

Håndtering av overvann og høy sjøvannstand i Sandnes

Kristian James Holstad
Sindre Dyrhaug Hov

Bygg- og miljøteknikk (2 årig)

Innlevert: Mai 2012

Hovedveileder: Sveinung Sæggrov, IVM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vann- og miljøteknikk

Forord

Denne rapporten er et resultat av TVM4905- master våren 2012 og marker slutten på en 2- årig mastergrad. Omfanget av rapporten er 30 studiepoeng og utgjør 100 % av karakteren i faget.

Vi er to studenter som har valgt å skrive masteroppgave sammen. Det var naturlig at vi skulle samarbeide om masteroppgaven da vi har studert 5 år i lag og har bl.a. skrevet bacheloroppgaven sammen. Samarbeidet oss i mellom, har fungert veldig bra.

Hensikten med dette arbeidet har vært å kartlegge klimaeffektene betydning for Sandnes og hvordan den tilhørende havnivåstigningen og nedbørsøkningen vil påvirke overvanns- og avløpssystemene. Det var også ønskelig å se på aktuelle tiltak som kan håndtere de fremtidige utfordringene.

Rapporten inneholder en sammenligning av dagens situasjon med fremtidige klimascenarioer, med hensyn på flom, forurensning og kapasitet i overvannssystemet til Sandnes. Det er også sett på ulike overvannsløsninger for å håndtere fremtidens klimasituasjon i Julie Eges gate der problematikken har vært lavt bakkenivå. Oppgaveteksten er utarbeidet av professor Sveinung Sægrov ved NTNU.

Grunnen til at vi valgte denne oppgaven var fordi vi synes at overvannshåndtering og fremtidsklima er et interessante og viktige tema. Dessuten ønsket vi å lære oss modelleringsprogrammet MIKE URBAN som er mye benyttet i rapporten.

Vi ønsker å takke alle som har vært til hjelp under utarbeidelsen av denne rapporten. Takk til Kirsten Vike for hjelp i bruk av MIKE URBAN, kontaktpersonene i Sandnes kommune: Odd Arne Vagle og Alexandr Andrianov. Til Thomas Eidsmo på vegne av DHI for lån av programvare. Takk til Aage Gjesdal på vegne av Skjæveland Cementstøperi og Egil Lillebø på vegne av Multiblokk for to lærerike omvisninger. En ekstra stor takk rettes til vår veileder Sveinung Sægrov som har vært til god hjelp og støtte underveis.

Kristian James Holstad

Sindre Dyrhaug Hov

Sammendrag

Deler av Sandnes sentrum hviler i dag på det som en gang var langfjære innerst i Gandsfjorden på sørvest-landet. Utfyllingshøyden er enkelte steder under én meter over dagens havnivå. På grunn av det lave bakkenivået er det ønskelig å se hvordan klimaforandringer med medfølgende økning i havnivå og regnintensitet påvirker Sandnes sentrum. I forbindelse med dette arbeidet er det utført beregninger og analyser med modelleringsprogrammet MIKE URBAN.

Det var først nødvendig å beskrive hvilke faktorer som er bestemmende for klimaet i fremtiden. Ved å se på og sammenligne eksisterende litteratur på fagfeltet, ble det funnet at en fremtidig regnintensitetsøkning mellom 20 % og 60 %, samt en framtidig havnivåøkning på 78 cm, ikke er usannsynlig for år 2100. Det ble i tillegg tatt høyde for 20 cm middel spring høyvann i beregningene. Litteraturen viste en fremtidig stormfloøkning på 204 cm i Sandnes. Det ble så utviklet fire ulike scenarier for å beskrive virkningene av klimaendringene. Først var det nødvendig å definere dagens situasjon for å få et sammenlikningsgrunnlag. Deretter ble det utarbeidet to fremtidsscenarier for å beskrive år 2100. Begge har nedbør med returperiode på 20 år og havnivå på 98 cm, forskjellen er klimafaktorene på henholdsvis 1,2 og 1,6. Klimafaktorvalgene begrunnes ut fra "beste" og "verste" tilfelle for år 2100. Til slutt ble det tatt med et stormfloscenario for år 2100.

Resultatet fra flomanalysen viser at det i dagens situasjon og fremtidsscenarioene oppstår oversvømmelser i Sandnes sentrum. Forskjellen mellom dagens situasjon og fremtidsscenarioene er likevel betydelig. Resultatene viser at havnivåstigningen vil gi en kapasitetsreduksjon på det eksisterende nettverket, spesielt nedstrøms i systemet. Det hydrauliske mottrykket som oppstår på grunn av økt havnivå i kombinasjon med økt regnintensitet, vil gi et økt i flomvolum. Kulverten nederst i Julie Eges gate viste eksempelvis en kapasitetsreduksjon på 25 % i fremtidsscenarioet med klimafaktor 1,6. Simuleringer utført i MIKE URBAN viste 217 kummer med oversvømmelse i dagens scenario, 318 og 399 kummer i fremtidens scenario med henholdsvis klimafaktor 1,2 og 1,6. Under stormfloscenariet var Sandnes sentrum helt oversvømt. Det ble også utført en overløpsanalyse for å kartlegge økningen i overløpsutslipp fra fellessystemer. To utvalgte overløp viste en økning på 103 % og 137 % ved en 60 % regnintensitetsøkning, men med samme regnvarighet som i førsituasjonen.

I Julie Eges gate ble det utarbeidet et forslag til et gruntliggende overvannssystem. Det nye overvannssystemet skal supplere og avlaste det eksisterende systemet. Gaten er tiltenkt hevet til kt. 1,65 m, men det vil fortsatt eksistere et lavbrekk ved jernbaneundergangen i Julie Eges gate. Undergangen ligger på kt. 1,3 m. Det ble utarbeidet flere beregningseksempler med ulike dimensjoner og helninger. Resultatene viste at det nye systemet i kombinasjon med det eksisterende systemet hadde en kapasitet fra 266,5 l/s ved et rør på 400 mm og 1 ‰ til 406 l/s ved et rør på 800 mm og 1 ‰ før det oppstod oversvømmelse i lavbrekket. Beregningene ble utført for fremtidsscenarioet med klimafaktor 1,6. Dimensjonerende vannmengder for år 2100 ble beregnet til 1927 l/s. Ved å tillate en flom på 35 cm i lavbrekket økte kapasiteten til 742 l/s med et 800 mm rør og 1 ‰. På grunn av den lave helningen ble det vanskelig å innfri kravet om selvens på selvfallssystemet, selv med eggeformede rørtverrsnitt.

Da det ikke var mulig å håndtere de dimensjonerende vannmengdene med et selvfallssystem alene, ble det sett på muligheter for fordrøyning. Nødvendig fordrøyningsvolum ble beregnet til 1089 m³ for år 2100.

Det ble det sett på muligheter for pumping fra lavbrekket i Julie Eges gate, direkte til sjøen. Det lar seg gjennomføre ved å tillate en liten flom i lavbrekket og betrakte lavbrekket som et fordrøyningsbasseng. Fra et beregningseksempel med pumping ble oversvømmelsen i lavbrekket kalkulert til 26 m^3 . Det tilsvarer en flom på 2,6 cm over 1000 m^2 .

Det siste tiltak er et isolert selvføllssystem som er dimensjonert for å håndtere vannmengdene nedfor Jernbanen i Julie Eges gate. De dimensjonerende vannmengdene ble beregnet til 598 l/s for år 2100. Et 800 mm rør med fall på 3 ‰ gir kapasitet på 751 l/s. Forutsetningen for dette tiltaket er at gateplanet må heves.

Ved å anlegge grønne tak på byggene med flate tak i nedslagsfeltet til Julie Eges gate, vil man i følge beregningene redusere avrenningen med 14,4 %. Det er også sett på andre bærekraftige tiltak for å redusere og dempe vannmengdene. Tiltakene er hentet fra Peter Stahres bok "Sustainability in Urban Storm Drainage" (Stahre 2006). Utfordringen for Sandnes kommune er infiltrasjonsmulighetene. Sandnes sentrum ligger på utfyllingsmasser, mens områdene rundt ligger på tykke morenemasser. Disse sonene er ikke kartlagt, slik at muligheten for tiltak basert på infiltrasjon er usikre.

Abstract

Sandnes municipality is located deep inside the Gandsfjorden, and rests on top of what many years ago was a low tide. Some area has a filling height less than one meter above the current sea level. Due to the low ground level it is desirable to look at how the climate change and its accompanying rise in sea level and increase in rainfall intensity effects the city of Sandnes. In this rapport the modeling program MIKE URBAN has been used.

It was necessary to find the factors that describe the future climate. By studying and comparing already existing literature on this subject it was found that a future increase in rainfall intensity of between 20 % and 60 % and a future sea level rise of 78 cm, is likely for the year 2100. It was also taken into account 20 cm mean high tide in the calculations. In addition, there was found a future increase in storm surges of 204 cm. It was then developed four different scenarios to describe the effects of climate change. First it was necessary to define the current situation to have a basis of comparison. Then it was developed two future scenarios to describe the year 2100. Both scenarios have a return period of 20 years and a sea level set to 98 cm. The difference between the two scenarios is the choice of climate factors, respectively 1.2 and 1.6. These choices in climate factors is thought to be the "best" and the "worst" case scenario for the year 2100. Finally, it was developed a storm surge scenario for the year 2100.

