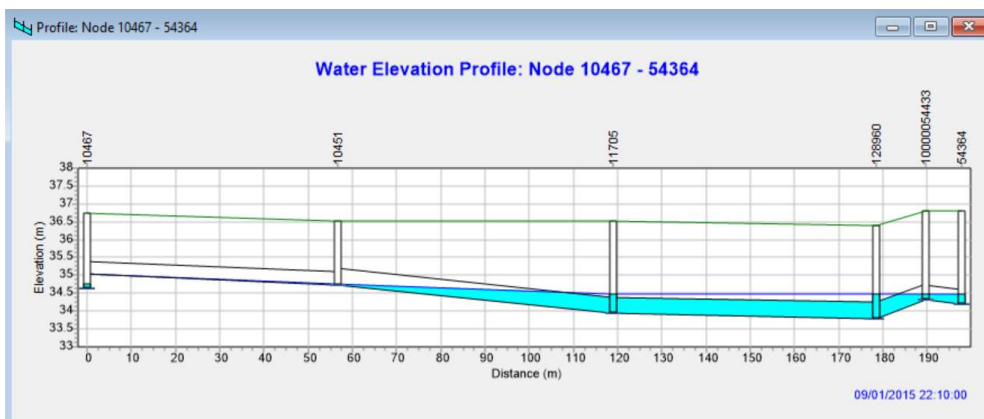
Figur 4-2 viser hvor stor del av ledningskapasiteten benyttes, nærmere bestemt vannføring i røret som andel av vannføring ved fullt rør og normalstrømning. Ut fra figuren ser vi at ledningsnettet har god kapasitet for nedbør fra Nykirke målestasjon.





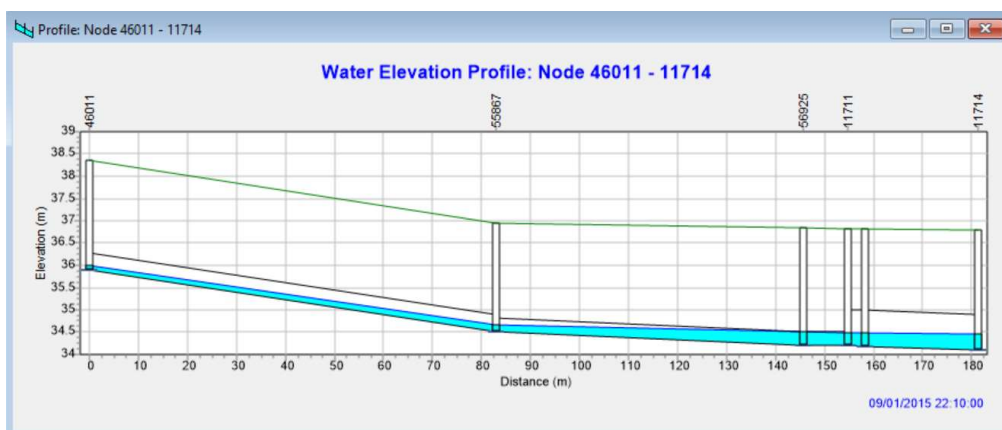
Figur 4-2: Ledningskapasiteten for nedbør fra Nykirke målestasjon.

Ledning nummer 1 i Figur 4-2 får overkapasitet i alle simuleringer (Rød farge). Årsaken til det er at ledningen er et bunnpunkt. Vannet blir stående i ledningen alltid (en kraftig svanke) (den er rød pga. fallet, ikke pga. vannføringen) Figur 4-3 viser hvordan ledningen har fall fra begge retninger.



**Figur 4-3: Bunnpunktledningen.**

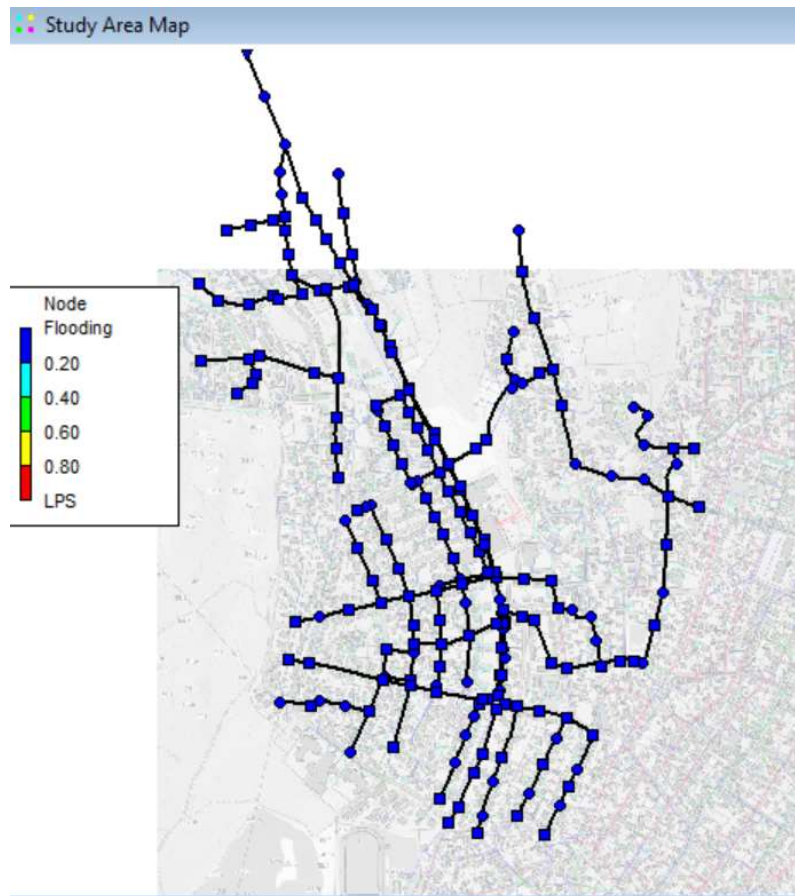
Ledning nummer 2 i Figur 4-2 blir overbelastet (Rød farge). Årsaken til det er at ledningen er av mindre dimensjon (315 mm) mellom to større ledninger (400 og 800 mm) Figur 4-4 viser forskjellig dimensjon på ledningene.



**Figur 4-4: Overbelastede ledning.**

### Oversvømmelser i kummene

Figur 4-5 viser hvor mye vann som tømmes ut av kummene pga. oppstuvning til terrengnivå. Ut fra figuren ser vi at det ikke var oppstuvning til terreng noe sted i modellen som representerer nedbørdata fra Nykirke målestasjon.



Figur 4-5: Kum oversvømmelser for nedbør fra Nykirke målestasjon.

## Diskusjon

Simuleringen som er basert på nedbørdata fra Nykirke målestasjon gir ikke kapasitetsproblemer for ledningsnettet eller oppstuvning i kummene, fordi målestasjonen ligger et stykke unna studieområdet og den har fanget mindre mengde nedbør enn Horten II stasjon som er i nærheten av området. I tillegg er modellen ikke kalibrert mot vannføringsmålinger i området.

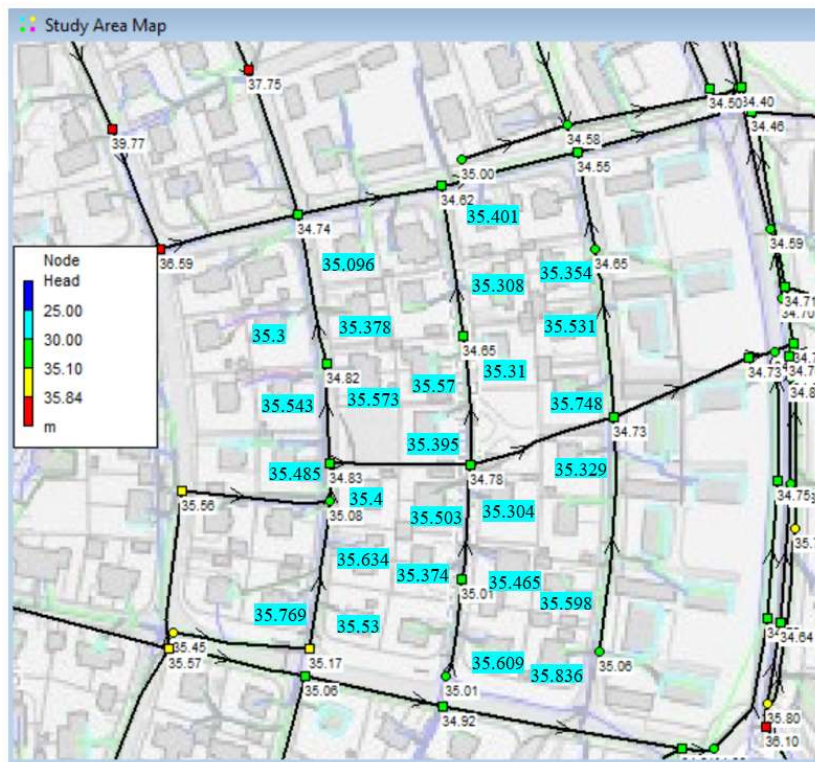
### 4.1.2 Nedbørdata fra Horten II målestasjon:

Nedbørsdata fra Horten II målestasjon har grov tidsoppløsning (timeoppløsning).

Figurene for denne hendelsen er tatt ut på tidspunktet 03-09-2015 kl 07:00.

#### Oppstuvning i kummene

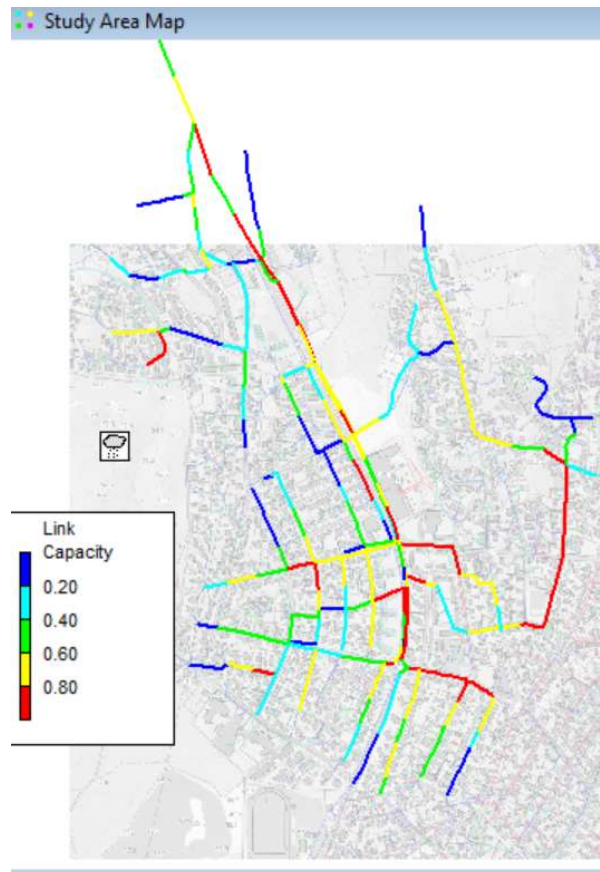
Figur 4-6 viser kjellernivåer sammenlignet med vannivået i kummene for nedbørdata fra Horten II målestasjon. Ved å sammenligne vannstanden i kummene (Head) med de målte kjellernivåer i utsatt område, ser vi at kummene har en lavere vannstand enn kjellernivået, og dermed ingen kjelleroversvømmelse for dette nedbørtilfelle.



Figur 4-6: Kjellernivåer sammenlignet med vannivået i kummene for nedbør fra Horten II (utklippet fra SWMM).

### Kapasitet til ledninger

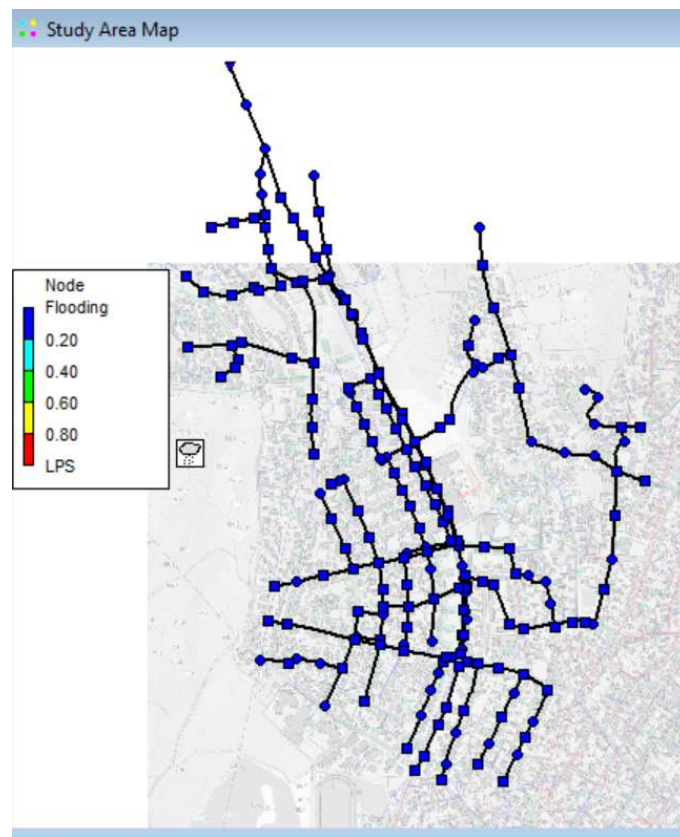
Figur 4-7 viser hvor stor del av ledningskapasiteten benyttes. Ut fra figuren ser vi at noen ledninger blir overbelastet under simuleringen for nedbør fra Horten II målestasjon. De overbelastede ledninger får rød farge i modellen.



Figur 4-7: Ledningskapasiteten for nedbør fra Horten II målestasjon.

### Oversvømmelser i kummene

Figur 4-8 viser hvor mye vann som tømmes ut av kummene pga. oppstuvning til terrengnivå. Figuren viser at det ikke var oppstuvning til terreng noe sted i modellen som representerer nedbørdata fra Horten II målestasjon.



Figur 4-8: Kum oversvømmelser for nedbør fra Horten II målestasjon.

## Diskusjon

Simuleringen som er basert på nedbørdata fra Horten II målestasjon gir mer kapasitetsproblem for ledningsnettets enn det vi fikk ved bruk av Nykirke nedbørdata. Forklaring på det er at Horten II stasjon som er i nærheten av området har fanget større mengde nedbør, dermed større belastning på ledningsnettets. Oppstuvning av vannivå i kummene er lavere enn kjellernivået og dermed ingen oversvømmelse i dette tilfelle. Modellen er ikke kalibrert mot vannføringsmålinger i området.

## 4.2 Simuleringer med hyetogrammer fra Tønsberg for 25- og 200-års gjentaksintervall

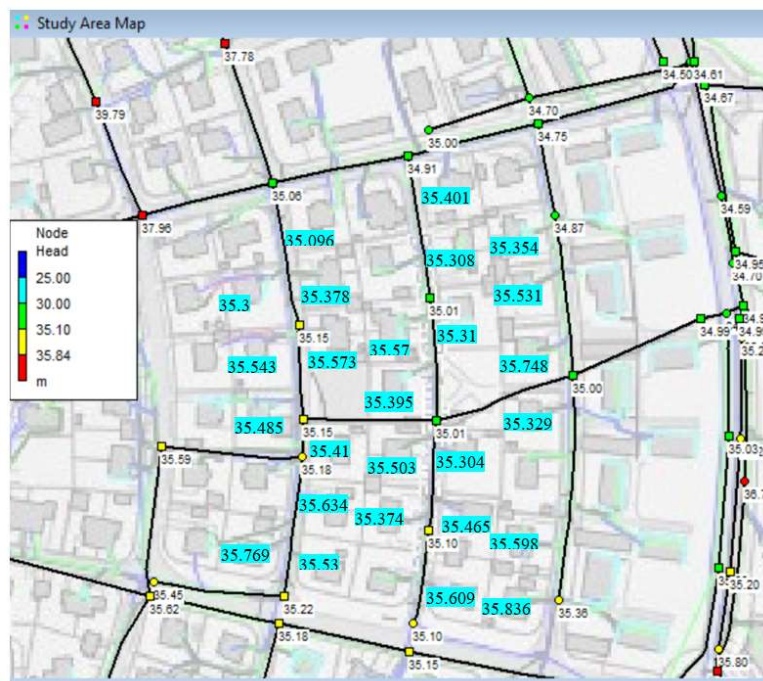
I oppgaven ble det valgt å kjøre simuleringer for 25 og 200 års gjentaksintervall. Resultat og diskusjon er representert i følgende kapitler.

### 4.2.1 Hyetogram for 25-års gjentaksintervall

Målet for denne simuleringen er å undersøke hvordan ledningsnettets vil reagere med 25-års gjentaksintervall. Figurene for denne hendelsen tatt ut på tidspunktet 03-05-2018 kl 00:45.