The result of the analysis shows that in the current situation with a return period of 20 years, there will be flooding in the center of Sandnes. However, the difference between the current situation and the situation in the future is still significant. The result shows that the rise in sea level will give a reduction in capacity on the already existing network, particularly downstream. The hydraulic counter pressure caused by rising sea levels combined with increased rainfall intensity, will give an increase in the flood volume. The culvert downstream of Julie Eges street showed a decrease in capacity of 25 % in the future scenario with a climate factor of 1,6. Simulations from MIKE URBAN showed 217 manholes with floods in the current situation. There were 318 floods in the future scenario with a climate factor of 1.2 and 399 with a climate factor of 1.6. During the storm surge scenario, the center of Sandnes was completely flooded. It was also carried out an analysis to find the volume from CSOs (Combined Sewer Overflows). The increase in volume from two selected CSOs was 103 % and 137 % at a 60 % increase in rainfall intensity.

In Julie Eges Street a proposal for a shallow storm water system was developed. The new storm water system is a supplement and a relive to the existing system. The street is intended to be raised to a height of 1.65 meters above the reference standard NN1954. The ground level in the underpass beneath the railway has a height of 1.3 meters above NN1954. It was developed several computational examples with different dimensions and slopes. The results showed that the new system in combination with the existing system had a capacity that ranged from 266.5 l/s with a pipe diameter of 400 mm and a slope of 1 ‰ to 406 l/s with a pipe diameter of 800 mm and a slope of 1 ‰. When the flow exceeded these values flooding occurred in the underpass. The calculations were performed for the future scenario and climate factor 1.6. Design flow for the year 2100 was estimated to 1927 l/s. By allowing a flood of 35 cm in the railway underpass the capacity increased to 742 l/s when using a pipe diameter of 800 mm and a slope of 1 ‰. Because of the low slope, it was difficult to meet the demand for self-cleansing in the gravity system, even with an egg shaped pipe.

It was not possible to manage the design water flow with a gravity system, so it was looked at the possibility of using a detention basin. The required detention volume was estimated to be 1089 m³ for the year 2100.

It was then looked upon the possibility of using a pumping system that pumps the water from the lower areas underneath the railway, directly to the sea. This can be accomplished by allowing a small flood in the low areas of Julie Eges Street. The underpass can be considered as a detention basin. From a computational example, the flooding was calculated to be 26 m³.

The last measurement that was looked upon is an isolated gravity system designed to handle the runoff downstream of the railway in Julie Eges Street. The designed runoff was estimated to be 598 l/s for the year 2100. An 800 mm pipe with a slope of 3 ‰ gives a maximum water flow of 751 l/s. For this to work, the ground level must be raised upstream.

By constructing green roofs on buildings with flat roofs in Julie Eges street, a reduction of 14,4 % of the design flow is achievable. Other sustainable measures to reduce the water flow were also discussed. These measures is from Peter Stahres book "Sustainability in Urban Storm Drainage" (Stahre 2006). The challenge for the municipality of Sandnes is in its infiltration possibilities. The center of Sandnes rests upon filling masses and the areas around rests upon thick moraine soil. These zones are not mapped; therefore the possibilities for measures based on infiltration are uncertain.

Innhold

Forord.....	i
Sammendrag	iii
Abstract	v
Figurliste	ix
Tabelliste	xii
1. Innledning.....	1
1.1. Formål.....	2
1.2. Metode	3
2. Litteratur.....	4
2.1. Klimaendringer og VA.....	4
2.2. Flom og oversvømmelse.....	5
2.3. Forurensning	5
2.4. Konseptet: Bærekraftig overvannshåndtering.....	8
3. MIKE URBAN.....	11
4. Bakgrunn - Sandnes.....	14
4.1. Sandnes sentrum.....	14
4.2. Dimensjonerende nedbør for Sandnes	15
4.3. Dimensjonerende havnivå for Sandnes.....	20
4.4. Vannstands nivå og referanse høyde.....	22
4.5. Avløpsmodell	23
5. Flomanalyse.....	26
5.1. Antall oversvømmelser.....	27
5.2. Flomutsatte områder	30
5.3. Stormflo.....	35
5.4. Flom og kapasitetsendring grunnet havnivåøkning	36
6. Overløpsanalyse	39
7. Aktuelle tiltak i Julie Eges gate	42
7.1. Bakgrunn	42
7.2. Dimensjoneringskriterier.....	44
7.3. Fremgangsmåte.....	45
7.4. Tiltak 1 – Selvfallssystem.....	48
7.5. Tiltak 2 – Selvfall kombinert med fordrøyning og pumping.....	59
7.6. Tiltak 3 – Nødpumpe og fordrøyning	61

7.7.	Tiltak 4 - Isolert overvannssystem for Julie Eges gate	64
8.	Bærekraftige tiltak i Sandnes	65
8.1.	Mulige bærekraftige tiltak.....	65
8.2.	Eksempel på bærekraftige tiltak.....	66
9.	Diskusjon	68
9.1.	Klimaforandringer	68
9.2.	Bakgrunnsinformasjon	68
9.3.	MIKE URBAN.....	68
9.4.	Resultater	69
9.5.	Tiltak	70
10.	Konklusjon	71
10.1.	Resultater	71
10.2.	Tiltak	71
10.3.	Generelt.....	72
	Referanser	73

Figurliste

Figur 1. Prinsippskisse for effekten ved å øke regnintensiteten.	7
Figur 2. Prinsippskisse for visning av effekten ved å øke regnvarigheten.....	8
Figur 3. Avrenning ut fra arealbruk (Thorolfsson 2011).....	8
Figur 4. Definisjoner av ulike fasiliteter for åpen overvannshåndtering (Stahre 2006).....	9
Figur 5. Struktur av modulene i MIKE URBAN (DHI 2011, a).....	11
Figur 6, Modellstruktur av RDI modellen (DHI 2011, c).	13
Figur 7. Utfyllinger i Sandnes havn. Tv. år 1818 og th. fyllinger og bygg slik de er i dag (gul farge) (Sømme 2003).	14
Figur 8. Grunnforhold i Sandnes (NGU 2012).....	15
Figur 9. IVF kurve for Sandnes - Rovik 44730. Returperioder (år) (eKlima 2012).	17
Figur 10. Viser dagens situasjon med 20 års gjentaksintervall, beregningssteg 2 minutter og 1 times varighet.....	19
Figur 11. Viser dagens situasjon med 20 års gjentaksintervall, beregningssteg 2 minutter, 1 times varighet og klimafaktor 1,6 (60 %).	19
Figur 12. Viser dagens situasjon med 20 års gjentaksintervall, beregningssteg 2 minutter, 1 times varighet og klimafaktor 1,2 (20 %).	20
Figur 13. Havnivå- og temperaturøkning ut fra scenarioene B1, A1B og A2 (Drange, Marzeion et al. 2007).....	21
Figur 14. Viser tidevannsdata for dagens Stavanger og forventet havnivåstigning og stormflo for år 2100. NN1954 er referansehøyde (Kartverket 2012).....	22
Figur 15. Modellområdet over Sandnes kommune slik det er bygget i MIKE URBAN. Figuren viser ikke delfeltene slik de er inndelt i modellen. Figur er hentet fra MIKE URBAN.	24
Figur 16. DEM- kart over Sandnes sentrum med ledningsnett. Figur er hentet fra MIKE URBAN.....	25
Figur 17. Oversiktsbilde over avgrenset område i Sandnes sentrum. Figur hentet fra Google Earth 2012.....	26
Figur 18. Dagens situasjon; 20 års returintervall uten klimatillegg eller havnivåstigning. De grønne punktene symboliserer kummer uten trykkehøyde som overstiger topp kum. De gule punktene symboliserer kummer som er nær oversvømmelse. De oransje punktene symboliserer kummer med trykkehøyde opp til 0,5 meter over topp kum. Mens de røde punktene er kummer med trykkehøyde større enn 0,5 meter over topp kum.....	28
Figur 19. Fremtidens situasjon 20 % klimatillegg; 20 års returintervall med en klimafaktor lik 1,2 og havnivåstigning lik 0,98 m. De grønne punktene symboliserer kummer uten trykkehøyde som overstiger topp kum. De gule punktene symboliserer kummer som er nær oversvømmelse. De oransje punktene symboliserer kummer med trykkehøyde opp til 0,5 meter over topp kum. Mens de røde punktene er kummer med trykkehøyde større enn 0,5 meter over topp kum.....	28
Figur 20. Fremtidens situasjon 60 % klimatillegg; 20 års returintervall med en klimafaktor lik 1,6 og havnivåstigning lik 0,98 m. De grønne punktene symboliserer kummer uten trykkehøyde som overstiger topp kum. De gule punktene symboliserer kummer som er nær oversvømmelse. De oransje punktene symboliserer kummer med trykkehøyde opp til 0,5 meter over topp kum. Mens de røde punktene er kummer med trykkehøyde større enn 0,5 meter over topp kum.....	29
Figur 21. Volumberegning i MIKE URBAN (DHI 2011, d).	29
Figur 22. Laseskanning over Sandnes sentrum med 0,98 meter havnivåstigning for år 2100. Laserskanning har typisk 5 - 8 cm nøyaktighet (Statnett 2008). Blått område markerer områder under	