#### Oppstuvning i kummene

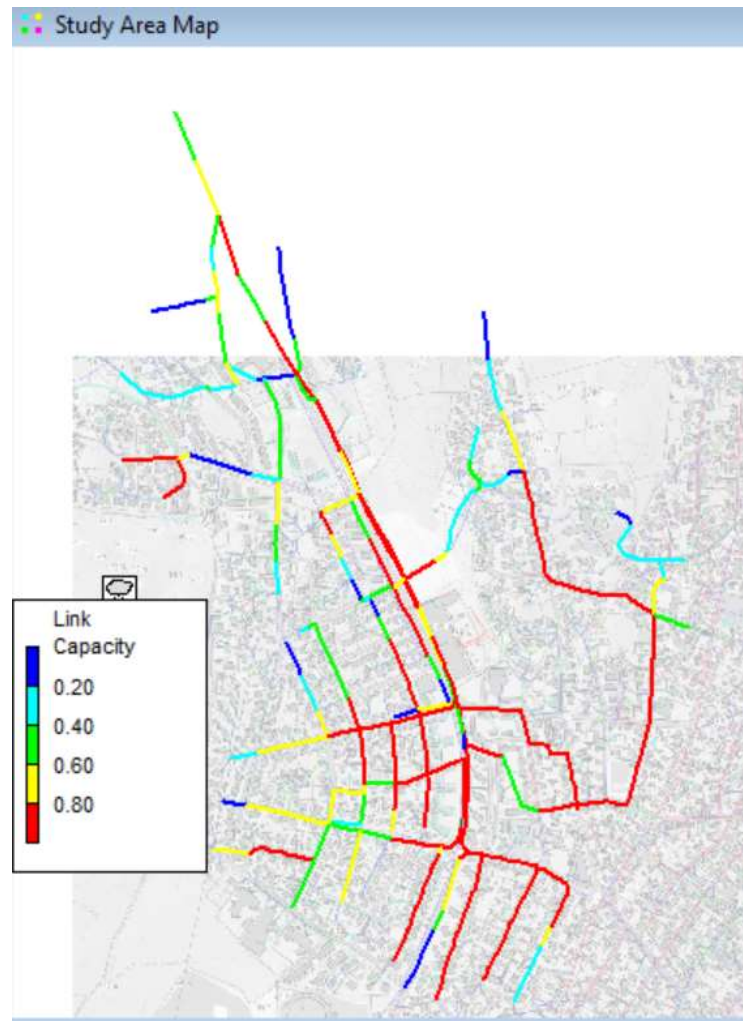
Ved å sammenligne vannstanden i kummene med målte kjellernivåer i utsatt område, ser vi at ingen av kummene i det utsatt område har høyere vannstand enn kjellernivået, og dermed ingen oversvømmelse i kjellere ved 25-års gjentaksintervall. Figur 4-9 viser kjellernivåer sammenlignet med vannnivået i kummene for nedbør med 25-års gjentaksintervall.



Figur 4-9: Kjellernivåer sammenlignet med vannnivået i kummene for 25-års gjentaksintervall.

## Kapasitet til ledninger

Figur 4-10 viser hvor stor del av ledningskapasiteten benyttes. Ut fra figuren ser vi at flere ledninger blir overbelastet under simulering for nedbør med 25-års gjentaksintervall.

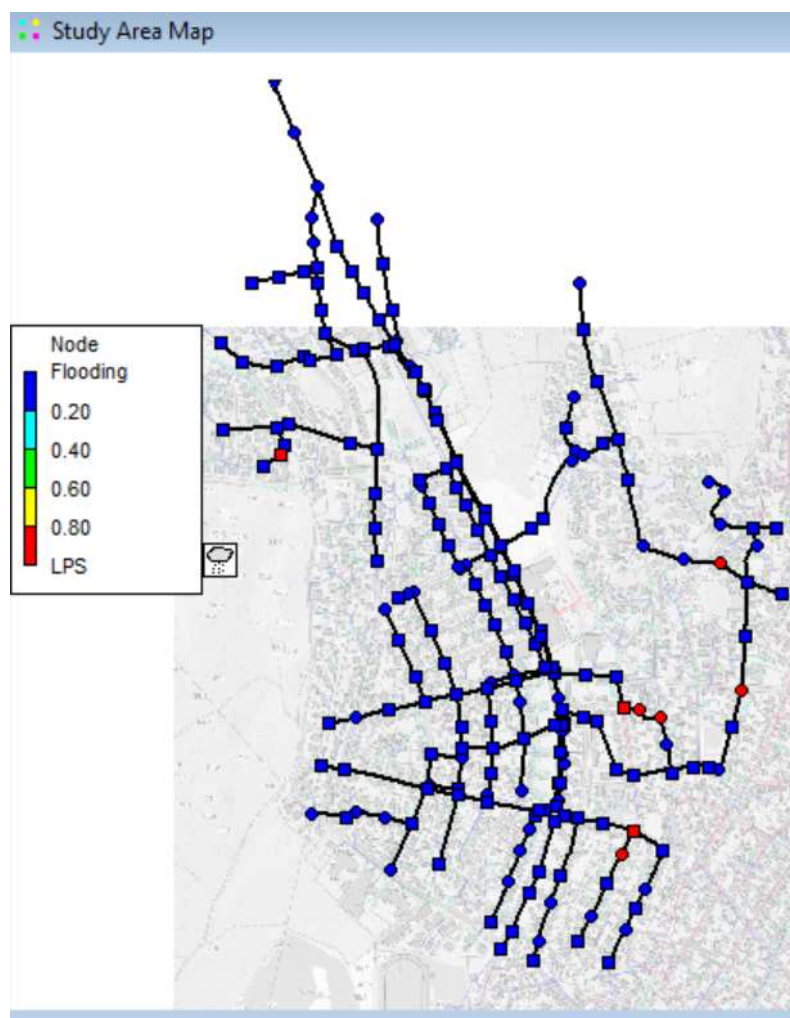


Figur 4-10: Kapasitetskart for ledningsnett for 25 års gjentaksintervall.

## Oversvømmelser i kummene

Figur 4-11 viser hvor mye vann som tømmes ut av kummene pga. oppstuvning til terrengnivå. Ut fra figuren ser vi at det var oppstuvning til terreng i 8 kummer i modellen som representerer nedbørdata fra 25-års gjentaksintervall. Kummene er utenfor vårt studieområde.





Figur 4-11: Oversvømmelser i kum for 25 års gjentaksintervall.

## Diskusjon

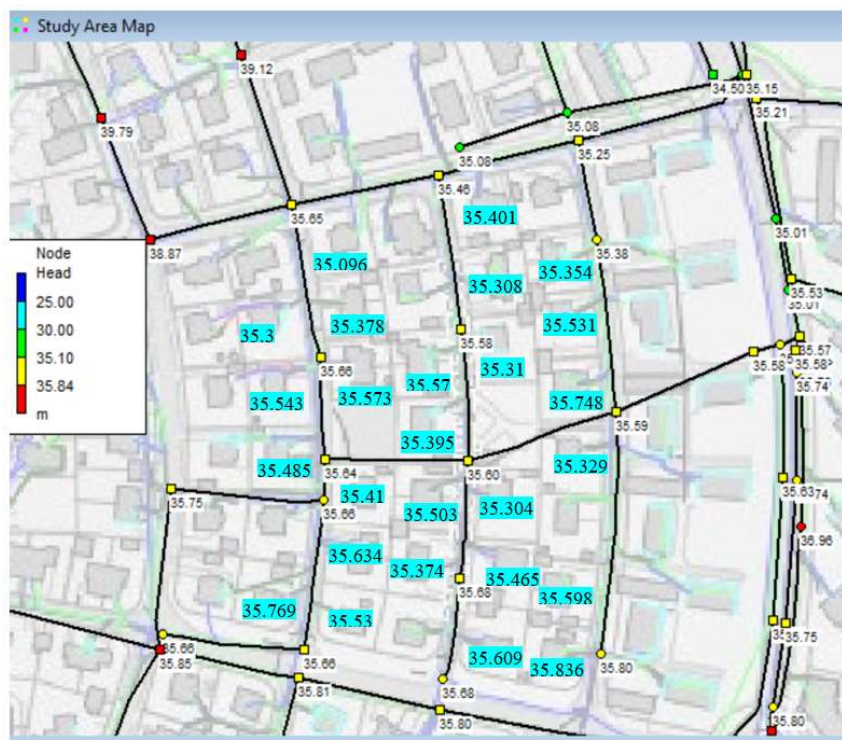
Simuleringen som er basert på nedbørdata fra 25-års gjentaksintervall gir mer kapasitetsproblem for ledningsnettets enn det vi fikk fra både Nykirke og Horten II målestasjoner. Forklaring på det er at den registrerte nedbørsmengden i løpet av en time både ved Nykirke og Horten II har lavere gjentaksintervall enn 25-år. Det er registrert 24 mm regn i løpet av 1 time i Horten II stasjon, det svarer til mellom 5 og 10 års-gjentaksintervall. I Nykirke ble det registrert 9.8 mm regn i løpet av 1 time, som tilsvarer mindre enn 2 års gjentaksintervall. Tabell 3-5 viser at 25-års regn med en time varighet inneholder 30 mm nedbør

## 4.2.2 Hyetogram for 200 års gjentaksintervall

Målet for denne simuleringen er å undersøke hvordan ledningsnettets vil reagere med 200-års gjentaksintervall. Figurene for denne hendelsen tatt ut på tidspunktet 03-05-2018 kl 00:50 og kl 01:00.

### Oppstuvning i kummene

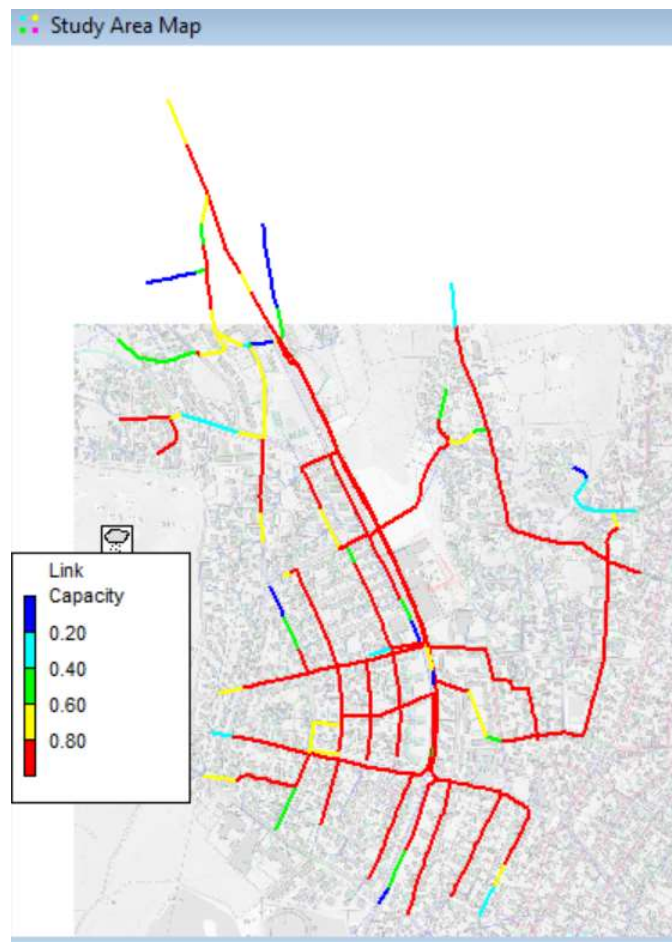
Ved å sammenligne vannstanden i kummene (Head) med de målte kjellernivåer i utsatt område, ser vi at de fleste kummene i det utsatt område har høyere vannstand enn kjellernivået. Det vil oppstå oversvømmelse i kjellere ved 200-års gjentaksintervall. Figur 4-12 viser kjellernivåer sammenlignet med vannnivået i kummene for nedbør med 200-års gjentaksintervall.



Figur 4-12: Kjellernivåer sammenlignet med vannnivået i kummene for nedbør med 200 års gjentaksintervall.

### Kapasitet til ledninger

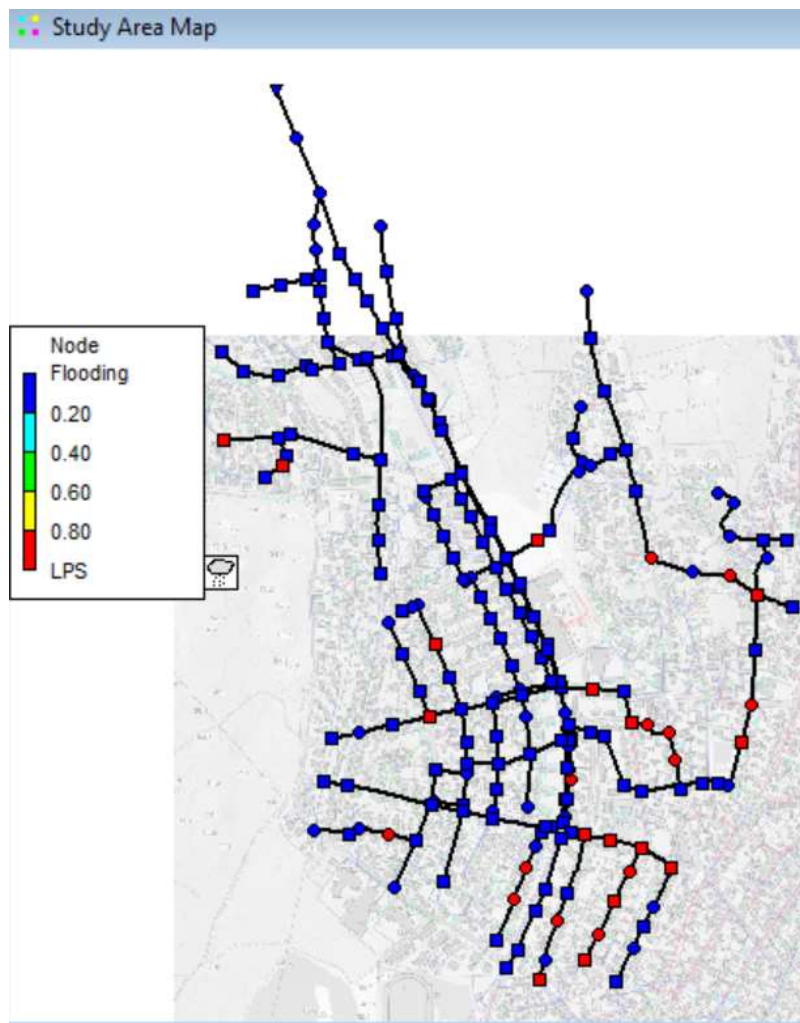
Figur 4-13 viser hvor stor del av ledningskapasiteten benyttes. Ut fra figuren ser vi at de fleste ledninger blir overbelastet under simulering for nedbør med 200-års gjentaksintervall.



Figur 4-13: Kapasitetskart for ledningsnettet for 200 års gjentaksintervall.

### Oversvømmelser i kummene

Figur 4-14 viser hvor mye vann som tømmes ut av kummene pga. oppstuvning til terrengnivå. Ut fra figuren ser vi at det oppstår oppstuvning til terreng i 29 kummer i modellen som representerer nedbørdata fra 200-års gjentaksintervall. De fleste kummene med oversvømmelse ligger utenfor vårt studieområde.



Figur 4-14: Oversvømmelser i kum ved 200 års gjentaksintervall.

## Diskusjon

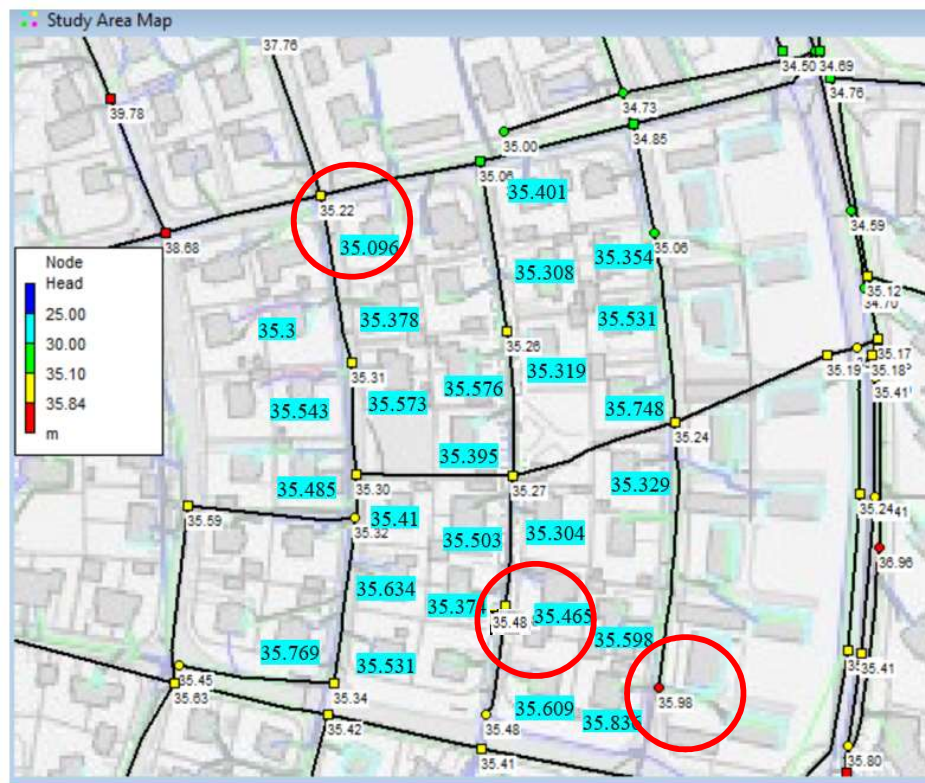
Simuleringen som er basert på nedbørdata fra 200-års gjentaksintervall gir betydelig større kapasitetsproblem for ledningsnettets enn det vi fikk fra andre simuleringer. Forklaring på det er, som for 25-årsregnet, at gjentaksintervallet til den registrerte nedbøren er betydelig lavere enn 200 år for 1 times varighet. Det er registrert 24 mm regn i løpet av 1 time i Horten II stasjon, det svarer til mellom 5 og 10 års-gjentaksintervall. Tabell 3-6 viser at 200 års regn med en time varighet inneholder 39.2 mm nedbør.