havnivået, brun markerer de lavtliggende områdene og turkis markerer de høytliggende områdene. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.	31
Figur 23. Dagens situasjon; 20 års returintervall uten klimatillegg eller havnivåstigning. Dette er maks oversvømmelse fra simuleringen. DEM filen er fra Sandnes kommunes egen kartavdeling og er en laserskanning av Sandnes sentrum. Skanningen ble utført i 2011. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.	32
Figur 24. Fremtidens situasjon; 20 års returintervall med en klimafaktor lik 1,6 og havnivåstigning lik 0,98 m. Dette er maks oversvømmelse fra simuleringen. DEM filen er fra Sandnes kommunes egen kartavdeling og er en laserskanning av Sandnes sentrum. Skanningen ble utført i 2011. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.....	33
Figur 25. Laseskanning over Sandnes sentrum med 2,04 meter stormflo for år 2100. Laserskanning har typisk 5 - 8 cm nøyaktighet (Statnett 2008). Blått område markerer områder under havnivået, brun markerer de lavtliggende områdene og turkis markerer de høytliggende områdene. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.....	35
Figur 26. Viser traseer og kummer benyttet til analyse av økt havnivå. Nedre er Julie Eges trase og øvre er Olav Kyrres trase. Figuren viser også kum ID. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.	36
Figur 27. Figuren viser lednings plassering og tilhørende ID som er benyttet i sammenligningen av kapasitet.	37
Figur 28. Plassering av overløp OL7295 og OL7724. Kartgrunnlag fra Gemini VA.	39
Figur 29. Overløp OL7295, sammenligning av dagens og fremtidens 60 % klima mht. overløpsutslipp (Fra MIKE URBAN).	40
Figur 30. Overløp OL7724, sammenligning av dagens og fremtidens 60 % klima mht. overløpsutslipp (Fra MIKE URBAN).	40
Figur 31. Julie Eges gate (markert rødt)	42
Figur 32. Tverrprofil av Julie Eges gate. Øverste røde strek illustrerer forventet stormflo for år 2100. Midterste røde strek er forventet havnivå for år 2100 inkludert middel høy springvann. Nederste røde strek er dagens havnivå. Grønn strek er eksisterende gatenivå og turkis strek er eksisterende rør. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.	43
Figur 33. Dimensjonerende vannmengder i Julie Eges gate ved nedbørshendelse på 60 minutter, gjentakintervall 20 år og klimafaktor 1,6. Figur er hentet fra MIKE URBAN.	45
Figur 34. Nedslagsfeltet til Julie Eges gate og nedslagsfeltet til nødoverløpene. De røde sirklene er plasseringen av nødoverløpene NODOL2518 og NODOL2522. Figuren er hentet fra MIKE URBAN. ...	46
Figur 35. Nedslagsfelt til Julie Eges gate. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.	46
Figur 36. Lengdeprofil av selvfalssystem (Eksempel 1). Figuren er hentet fra MIKE URBAN.....	49
Figur 37. Vannhøyden er 1,3 meter ved eksempel 1 etter 24 min for en 60 minutters nedbørshendelse med 20 års returperiode og klimafaktor1,6. Figuren er hentet fra MIKE URBAN. ...	50
Figur 38. Viser vannføring ved eksempel 1 en rørdimensjon på 400 mm og et fall på 1 ‰ for 60 minutters nedbørshendelse med 20 års returperiode og klimafaktor1,6. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.	50
Figur 39. Tverrsnitt av rør med V- renne.....	52
Figur 40. Figur til håndberegning av eksisterende system.....	53
Figur 41. Kapasiteten til de ulike selvfalseksemplene med trykkehøyde i lavbrekket over kt. 1,3 m inkludert det eksisterende systemet.....	54
Figur 42. Eksempelør med V- tverrsnitt fra Skjæveland Cementstøperi AS (Skjæveland 2012).....	56

Figur 43. Tverrsnitt av eggeformet rør med areal, våt perifer og hydraulisk radius (Butler and Davies 2011).....	56
Figur 44. Figuren viser de ulike dimensjonene med og uten tørrværsrenne med skjærspenninger over h/D til sirkulært tverrsnitt. Diameteren på tørrværsrennen er 1:3 av startdiameter. Kurvene til sirkulære rør og rør med tørrværsrenne føyer seg sammen når h/D til tørrværsrennen når 1,0.	58
Figur 45. Eksempeltegning; selvføllssystem kombinert med fordrøyning og pumping	59
Figur 46, Dimensjonerende vannmengder tilført Julie Eges gate. Symmetrisk nedbør med 20 års returperiode og klimafaktor på 1,6 (tilsvarer år 2100). Grafen er hentet fra avløpsmodell i MIKE URBAN. De horisontale strekene symboliserer det eksisterende og det nye systemet. Arealet over disse strekene er volumet som må fordrøyes.....	60
Figur 47. Oversvømmelsesareal i lavbrekket i Julie Eges gate. Figuren er hentet fra Google Earth 2012.	61
Figur 48. Dimensjonerende vannmengder tilført Julie Eges gate. Symmetrisk nedbør med 20 års returperiode og klimafaktor på 1,6 (tilsvarer år 2100). Grafen er hentet fra avløpsmodell i MIKE URBAN. De horisontale strekene symboliserer forskjellige pumper og arealet over disse strekene er volumet som må pumpes. Inkludert i kapasiteten til pumpene er det lagt inn 186 l/s som er kapasiteten til det eksisterende systemet ved en trykkehøyde lik 1,3 m.....	62
Figur 49. Pumpekarakteristikk for tre ulike Flygtpumper (Flygt 2012).	63
Figur 50. Nedslagsfeltet til Julie Eges gate nedenfor jernbanen. Figuren er hentet fra Google Earth 2012.....	64
Figur 51. Bygg med flate tak i nedslagsfelt til Julie Eges gate. Det grønne området symboliserer nedslagsfeltet og de røde byggene er bygg med flate tak. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.	67

Tabelliste

Tabell 1. Miljøskader som følge av store nedbørsmengder (SFT 2007).....	4
Tabell 2. Oversikt over konsekvenser som følge av havnivåstigning.	5
Tabell 3. Limateffektens betydning for forurensningssituasjonen (Lindholm, Nie et al. 2007).	6
Tabell 4. Eksempel på overløpsutslipp som følge av endring i regnintensitet.....	7
Tabell 5. Eksempel på overløpsutslipp som følge av økt regnvarighet.	7
Tabell 6. Eksempler på tiltakenes plassering i systemet (Stahre 2006).	10
Tabell 7. Økning i regnintensitet som følge av klimaendringene (Kaasgaard, Friis et al. 2007)	15
Tabell 8. Dimensjonerende gjentakintervaller anbefalt av Norsk Vann (Lindholm 2008).	16
Tabell 9. Verdier er hentet fra IVF kurven for Sandnes Rovik – 44730 (eKlima 2012).	18
Tabell 10. Forklaring av de ulike fremtidsscenarioer (Lindholm 2008).....	20
Tabell 11. Verdier for forventet økning i havnivå i år 2050 og 2100 og stormflo i år 2100 (Drange, Marzeion et al. 2007)	21
Tabell 12. Parametere til de forskjellige scenarioer.....	27
Tabell 13. Fargeforklaring til figur 23 og 24	31
Tabell 14. Viser økningen i trykkehøyde og flomvolum fra dagens situasjon til fremtidsscenarioene med 20 % og 60 % klimatillegg, samt havnivåøkning på 0,98 meter	34
Tabell 15. Julie Eges trase – Økning av flomvolum grunnet 0,98 m havnivåøkning	36
Tabell 16. Olav Kyrres trase – Økning av flomvolum grunnet 0,98 m havnivåøkning	37
Tabell 17. Julie Eges trase – Reduksjon av maks vannføring.....	38
Tabell 18. Olav Kyrres trase – Reduksjon av maks vannføring.....	38
Tabell 19. Oppsummering av resultater fra overløpsanalysen	41
Tabell 20. Dimensjonerende gjentakintervaller anbefalt av Norsk Vann, Norsk Vann (2008).....	44
Tabell 21. Areal, areal typer og koeffisienter i nedslagsfeltet til Julie Eges gate. Koeffisienter er hentet fra StormTac (Larm 2012).....	47
Tabell 22. Oppsummering av data til eksemplene av selvfallssystemene.	48
Tabell 23. Fargeforklaring til figur 36.	49
Tabell 24. Viser kapasiteter ved de ulike eksemplene med og uten det eksisterende systemet. Dette er maks kapasitet før det oppstår flom i lavbrekket.	51
Tabell 25. Kapasitet ved de ulike eksemplene inkludert det eksisterende systemet.	54
Tabell 26. Skjærspenninger for sirkulære rør ved ulike dimensjoner, helninger og fyllingshøyde $h/d = 0,25$	55
Tabell 27. Viser økning i hastighet og skjærspenning ved samme vannføring fra et 400 mm rør til et rør på 133,33 mm ved fall på 1 ‰.	57
Tabell 28. Viser økning i hastighet og skjærspenning ved samme vannføring fra et 400 mm rør til et rør på 133,33 mm ved et fall på 2 ‰.	57
Tabell 29. Viser økning i hastighet og skjærspenning ved samme vannføring fra et 600 mm rør til et rør på 200 mm ved et fall på 1 ‰.	57
Tabell 30. Viser økning i hastighet og skjærspenning ved samme vannføring fra et 800 mm rør til et rør på 266,67 mm ved et fall på 1 ‰.	57
Tabell 31. Krav til skjærspenninger (Berg 1988).....	58
Tabell 32. Data til trykktapsberegning	62
Tabell 33. Resultater fra trykktapsberegning	63
Tabell 34. Arealtype, størrelse og avrenningskoeffisient.....	67