### 4.2.3 Nedbørdata med 24 mm på 60 min:

Målet for denne simuleringen er å undersøke hvordan ledningsnettets vil reagere med nedbørdata med 24 mm på 60 min. Nedbørdata for denne modellen gir like mye nedbør som falt i den mest nedbørrike timen i hendelsen i september 2015.. Figurene hendelsen er tatt ut på tidspunktet 03-05-2018 kl 00:45 og kl 00:50.

#### Oppstuvning i kummene

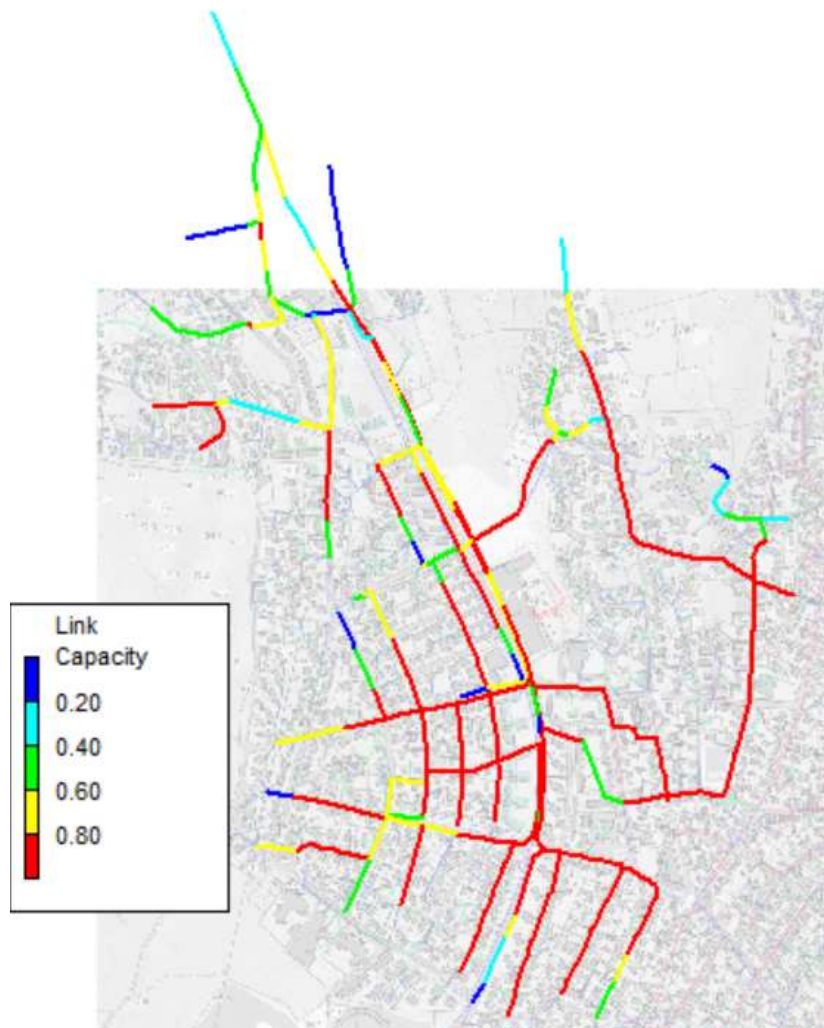
Ved å sammenligne vannstanden i kummene (Head) med de målte kjellernivåer i utsatt område, ser vi at noen få kummer har høyere vannstand enn kjellernivået. Det vil oppstå oversvømmelse i kjellere med lavere nivå enn vannstanden i kummen. Figur 4-15 viser kjellernivåer sammenlignet med vannnivået i kummene for nedbørdata med 24 mm på 60 min. De utsatte kummene er markert med rød sirkel i figuren under.



Figur 4-15: Kjellernivåer sammenlignet med vannnivået i kummene for nedbør med 24 mm på 60 min.

### Kapasitet til ledninger

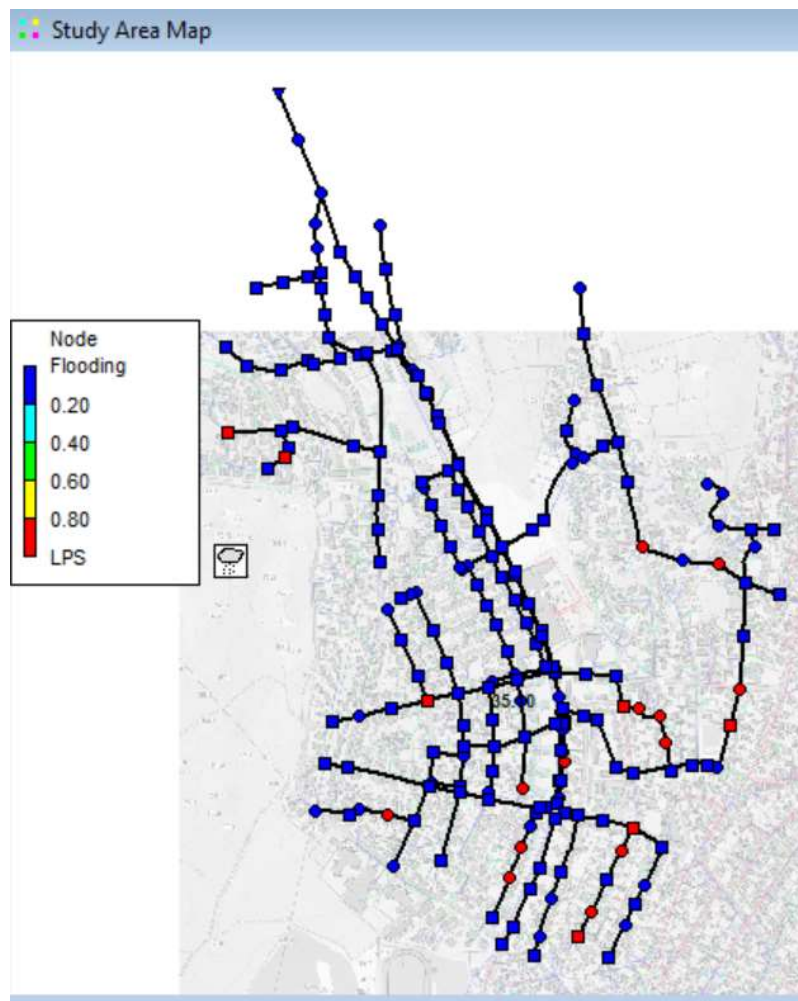
Modellanalysen for ledningsnettets viser at stor del av ledningsnettets ikke har tilstrekkelig kapasitet til å transportere store vannmengder ved flomtopper. Figur 4-16 viser et kapasitetskart for ledningsnettets for nedbørdata med 24 mm på 60 min.



Figur 4-16: Kapasitetskart for ledningsnettets for nedbør med 24 mm på 60 min.

### Oversvømmelser av kummene

Simuleringen av modellen med 24 mm på 60 min viser at det vil oppstå oversvømmelser i 20 av 154 kummer. De røde punktene i Figur 4-17 viser kummer med oversvømmelse.



Figur 4-17: Oversvømmelser i kum for nedbør med 24 mm på 60 min.

## Diskusjon

Simuleringen som er basert på nedbørdata med 24 mm på 60 min gir omtrent samme kapasitetsproblem for ledningsnettets som simuleringen med 25-års gjentaksintervall. Nedbørdata med 24 mm på 60 min representerer den mest intense timen i september 2015. Hyetogrammet som ble konstruert for denne nedbørhendelsen sørger for en fornuftig tidsfordeling av disse 24 mm. Hyetogrammet er vist i Figur 3-13. Likevel ser vi mindre oppstuvning i studieområdet i modellen enn det som ble observert i september 2015. Årsaken kan være at nedbørsmengden som falt i virkeligheten hadde en annen tidsfordeling enn det som ble brukt i simuleringen. En annen årsak kan være at det ikke ble tatt hensyn til grunnvann og innlekking av fremmedvann inn på overvannsnettets.

Usikkerhet rundt modellparametere, som andel tette flater, direkte vs. Indirekte tilkobling til nettet, infiltrasjonsparametere og antatt kum høyder er også av stor betydning. Usikkerhet rundt delfeltene, som størrelse og tilknytningen til kummer kan påvirke resultatene.

### Modellfølsomheten

Hensikten med å kjøre følsomhetsanalyse er for å se på responsen modellen gir ved endring av enkeltparametere og undersøke hvor mye som skal til for at modellen skal gi samme grad av problemer som ble observert i 2015. Følsomheten til analysemodellene ble kartlagt ved å endre på parameterne i primærmodellene (som nullpunkt). Parametere som ble vurdert var infiltrasjonskapasiteten og andel tette flater i studieområdet.

Resultatene er vist i Vedlegg A.

Tabell 4-1 viser antall kummer med oversvømmelse for forskjellige infiltrasjonskapasiteter og andel tetteflater.

**Tabell 4-1: Antall noder som opplever oversvømmelse ved forskjellig parametere.**

Infiltrasjonsparametere		Andel tette flater (%)	Antall noder med oppstuvning	Antall noder med flooding	Maks. vannføring (L/s)	Antall noder over nærmeste kjellernivå i studieområdet
Maks. inf. rate (mm/hr)	Min. inf. rate (mm/hr)					
75	20	30	30	24	1553	6
		35	32	32	1796	11
		40	38	34	1939	12
50	10	30	30	25	1662	10
		35	34	33	1891	12
		40	38	37	2003	13
30	5	30	35	31	1987	13
		35	39	33	2074	13
		40	43	39	2153	13



Følsomhetsanalysen viser at andel tetteflater og infiltrasjons parametere har størst effekt for avrenningen. Ut fra Tabell 4-1 ser vi at de siste 4 parametere har ført til størst antall kjelleroversvømmelser. Disse parameterne gir resultater som stemmer med den observerte oversvømmelsene i september 2015. Jordet ble mettet under hendelsen, fordi det har regnet over lang tid. Nedbør med lang varighet har ført til at infiltrasjonskapasiteten kan ha gått betydelig ned.

Parametere som stemmer med hendelsen og gir samtidig samme oversvømmelsene som ble observerte i september 2015 er infiltrasjonsparameter med 30-5 og 30% andel tetteflater.

### 4.3 Overordnet diskusjon og forslag til videre arbeid

De viktigst usikkerhetene ved framgangsmåten var:

- Andel tette flater og hvordan de er tilknyttet overvannsnett. Direkte kobling av tette flater gir betydelig overbelastning av ledningsnett.
- Usikkerhet rundt infiltrasjonskapasitet, hvor stor andel av nedbøren vil infiltrere og hvor mye som går til overvannsnett. Tiden til nedbøren er avgjørende faktorer for metningstilstanden til bakken.
- Det ble lastet ned en quick start fil i analysemodellen for å fylle røret med litt vann i starten av simuleringen.
- I analysen ble ikke tatt hensyn til grunnvannsnivåer og innlekking på ledningsnett. Det er viktig å se på det ved videre jobb med oppgaven.
- Samspillet mellom overvannssystemet og spillvannssystemet er viktig for overbelastning av nettet og for å sikre kvaliteten av vannet. I et perfekt separatsystem skal vi ikke få kjelleroversvømmelser. I Horten finnes det mange overløp der overvanns- og spillvannssystemet kommer i hydraulisk kontakt med hverandre. Dette problemstillingen ble ikke tatt med i oppgaven.
- Det ble oppdaget flere feil og mangel av ledningsnett registrering i Gemini databasen. Feilene ble forenklet i SWMM modellen.

- Usikkerhet rundt oppdelingen delfeltene, som størrelse og tilknytningen til kummer kan påvirke belastningen på enkelte deler av ledningsnett.
- Usikkerhet rundt nedbør i september 2015, hvor hendelsen ble ikke registrert med høy oppløsning i Horten II målestasjon. Derfor vet vi ikke nøyaktig hvordan nedbøren var i Holtandalen.

### **Kvalitetssikring og videre forbedring av modellen**

Her er det viktig å sjekke:

- Knutepunkter i modellen mot virkeligheten, for å sikre at nettet henger detaljert sammen i knutepunktene.
- Tilknytningen av takflater til ledningsnett, for å avgjøre vannmengden som ble tilført nettet.
- Måle grunnvannsstand, for å legge til en grunnvannskomponent i analysemodellen.
- Kartlegge infiltrasjonskapasiteten i området, ved å måle kapasiteten i fyllmassen, som er brukt ved bygging i Holtandalen område.
- Gjør vannføringsmålinger på utvalgte steder, f.eks. på de ulike innløpene til rundkjøringen, for videre bruk i kalibrering av analysemodellen.

## 5 Konklusjon

Parametere som var mest følsomme i modellen var infiltrasjonskapasiteten og andel tette flater for studieområdet. Den hydrauliske kapasiteten til ledningsnett i Holtandalen er ikke tilfredsstillende dimensjonert med hensyn på overbelastning av ledninger og oppstuvning i kummene. Ledningssystemet var ikke like dårlig dimensjonert over hele området. Gjennom simuleringen ble det funnet svakheter og flaskehals i flere steder.

Primærmodellen ga mindre oversvømmelser enn den observerte hendelsen i september 2015, men justering av andel tette flater og/eller infiltrasjonskapasiteten gav resultater som lignet mer på hendelsen. Ledningsnett klarte å transportere nedbørmengden som er hentet fra målestasjonene Nykirke og Horten II. Men allerede ved 25- års gjentaksintervall har det oppstått kapasitetsproblemer i flere ledninger og oversvømmelser i 8 kummer. Intensiteten i et 200-års regn har gitt store utfordringer for ledningsnett, hvor det har oppstått kapasitetsproblemer i store deler av nettet og oversvømmelse i alle kummer i vårt studieområde.

### **Forslag til kommunen**

Det anbefales å installere vannføringsmålere for å få et helhetlig bilde av avrenningssituasjoner og for kalibrering av analysemodeller. Det anbefales også å jobbe videre med kartlegging av eiendommenes tilknytning til overvannsnett, for å sikre at takrenner ikke er direkte tilkoblet.

Omfanget av problemer som kan oppstå på grunn av underkapasitet på ledningsnett kan være avhengige av høydeforholdene i Holtandalen, der mye av avrenningen kommer fra området rundt. Et mulig tiltak for å ytterligere redusere faren for overbelastningen av ledningsnett og oversvømmelser er å håndtere overvannet lokalt i kombinasjon med frakobling av takflater og fordrøyning.

## 6 Referanser

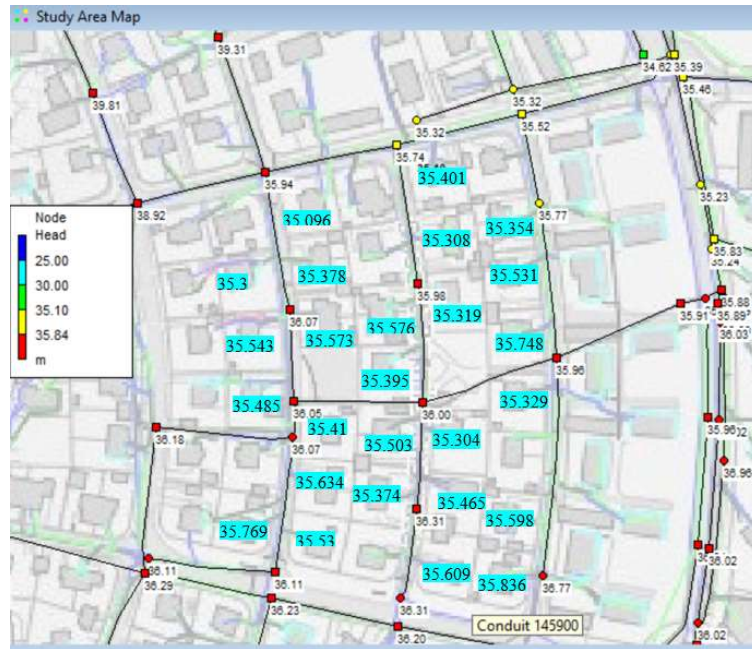
- Aaltvedt. (2018). *Permeable dekker*. Hentet 05 03, 2018 fra Aaltvedt:  
<https://www.aaltvedt.no/produkter/prosjektstein/permeabel-belegning/>
- Byggteknisk forskrift (TEK10)*. (2011). Hentet 05 03, 2018 fra Direktoratet for byggkvalitet: <https://dibk.no/byggeregler/tek/>
- Bøyum, Å., Eidsmo, T., Lindholm, O., Noreide, T., Semb, T., Skretteberg, R., & Markhus, E. (1997). *Anvendt urbanhydrologi*. Hydrologisk avdeling. NVE.  
Hentet fra [http://publikasjoner.nve.no/publikasjon/1997/publikasjon1997\\_10.pdf](http://publikasjoner.nve.no/publikasjon/1997/publikasjon1997_10.pdf)
- EUs vanddirektiv*. (2016). Hentet 05 04, 2018 fra Grunnvanninorge:  
[http://www.grunnvanninorge.no/forvaltning\\_eu\\_print.html](http://www.grunnvanninorge.no/forvaltning_eu_print.html)
- FN-Sambandet. (2018). *Dette betyr klimaendringer for Norden*. Hentet 05 03, 2018 fra FN-Sambandet: <http://unic.org/no/newsletter/27079-dette-betyr-klimaendringer-for-norden>
- FN-Sambandet. (2018). *Klimaendringer*. Hentet 05 03, 2018 fra FN-Sambandet:  
<https://www.fn.no/Tema/Klima-og-miljoe/Klimaendringer>
- Frontnedbør*. (2018). Hentet 05 03, 2018 fra Wikipedia:  
<https://no.wikipedia.org/wiki/Frontnedbør>
- Grønn overvannshåndtering*. (2017). Hentet 05 08, 2018 fra Bygg.Tekna:  
<https://bygg.tekna.no/gronn-overvannshandtering/>
- Hvordan måles nedbør*. (2010). Hentet 05 04, 2018 fra Metrologisk Institutt:  
[http://www.yr.no/artikkel/korleis-male-nedbor\\_-1.7303273](http://www.yr.no/artikkel/korleis-male-nedbor_-1.7303273)
- Klima i Norge*. (2013). Hentet 05 04, 2018 fra Store norske leksikon:  
[https://snl.no/Klima\\_i\\_Norge](https://snl.no/Klima_i_Norge)
- Klimaendringer i Norge*. (2016). Hentet 05 04, 2018 fra Naturvernforbundet:  
[https://naturvernforbundet.no/\\_\\_\\_cparticleid\\_\\_16032/](https://naturvernforbundet.no/___cparticleid__16032/)
- Konvektiv nedbør*. (2018, 04 01). Hentet fra Wikipedia:  
[https://no.wikipedia.org/wiki/Konvektiv\\_nedbør](https://no.wikipedia.org/wiki/Konvektiv_nedbør)