1. Innledning

De stadig høyere temperaturene fører til smelting av isen på jorda. Dette gjør at havnivået på jorda stiger. Et fremtidig høyere havnivå kan gå over terskler og trenge inn i avløpssystemer. På grunn av det ekstra mottrykket som følge et høyere havnivå, vil kapasiteten og den hydrauliske gradienten som driver systemet bli redusert. Det øker risikoen for oppstuvninger i kjellere, oversvømmelser og økte overløpsutslipp.

I tillegg øker frekvensen for ekstremnedbørssituasjoner. Det er ventet økt nedbørsmengde og regnintensitet som følge av klimaendringer. Konsekvensen er ekstra vannmengder som felles- og overvannssystemene ikke er dimensjonert for. Tas det ikke høyde for denne utviklingen kan det føre til flere overløpstimer og skade på infrastrukturen i form av flomskader og oppstuvning i kjellere.

RIF (Rådgivende Ingeniørers Forening) utarbeidet i 2010 en rapport som viser tilstanden til forskjellig offentlig infrastruktur i Norge (RIF 2010). Formålet med rapporten er å belyse hvordan offentlige bygg og anlegg er rustet til å oppfylle dagens og fremtidens behov. Det norske avløpssystemet ble gitt karakteren 2 av 5. Karakteren skyldes at det er rapportert mange driftsproblemer på avløpssystemene i Norge. En stor andel av avløpsnettet er lagt for mer enn 40 år siden og oppfyller ikke den funksjonsevnen som det stilles krav til i dag.

Det er ventet at Sandnes vil bli påvirket av både nedbørsøkningene og havnivåstigningen. Sørvestlandet har lite landheving i forhold til resten av Norge med ca. 10 cm i løpet av dette århundret og vil derfor bli hardest rammet av havnivåstigningen (Drange, Marzeion et al. 2007). I tillegg ligger Sandnes sentrum på en utfylling av det som en gang var et grunt område i Gandsfjorden. Utfyllingen ligger lavt i terrenget og Sandnes sentrum er derfor ekstra sårbar for en havnivåstigning. Det er ønskelig å være fremtidsrettet og møte disse utfordringene på en god og akseptabel måte. Det kan gjøres ved å avdekke hvordan framtidssituasjonen vil se ut og hvilke konsekvenser som kan oppstå, deretter må eventuelle tiltak kartlegges.

Det er interessant å se nærmere på Julie Eges gate da Sandnes kommune har planlagt å gjøre tiltak der i nærmeste fremtid. Det finnes flere utfordringer i denne gaten, blant annet at den ligger lavt og at det er lite tilgjengelig fall. Det er aktuelt å heve terrenget i området og bygge et grunntliggende overvannssystem for å supplere og avlaste det gamle systemet. Da det finnes tvil om det nye anleggets selvreiseegenskaper er det planlagt et samarbeid med Skjæveland Cementstøperi AS. Samarbeidet går ut på å lage betongrør med V- tverrsnitt, et såkalt Q_{maks} -V rør, som også har en langsgående inntaksrist i topp for å kontinuerlig ta unna veivann.

Det eksisterer en ferdigkalibrert avrenningsmodell av Sandnes sentrum i MIKE URBAN. Denne modellen er benyttet til å utarbeide scenarioer for dagens situasjon og for fremtiden. Ved å sammenligne disse situasjonene kan man få et inntrykk av hvordan fremtiden kan se ut og hvilke begrensninger som finnes. Det er i tillegg sett på Sandnes sentrum under stormflo i år 2100. Etter flomanalysen er det sett på ulike tiltak i Julie Eges gate. Til slutt er det utarbeidet et litteraturkapittel og et eksempel på bærekraftig overvannshåndtering.

Det er viktig å merke seg at arbeidet ikke gir noen eksakte svar da det finnes usikkerheter knyttet til fremtidsparametere så vel som avrenningsmodellens oppbygning og funksjon. Arbeidet kan likevel benyttes som en pekepinne på klimaendringenes påvirkning og betydning for Sandnes kommunes overvannshåndtering.

Rapporten starter med en litteraturredel som tar for seg klimaendringers påvirkning av vann- og avløpssystemene. Litteraturredelen tar også for seg generell informasjon om bærekraftig overvannshåndtering, etterfulgt av en forklaring av avløpsmodellen MIKE URBAN. Neste kapittel gir bakgrunnsinformasjon om Sandnes og valg av havnivåstigning og nedbørstilfeller for framtidsscenarioene. Deretter presenteres en flomanalyse av Sandnes sentrum og en overløpsanalyse av to utvalgte overløp. Etter overløpsanalysen er det utarbeidet ulike tiltak for Julie Eges gate. Til slutt er det et eget kapittel som tar for seg bærekraftige overvannshåndtering i Sandnes.

1.1. Formål

Hovedmålet med oppgaven er å lære hvilke effekter framtidsklimaet vil ha på overvanns- og avløpssystemer i Sandnes. Hvilke konsekvenser vil Sandnes sentrum få på grunn av klimaendringer? Vil det oppstå større flomsituasjoner i Sandnes i fremtiden? Hvordan vil det eksisterende overvannssystemet takle en framtidig havnivåstigning og intensitetsøkning?

Den spesifiserte oppgaven:

1. Lag en oversikt over klimaendringens medfølgende havvannsstigning og økte nedbør og sannsynlige konsekvenser for oversvømmelser i Sandnes sentrum og forurensningsutslipp til indre havn.
2. Beregn avrenning for valgte ekstremhendelser for situasjonen i dag og med forventet nytt nedbørregime i år 2100. Beregn kapasiteten for dagens situasjon og i framtidssituasjonen med ekstrem havvannsstigning.
3. Vis hvordan nye tiltak i nettet kan avlaste dagens situasjon i framtidssituasjonen med ekstrem havvannsstigning:
 - a. Grunntliggende overvannssystem kan avlaste dagens system og beregn dimensjonerende tilrenning til det nye systemet.
 - b. Introduksjon av nytt fordrøyningsvolum i systemet
 - c. Rehabilitering og økning av rørdiameter
4. Diskuter hvilke tekniske spesifikasjoner som bør gjelde for de nye tiltakene, spesiell vekt på selvrenging av grunntliggende overvannsledning og fordrøyningsbassenger.

Rapporten tar for seg det meste av den spesifiserte oppgaven, men det er ikke sett på rehabilitering og økning av rørdiameter av eksisterende anlegg. I tillegg til de ovenstående fire punkter er det også sett på bærekraftig overvannshåndtering.

1.2.Metode

For å løse oppgaven måtte fremtidige klimaparametere bestemmes. Ved kartlegging av sannsynlig havnivå og nedbør for år 2100 har det blitt benyttet eksisterende litteratur. Her er det sammenlignet ulik litteratur og de mest sannsynlige, best dokumenterte parametrene er valgt.

Som verktøy til gjennomføringen av hydrauliske beregninger til både flomsituasjoner og kapasiteter er det benyttet avrenningsmodellen MIKE URBAN. En eksisterende ferdigkalibrert MIKE URBAN modell av Sandnes sentrum ble benyttet til dette arbeidet. Det ble videre utarbeidet ulike scenarioer for å belyse fremtidssituasjonen i Sandnes. Det er både utført nettverksmodelleringer og 2D-modelleringer over Sandnes, begge i MIKE URBAN. Nettverksmodellen tar for seg hydrauliske betraktninger i nettverket. I 2D-modelleringen tas det hensyn til Z- koordinater på overflaten i modellområdet. Ved en 2D- beregning kobles nettverksmodellen til overflatetopografien slik at vann som flommer ut av en kum og simuleres på overflaten. Det er på denne måten mulig å simulere en flomsituasjon i et gitt område.

Topografikartet som ble benyttet i 2D-simuleringen er et såkalt DEM- kart (Digital Elevation Model). Se nærmere forklaring i kapittel 4.5.1. Kartet ble konvertert fra .xyz- format til .dfs2- format for å kunne benyttes i modellen. Til dette konverteringsarbeidet ble MIKE ZERO benyttet.

Både for flomsituasjonen og for tiltakene i Julie Eges gate ble det benyttet MIKE URBAN. I Julie Eges gate ble vannmengdene verifisert med håndberegninger. Det ble også benyttet håndberegninger for å beskrive effekten av grønne tak i området oppstrøms Julie Eges gate.

2. Litteratur

2.1.Klimaendringer og VA

Drivhuseffekten forårsaker endringer i atmosfærens sirkulasjonsmønster og det ventes en varmere luft med et høyere vanninnhold. Nedbørsintensiteten og nedbørsvolumet vil som følge av dette øke. Det er ventet at nedbørsmengdene i store deler av Norge vil ha en gjennomsnittlig økning på 15 % til 20 % og regnintensiteten til de korte regnskyllene med mindre utstrekning vil øke mer dramatisk (Lindholm, Nie et al. 2007). Danmark og Sverige venter eksempelvis en økning på 50 % til 60 % ved korte nedbørstilfeller fram til perioden 2071 – 2100 (Lindholm, Nie et al. 2007). Det nye nedbørsregimet fører til at det blir flere dager med nedbør i året, noe som igjen fører til en våtere mark og en høyere avrenningskoeffisient. Derfor vil de korte regnskyllene med høy intensitet være mest skadelig for urbane områder, da de kan føre til oversvømmelser selv ved lavere regnintensitet enn det som normalt kan håndteres.

Vann- og avløpssystemene blir påvirket av klimaendringene. Klimaendringene vil endre måten VA-anlegg dimensjoneres på og hvilke løsninger som velges. For å møte fremtiden på en bærekraftig måte er det viktig å kartlegge effektene av et endret klima. Det er to effekter fra klimaendringene som er særlig sentrale, det er økte nedbørsmengder og intensitet, og havnivåstigning. Flere forskningsprosjekter har kartlagt disse effektene og i tabell 1 er det en oppsummering av effektene knyttet til økte nedbørsmengder. Videre er tabell 2 en oversikt over medfølgende konsekvenser fra økt havnivå.

Tabell 1. Miljøskader som følge av store nedbørsmengder (SFT 2007).

Miljøskader som følge av store nedbørsmengder
<p>Miljøskader:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Betydelig økning i forurensningsutslipp fra overløp, renseanlegg og overvann. ○ Oversvømmelser i kjellere og byggareal under bakkenivå, etc. ○ Estetisk forringelse og miljøskader i byvassdrag. ○ Økt risiko for sykdommer via drikkevann. ○ Rotter rømmer fra avløpsledninger og invaderer bygninger og omgivelsene <p>Virkinger av økt nedbør som bidrar til miljøskader:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Renseanlegg og pumpestasjon: Avløp ut av nødutløp og kummer. Pumper og renseanlegg ute av drift. Oversvømmelser med elektriske kortslutninger, ødeleggelse av kabler og data- og styresystemer. Nedslamming, fukt- og soppskader, maskinelt utstyr vannskades, Bygninger får oppdrift og forskyves opp og gulv sprekker. ○ Ledninger: Erosjon og utspylning av grøftmateriale gir skader og brekkasje. Kummer og ledninger fylles igjen av slam og annet materiale. ○ Utslippsledninger: Bevegelser, bortspyling, oppflytning, erosjon av støttekonstruksjoner og grøfter med fundament som gir brekkasje, sprekker og lekkasjer.

Tabell 2. Oversikt over konsekvenser som følge av havnivåstigning.

Konsekvenser fra havnivåøkning
<ul style="list-style-type: none">○ Økte overløpsutslipp○ Inntrengning av sjøvann i avløpsledninger. Gir større belastning til renseanlegg.○ Korrosjon som følge av inntrengning av sjøvann.○ Oppstuvninger i systemet grunnet mottrykk fra økt havnivå som gir redusert hydraulisk gradient i ledningene.○ Kapasitetsreduksjon.

2.2.Flom og oversvømmelse

Flomskader oppstår når systemene enten er underdimensjonerte eller ikke er dimensjonert til å håndtere de vannmengdene som tilføres. Det kan også være redusert kapasitet grunnet at systemene er tiltettet eller på noen andre måter defekte. Det vannet som systemene ikke håndterer kan gi oversvømmelser og tilhørende flomskader. Ofte er dette vannet forurenset av slam og kloakk som bidrar til enda større ødeleggelser og miljøskader. I perioden 2021 - 2050 ventes det at klimaendringene forårsaker en økning i utbetalinger på 10 % som følge av vannskader, sammenlignet med 20- års perioden som er forbi (Gjensidige 2012). Vannskader er ofte forbundet med tett eller for dårlig dimensjonerte rør, kulverter, fangrister, gjennomføringer i vei etc. Det kan også skyldes andre menneskelige forhold som dårlig vedlikehold og rehabilitering av de eksisterende systemene. Typiske flomskader er utgravinger av veier, vann i kjellere og i noen tilfeller flyter hus og bygninger opp av fundamentene og beveger seg på grunn av oversvømmelser.

Klimaendringene vil føre med seg hyppigere og større flommer i tiden fremover. Den økte nedbørsmengden og nedbørsintensiteten vil i seg selv gi en høyere avrenning, men også sette grunnvannsspeilet høyere og føre til et høyere vanninnhold i grunnen. Dette reduserer bakkens evne til å infiltrere, slik at avrenningen blir større også under normale nedbørssituasjoner.

2.3.Forurensning

Overvann og avløpsvann inneholder mange typer forurensninger. Konsentrasjonene varierer sterkt fra sted til sted, avhengig av forurensningskilde og arealbruk. Typiske forurensninger er miljøgifter som tungmetaller (kvikksølv, bly, kadmium, krom, etc.) og organiske forbindelser (PCB, PAH, etc.). Disse miljøgiftene er skadelige for levende organismer, som planter, dyr og mennesker. Næringsstoffer som nitrogen og fosfor kan i store mengder føre til eutrofiering av resipienter. Dette kan også være skadelig for levevilkårene for fisk, andre vannlevende dyr og mennesker.

2.3.1. Forurensningskilder

Blant de største forurensningene finner vi forurensning fra trafikk og veier. Det er også viktig å nevne stående bygningsmasse og industri. Overløpsdrift fra fellesledninger og lekkasjer fra avløpsledninger er transportører av forurensninger. Overløp som er plassert foran renseanlegget er normalt dimensjonert for tre ganger midlere spillvannsføring. Dette er for å beskytte anlegget mot hydraulisk overbelastning. Ved ekstreme vær-situasjoner vil dette overløpet sende urensset avløpsvann til nærliggende resipienter.

2.3.2. Økt forurensning grunnet klimaforandringer

Bredere elver, flere flommer og oversvømmelser, økt temperatur på vannet og større belastning på avløpssystemene er noen av effekten fra endret klima. Underdimensjonerte avløpssystemer er den viktigste årsaken til at forurensningen øker.

Klimaendringer påvirker også sandfangenes funksjon. Sandfangenes rolle er å sedimentere partikulært stoff fra overvannet. Dette partikulære stoffet kan være bundet med miljøgifter. Sandfangene skal normalt tømmes regelmessig slik at funksjonen ikke blir forringet. Når det er store vannmengder som strømmer gjennom et sandfang er det fare for resuspensjon av miljøgifter og at disse blir tilbakeført til systemet og ut gjennom overløp. Ved fremtidens klimaregime vil denne effekten forekomme oftere og sterkere.

Overløp vil som følge av økt nedbørsintensitet og mengde gi et betydelig større utslipp. Dette omtales nærmere i eksemplet i kapittel 2.3.3. Det forventes at overløpsdriften vil øke betydelig fremover mot år 2100 som følge av klimaendringene. Kalkulasjoner viser at forurensningsutslippene fra overløpene i fellesavløpsanlegg kan øke med 40 % til 100 % (Lindholm, Nie et al. 2007).

IMT rapport nr.16 har kartlagt klimaeffektens betydning for forurensningssituasjonen fra områder med fellesavløpssystemer og områder med separatsystemer (Lindholm, Nie et al. 2007), se tabell 3.

Tabell 3. Klimaeffektens betydning for forurensningssituasjonen (Lindholm, Nie et al. 2007).

Klimaeffektens betydning for forurensningssituasjonen	
<u>Områder med fellesavløpssystemer</u>	
<ul style="list-style-type: none"> • Økt regnvarighet og/eller regnintensitet gir en progressiv økning i overløpsutslippene. • Hyppigere regn gir økt utspylning fra rørsedimenter, sandfang og overflater fordi den stabile deponifasen nåes sjeldnere. • Hyppigere og kraftigere regn gir mindre større ansamlinger av rørlagring pga. økt skjærspenning i lengre tid. • Økt hydraulisk maksimalbelastning på renseanlegg gir større utslipp • Utslippene fra avløpsrenseanlegg øker omtrent i takt med antall m³ vann som passerer anlegget. Dette på grunn av minimumskonsentrasjon i utløpet man ikke kommer under. • Erosjon av partikler fra permeable flater, grøfter, bekkeleier etc. øker. Dette er på grunn av hyppigere, lengre og kraftigere regn som gir økt vannføring og vannføring med lengre varighet. 	
<u>Områder med separatsystemer</u>	
<ul style="list-style-type: none"> • Deponiene på overflatene og sandfang spyles oftere ut, hvilket gir en økning totalt sett. • Renseanleggene får nesten alltid økende fremmedvannsmengder under regn (selv om dette teoretisk ikke bør skje i et separatavløpssystem) som øker hydraulisk belastning. Utslippene kan øke pga. sedimenteringstankenes begrensinger. Av samme grunn får man økende antall m³ vann inn i renseanlegget. Dette gir mer utslipp fra avløpsrenseanleggene i takt med antall m³ som passerer anlegget. Dette pga en minimumskonsentrasjon man ikke kommer under. 	

2.3.3. Eksempel – overløpsutslipp

Statens forurensningstilsyn benyttet i 2008 DHIs MOUSE- program for å modellere effekten av økt regnintensitet og økt regnvarighet. Dette er et utdrag fra resultatene etter denne undersøkelsen (SFT 2007).

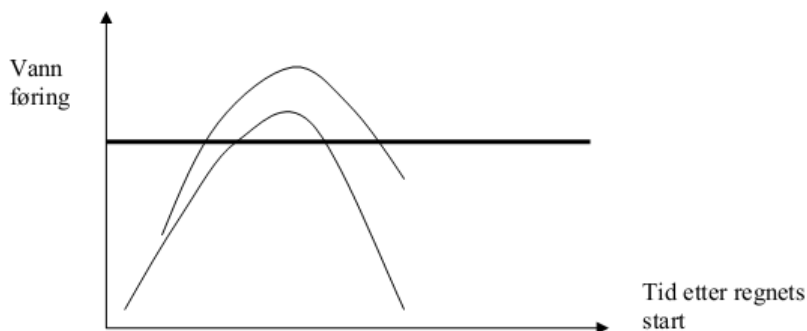
Økt regnintensitet:

Tabell 4 viser hvor mye vann som går i overløp ved forskjellige regnintensiteter med en fast regnvarighet på 25 minutter.

Tabell 4. Eksempel på overløpsutslipp som følge av endring i regnintensitet.

Regnintensitet i l/s ha	m ³ i overløp i løpet av regnet	% økning i regnintensitet i forhold til utgangspunktet	% økning i overløpsutslippet i forhold til utgangspunktet
60	341,3	0 (referansesituasjon)	0 (referansesituasjon)
70	560,9	16,7	64,3
80	799,3	33,3	134,2

Figur 1 viser hvordan overløpsutslippet øker ved økt regnintensitet. Den tykke vannrette linjen symboliserer når overløpet trer i funksjon.



Figur 1. Prinsippskisse for effekten ved å øke regnintensiteten.

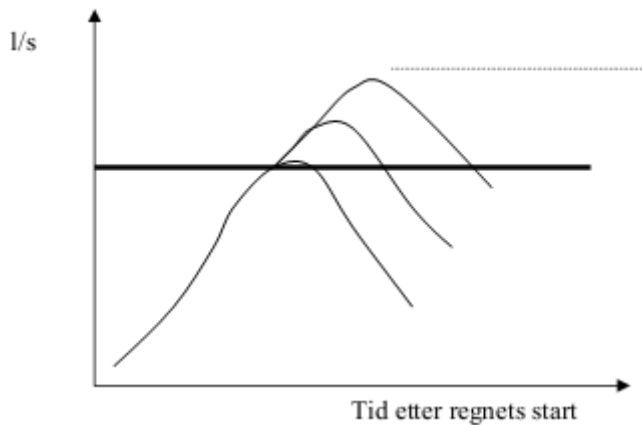
Økt regnvarighet:

Tabell 5 viser hvordan forskjellige regnvarigheter påvirker overløpsutslippet.

Tabell 5. Eksempel på overløpsutslipp som følge av økt regnvarighet.

Regnvarighet i minutter	m ³ i overløp i løpet av regnet	Antall ganger økning i regnintensitet i forhold til utgangspunktet	Antall ganger økning i overløpsutslippet i forhold til utgangspunktet
15	2,6	1 (referansesituasjon)	1 (referansesituasjon)
20	140,5	1,33	54
25	341,3	1,67	131

Figur 2 viser mengden vann som går i overløp ved forskjellige regnvarigheter. Den tykke svarte linjen symboliserer når overløpet trer i funksjon.

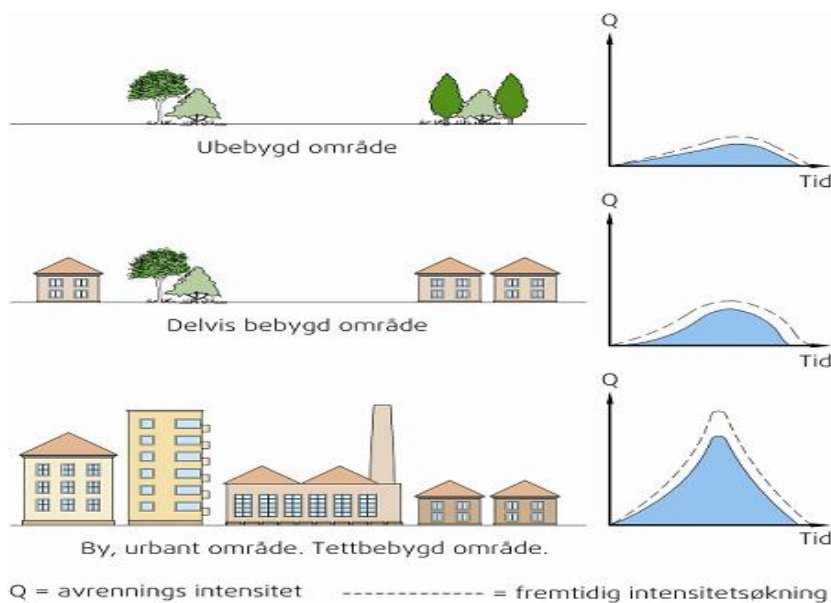


Figur 2. Prinsippskisse for visning av effekten ved å øke regnvarigheten.

Disse eksemplene illustrerer hvordan økt regnvarighet og intensitet påvirker overløpsutslippet. Her fremgår at en økning i regnvarighet eller intensitet fører til et betydelig større overløpsutslipp. Det er to måter å håndtere en økning i overløpsutslipp; enten ved å redusere mengden vann tilført systemet, eller ved å øke kapasiteten på det eksisterende systemet. Separering av fellessystemene er derfor svært viktig for å begrense overløpsutslippet.

2.4.Konseptet: Bærekraftig overvannshåndtering

Med økende urbanisering, økende andel tette overflater og mindre vegetasjon vil avrenningen øke. Det er fordi forandringen i den naturlige hydrologiske balansen vil føre til mindre evapotranspirasjon og mindre infiltrasjon av regnvannet.

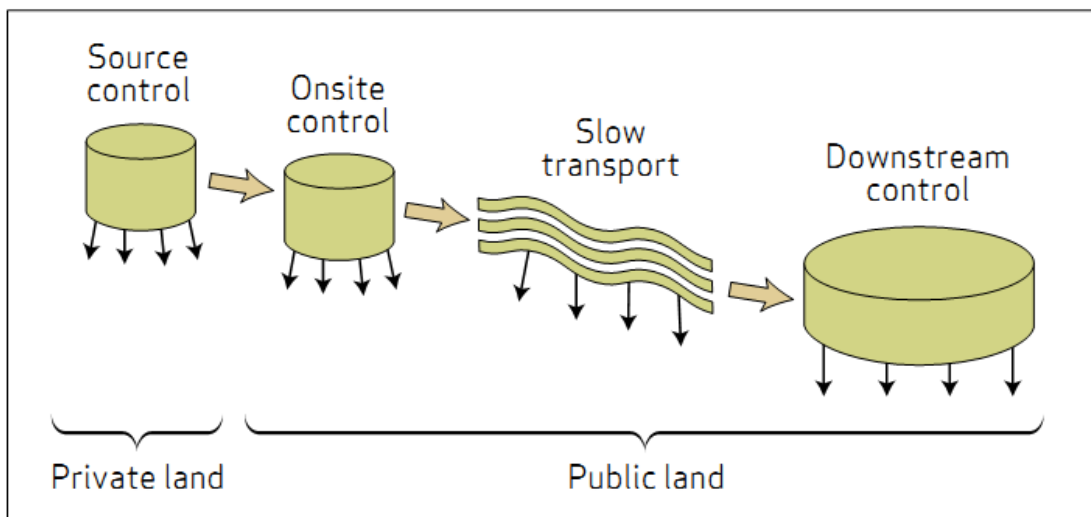


Figur 3. Avrenning ut fra arealbruk (Thorolfsson 2011)

Den tradisjonelle løsningen på dette problemet har vært å bygge rørsystemer under bakken for å lede vannet så fort som mulig ut av det aktuelle området. Dette fører til store belastninger på ledningene da mye vann blir tilført systemet i løpet av en kort tidsperiode. Det kan føre til overbelastning av avløpssystemet og konsekvensen er mer vann som går i overløp. Dette medfører at urensset avløpsvann tilføres resipienter.

Ved bruk av bærekraftig overvannshåndtering er tankegangen motsatt av tradisjonell. Her strebes det etter å komme nærmere den opprinnelige hydrologiske syklusen; gjennom økt infiltrasjon og fordampning, og tregere avrenning. Ideen bak dette er å dempe topper i avrenningshydrografen og fordele vannmengdene over en lengre tidsperiode. I stedet for å se på overvannet som en byrde, skal man heller se på det som en ressurs og på denne måten få motivasjon til å skape grønne rekreasjonsområder (Stahre 2006).

Peter Stahre (2006) skiller også på hvor de ulike tiltakene bør plasseres. Se figur 4.



Figur 4. Definisjoner av ulike fasiliteter for åpen overvannshåndtering (Stahre 2006).

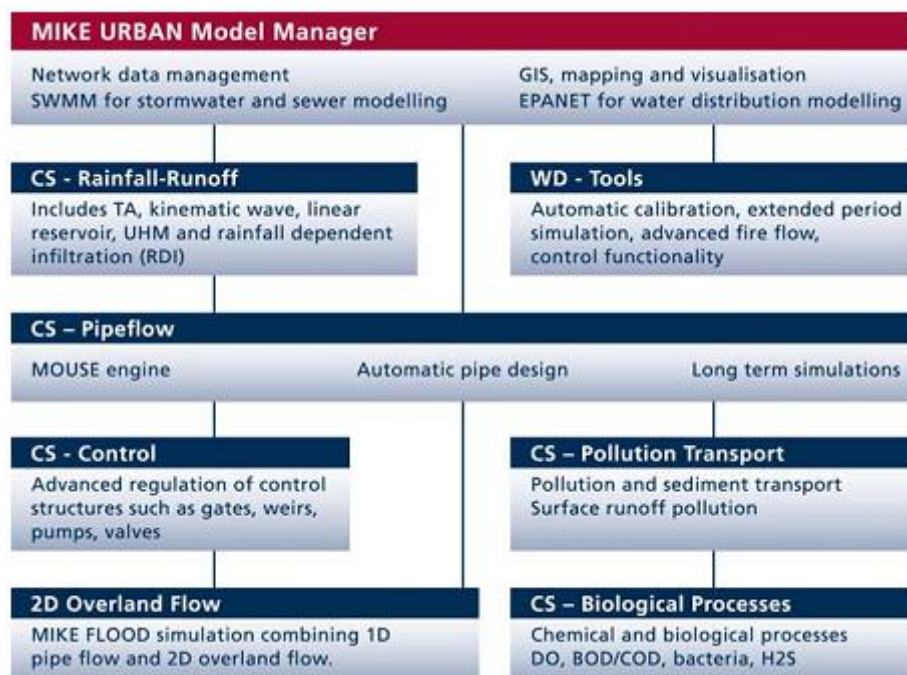
Ved "kildekontroll" menes tiltak som kan iverksettes på privat grunn. Det er avrenningsreducerende tiltak som ligger i nærheten av kilden. Det neste trinnet er "kontroll på stedet". Her handler det om å iverksette tiltak oppstrøms i systemet på offentlig grunn. Videre er vannets vei i fokus. Dette kaller Peter Stahre "treg transport". Ideen er å forsinke transporten av vannet ved bruk av åpne løsninger. Til slutt kommer "nedstrøms kontroll". Dette er forskjellige større løsninger nedstrøms i systemet, som midlertidig tilbakeholder overvannet.

Tabell 6. Eksempler på tiltakenes plassering i systemet (Stahre 2006).

Kategori	Eksempel på teknisk konfigurasjon
Kildekontroll (Source control)	<ul style="list-style-type: none">• Tak med vegetasjon• Infiltrasjon på plen• Permeabelt dekke• Infiltrasjon i pukkfillinger• Lokale dammer• Oppsamling og bruk av takvann til f.eks vanning eller toalett
Kontroll på stedet (Onsite control)	<ul style="list-style-type: none">• Permeabelt dekke• Filter strips• Temporær tilbakeholdelse i bestemte områder• Dammer
Treg transport (Slow transport)	<ul style="list-style-type: none">• Swales• Bekker• Kanaler
Nedstrøms kontroll (Downstream control)	<ul style="list-style-type: none">• Store dammer• Våtmarker• Innsjøer

3. MIKE URBAN

MIKE URBAN er modelleringsverktøy fra MIKE- serien som er utviklet av DHI Water & Environment. Det er et hydrodynamisk simuleringsverktøy for modellering av vannmengder og vannkvalitet i urbane avløps og distribueringsystemer. Det kan benyttes to motorer ved modellering, enten SWMM5 eller MOUSE. SWMM5 er utviklet av United States Environmental Protection Agency (EPA) og MOUSE er utviklet av DHI. I denne rapporten er MOUSE benyttet som motor. Strukturen av modulene i MIKE URBAN er vist i figuren under.



Figur 5. Struktur av modulene i MIKE URBAN (DHI 2011, a).

Modulene

Nedbør – Avrenning: Modulen beregner avrenning fra tette flater i et felt. Det er fire forskjellige metoder som kan benyttes. Tid/areal, ikke lineær kinematisk bølge beregning, lineær reservoar metode (Nederlandsk og Fransk metode) og UHM (Unit Hydrograph method). (DHI 2011, b).

Nedbørsavhengig innstrømning og infiltrasjon (RDII): Dette er en hydrologisk routing- modell gjennom de permeable områdene i et nedslagsfelt. Denne modellen representerer det hydrologiske langtidsminne til en modell. (DHI 2011, c)

Rørstrømning: Dette er et verktøy for å beregne ikke- stasjonær strømning i rør og kanal nettverk. Den simulerer både kritisk, underkritisk og overkritisk strømning i delvis fylte, fylte og trykksatte rør. Den beskriver også nettverkselementer som kummer, basseng, overløp, pumper, trykkreduksjon, etc. (DHI 2011, d)

Transport av forurensning: Denne modulen inkluderer forurensning og sediment transport gjennom et ledningsnettverk og modellerer transport fra overflaten til nettverket. (DHI 2011, f)

Biologiske prosesser: Simulerer forskjellige kjemiske og biologiske prosesser som skjer i avløpssystemer og kombinertsystemer. (DHI 2011, e)

RTC – Real time control: Tillater beskrivelse av kontrollerbare enheter i nettverket (pumpekapasitet, kanalåpninger, ventiler etc.) (DHI 2011, g)

2D Overland: Dette er en tilleggsmodul fra MIKE FLOOD som kan kombinere 1D nettverksstrømning med 2D strømning på overflaten i MIKE URBAN. (DHI 2011, g)

Nærmere forklaring av de benyttede moduler

I denne rapporten er det benyttet følgende moduler; Nedbør- avrenning (tid/areal metoden), RDII og rørstrømning. I tillegg er 2D overland modulen benyttet for flomanalyse.

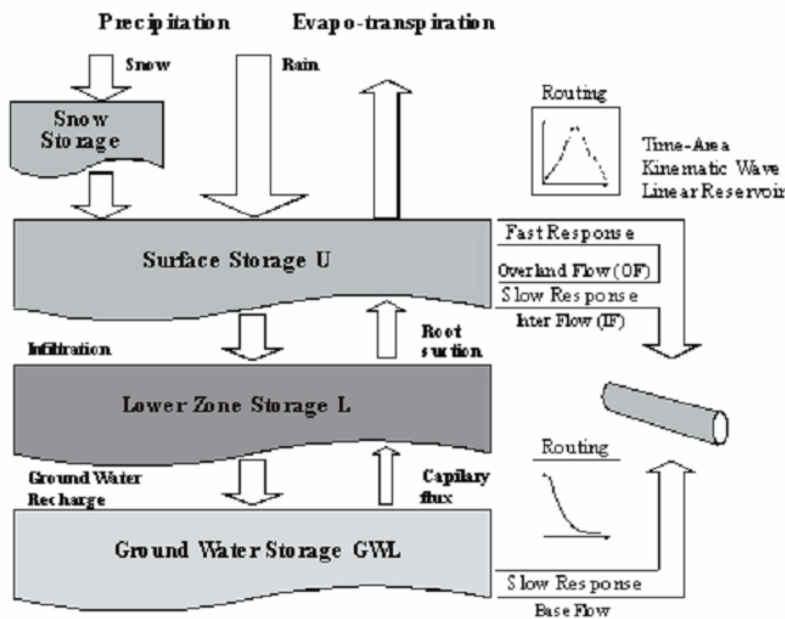
Overflateavrenningsmodell:

Avrenningsmodellen som er benyttet er tid/areal metoden i MOUSE. Her blir størrelsen på avrenningen kontrollert av et initielt tap, størrelsen på arealet som bidrar til avrenning og det kontinuerlige hydrologiske tapet. Formen på avrenningshydrografen er kontrollert av konsentrasjonstiden og av tid/areal kurven. Disse to parameterne representerer en begrepsmessig beskrivelse av feltets reaksjonshastighet og feltets form. (DHI 2011, b)

RDII (Nedbørsavhengig innstrømning og infiltrasjon):

MOUSE RDI kan kombineres med MOUSE overflate avrenningsmodell, i dette tilfellet tid/areal modellen. Modellen er basert på DHIs NAM hydrologiske modell som er utarbeidet av det Tekniske Universitetet i Danmark. Modellen baserer seg på en fysisk beskrivelse av avrenningen (deterministisk) som tar hensyn til feltets hydrologiske tilstand ved starten av regnhendelsen. Modellen har moderate krav til inngangsdata. (DHI 2011, c)

Strukturen av RDI modellen er vist i figur 6.



Figur 6, Modellstruktur av RDI modellen (DHI 2011, c).

Rørstrømning:

MOUSE rørstrømning er et beregningsverktøy for simulering av ikke- stasjonær strømning i et røرنettverk med vekslende fritt vannspeil til trykksatte forhold. Beregningen er basert på en numerisk implisitt, endelig differanse løsning av en enkel 1D ligning med fritt vannspeil (Saint Venant). Både underkritisk og overkritisk strømning blir behandlet. Når MOUSE håndterer trykksatte rør benyttes Preissman slot. Det gjøres ved å sette en trang slisse over røret, slik at trykkforholdene ivaretas. (DHI 2011, d)

2D – Overland:

Ved å kombinere 1D- modellering i MOUSE med 2D- modellering i MIKE 21, kan en simulere vannveier, hastigheter og oversvømmelser i MIKE URBAN. Det lages en kobling mellom 1D- og 2D- modellen slik at verdiene overføres mellom modellene. Her løses 2D- modellen med en enkel grid ved hjelp av en rektangulær cellebergning. 2D- modellarealet er dekket av kvadratiske beregningsceller. (DHI 2011, g)

4. Bakgrunn - Sandnes

4.1.Sandnes sentrum

Sandnes kommune grenser til Gjesdal, Time, Stavanger, Klepp og Sola og var med sine 67 814 innbyggere Norges 8. største by i 2012 (Sandnes-kommune 2012). Sandnes er også Norges hurtigst voksende by. I 2011 hadde Sandnes en befolkningsøkning på 2,38 % (Sandnes-kommune 2012).

Kommunens beliggenhet sørvest i Norge medfører at temperaturene er gjennomsnittlig høyere sammenlignet med andre kommuner i Norge. Vintrene er snøfattige og milde. Klimaet er typisk vestlandsklima og er preget av til dels mye nedbør. Årsnedbøren i Sandnes ligger i følge meteorologisk institutt på 1080 mm for Sola og 1545 mm for Rovik (met.no 2012).

Sandnes kommune benytter Rovik målestasjon som sin hovedstasjon for nedbørsdata. Denne stasjonen har vært i drift siden 1974 og det benyttes et pluviometer som nedbørsmåler. Stasjonen måler minuttverdier. Stasjonen befinner seg 19 moh og ca. en kilometer øst for Sandnes sentrum.

På 1800- tallet var det langgrunn i Gandsfjorden, med kaier som strekte seg ut til marbakken. Den nordlige delen av strandsonen ble fylt ut på slutten av 1800- tallet på grunn av jernbaneutbyggingen. Resterende fyllinger i vest og i sør ble fylt ut på 60- tallet, samtidig som havneområdet ble gjort dypere (Sømme 2003).

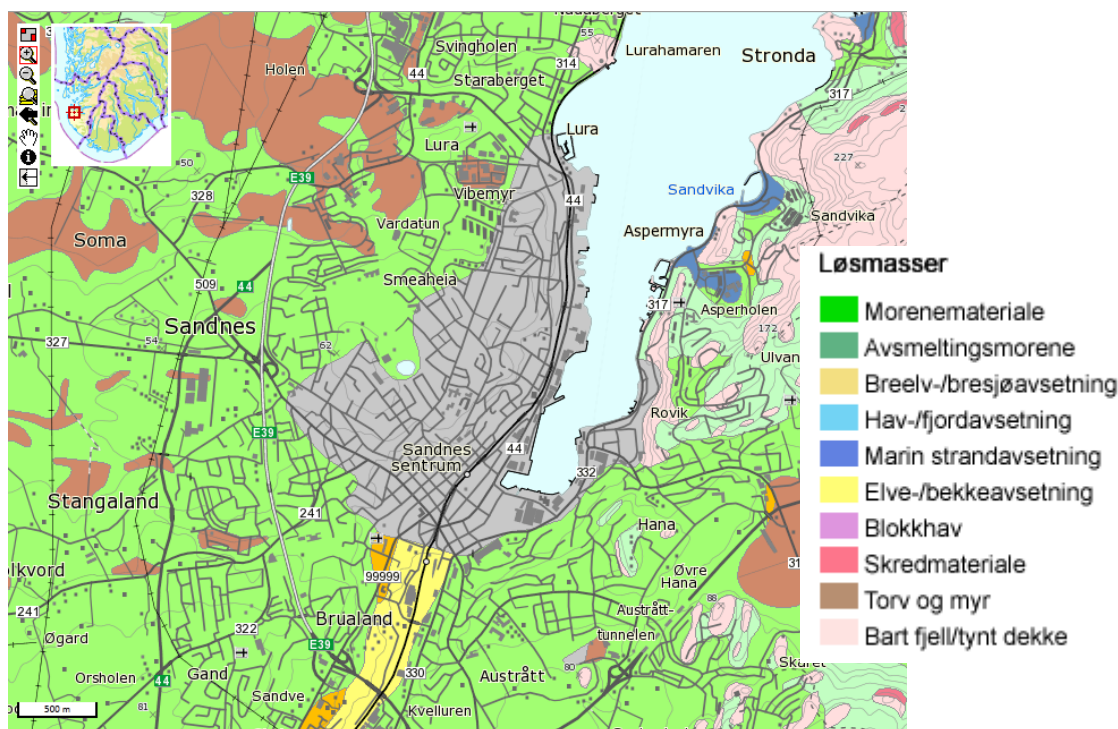
Elven som en gang munnet ut innerst i Gandsfjorden ligger nå i en kulvert gjennom sentrum. Overvann blir også ledet inn på denne kulverten.



Figur 7. Utfyllinger i Sandnes havn. Tv. år 1818 og th. fyllinger og bygg slik de er i dag (gul farge) (Sømme 2003).

I utfyllingsområdene er kotehøydene til dels veldig lave. Utfyllingshøyden er enkelte steder under 1 m over dagens havnivå.

Utfyllingene i Sandnes sentrum består i stor grad av fyllmasser. Dette er illustrert med grå farge på figur 8. De grønne områdene er tykke moreneavsetninger. Disse sonene består av varierende kornstørrelser og kornfordeling. Noen steder er det leire, mens andre steder er det sand. Disse sonene er ikke kartlagt, slik at infiltrasjonsegenskapene i Sandnes er usikre.



Figur 8. Grunnforhold i Sandnes (NGU 2012).

4.2. Dimensjonerende nedbør for Sandnes

4.2.1. Klimafaktor

Det er vanskelig å forutse klimaendringene og det finnes ulike meninger og litteratur på hva som er sannsynlig klimascenario for fremtiden. Miljøstyrelsen Danmark anbefaler følgende faktorøkning på fremtidsnedbør: "Den bedste anbefaling i dag må derfor være at gange nuværende dimentioneringsregn med en faktor på 1,2- 1,5" (Mark and Linde 2006). I dag brukes typisk en klimafaktor på 1,2 som dimensjoneringsgrunnlag (Trondheim-kommune 2007). Det finnes derimot andre som anbefaler høyere faktorer fra 1,2 til 1,6 (Olsson, Berggren et al. 2007). NV-162 (Lindholm 2008), SFTs TA-2317 (SFT 2007) og IMT- Rapport nr.16 (Lindholm, Nie et al. 2007) støtter alle en regnintensitetsøkning mellom 20 % og 60 % ved en time regnvarighet.

DANVA har laget følgende prognose for fremtidsnedbøret (Kaasgaard, Friis et al. 2007):

Tabell 7. Økning i regnintensitet som følge av klimaendringene (Kaasgaard, Friis et al. 2007)

Tidshorisont	Økning i regnintensitet
I dag	0,0 %
Om 10 år	5,0 %
Om 25 år	12,5 %
Om 50 år	25,0 %
Om 