- Leiar, O. F. (2010). *Tilpassing til eit klima i endring*. NOU-Noregs offentlege utgreingar. Hentet 05 04, 2018 fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/01c4638b3f3e4573929f3b375f4731e0/n-n-no/pdfs/nou201020100010000dddpdfs.pdf>
- Lindholm, O. (2015). Overvannstransport i VA-System. Hentet 02 22, 2018
- Lindholm, O. (2016). Overvann. Hentet 03 18, 2018
- Lindholm, O. (2016). Videregående emner om nedbør. Hentet 03 14, 2018
- Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven)* . (2000). Hentet 05 04, 2018 fra Lovdata: [https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2000-11-24-82/KAPITTEL\\_6#§39](https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2000-11-24-82/KAPITTEL_6#§39)
- Miljødirektoratet. (2013). *FNs klimapanelers femte hovedrapport*. Miljødirektoratet. Hentet 05 04, 2018 fra Miljødirektoratet: <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M36/M36.pdf>
- Målestasjon-Horten II*. (2018). Hentet 05 05, 2018 fra eklima: [http://eklima.met.no/Help/Stations/thePeriod/all/no\\_27160.html](http://eklima.met.no/Help/Stations/thePeriod/all/no_27160.html)
- Målestasjon-Nykirke*. (2018). Hentet 05 05, 2018 fra eklima: [http://eklima.met.no/Help/Stations/thePeriod/all/no\\_27120.html](http://eklima.met.no/Help/Stations/thePeriod/all/no_27120.html)
- Nedbør*. (2018). Hentet 03 24, 2018 fra Wikipedia: <https://no.wikipedia.org/wiki/Nedbør>
- Nedbørintensitet*. (2018). Hentet 05 04, 2018 fra Klimaservicesenter: <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/idf.xhtml>
- Regjeringen*. (2015). Hentet fra <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/utvalg-foreslar-virkemidler-for-a-hindre-skader-fra-overvann/id2465419/>
- Regnbed*. (2013). Hentet 05 03, 2018 fra Bioforsk: [http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/103300/Regnbed\\_mai13.pdf](http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/103300/Regnbed_mai13.pdf)
- Rossman, L. (2018). *Storm Water Management Model User's Manual*. EPA United States Environmental Protection Agency. Hentet 05 04, 2018 fra <https://www.innovyze.com/products/swmm/download/ZyPDF.pdf>
- Sekse, T. (2012). *Klimatilpassningstiltak innen VA*. Norsk Vann. Hentet 05 04, 2018 fra <http://docplayer.me/1317230-Norsk-vann-rapport-klimatilpassningstiltak-innen-vann-og-avlop-i-kommunale-planer.html>

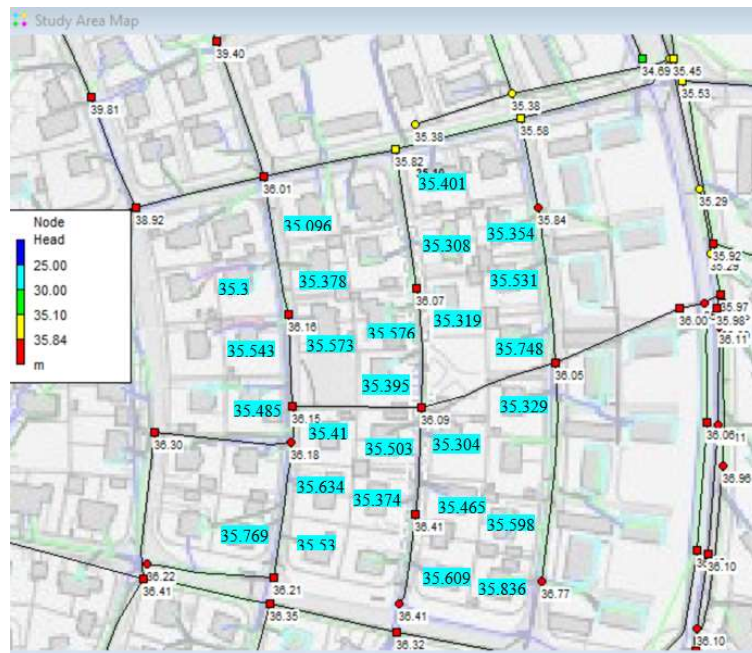
- Skaaraas, H. (2015). *Overvann i byer og tettsteder, som problem og ressurs*. NOU (Norges offentlige utredninger). Hentet 05 08, 2018 fra Regjeringen:  
<https://www.regjeringen.no/contentassets/e6db8ef3623e4b41bcb81fb23393092b/no/pdfs/nou201520150016000dddpdfs.pdf>
- Statistisk sentralbyrå. (2017). Hentet fra <https://www.ssb.no/kommunefakta/horten>
- Teamdag overvann og ekstremvær. (2018). Hentet fra <http://slideplayer.no/slide/2056239/>
- Urbanhydrologi. (2017). Hentet fra <https://www.nve.no/hydrologi/urbanhydrologi/>
- Vannets kretsløp. (2018, 03 02). Hentet 2018 fra Wikipedia:  
[https://no.wikipedia.org/wiki/Vannets\\_kretsløp](https://no.wikipedia.org/wiki/Vannets_kretsløp)
- Wikipedia. (2017). Hentet fra <https://no.wikipedia.org/wiki/Stormflo>
- Wikipedia. (2018). Hentet fra <https://no.wikipedia.org/wiki/Nedbørfelt>
- Ødegaard, H. (Red.). (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. Norsk Vann.



## 7 Vedlegg A: Kart over vannivå ved ulike parametervalg

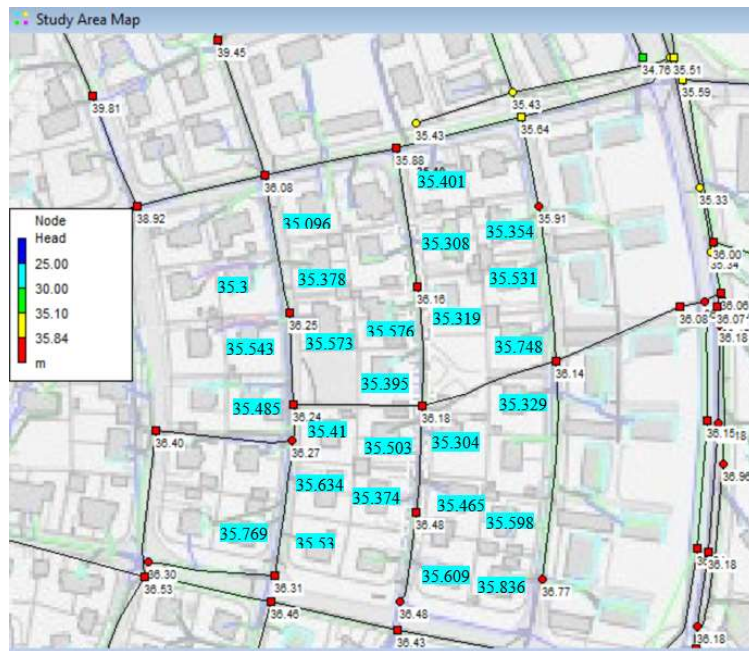


Figur 7-1: Kart over vannivå ved infiltrasjonsverdi (30-5) og 30% andel tetteflater.

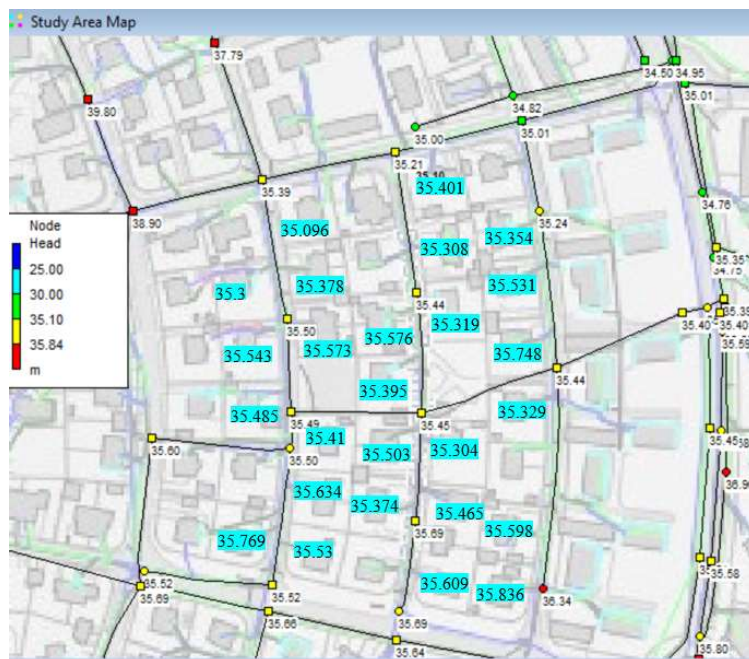


Figur 7-2: Kart over vannivå ved infiltrasjonsverdi (30-5) og 35% andel tetteflater.

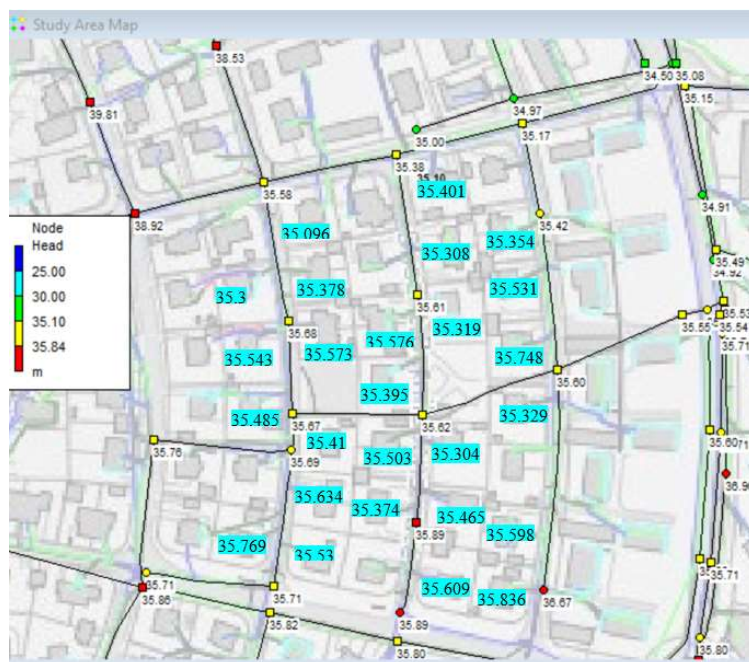




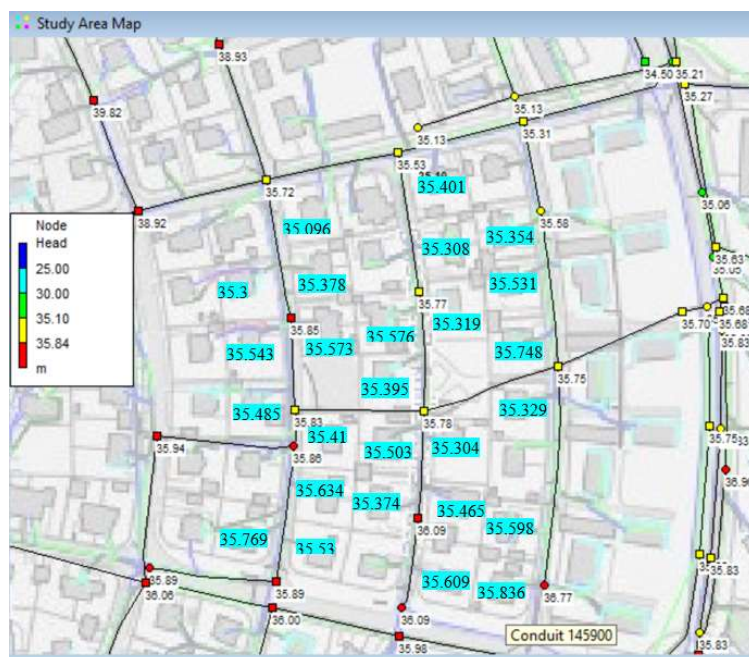
Figur 7-3: Kart over vannivå ved infiltrasjonsverdi (30-5) og 40% andel tetteflater.



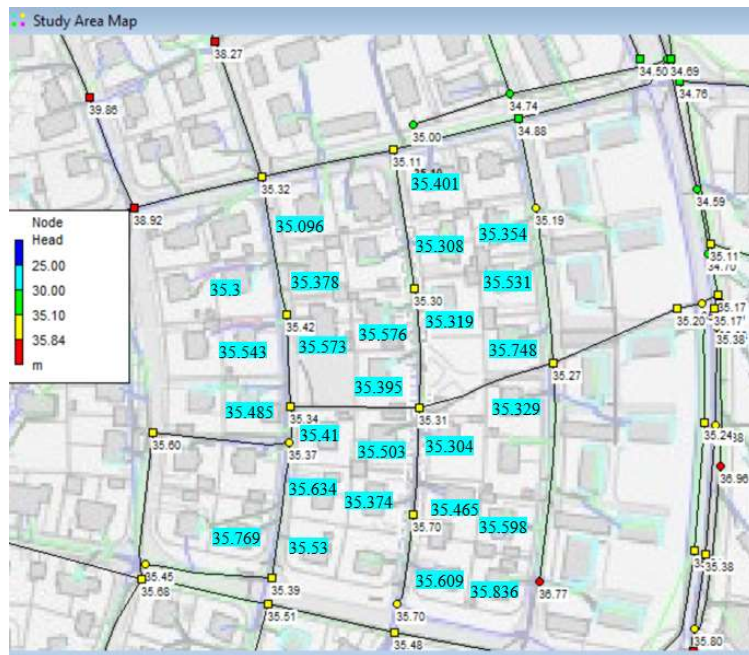
Figur 7-4: Kart over vannivå ved infiltrasjonsverdi (50-10) og 30% andel tetteflater.



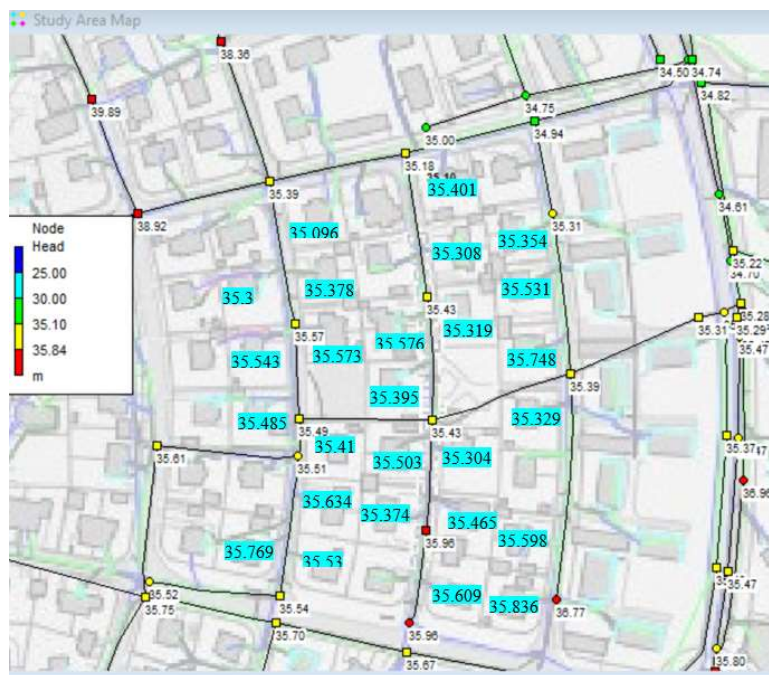
Figur 7-5: Kart over vannivå ved infiltrasjonsverdi (50-10) og 35% andel tetteflater.



Figur 7-6: Kart over vannivå ved infiltrasjonsverdi (50-10) og 40% andel tetteflater.



Figur 7-7: Kart over vannnivå ved infiltrasjonsverdi (75-20) og 30% andel tettflater.



Figur 7-8: Kart over vannnivå ved infiltrasjonsverdi (75-20) og 35% andel tettflater.



Figur 7-9: Kart over vannnivå ved infiltrasjonsverdi (75-20) og 40% andel tettflater.





**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway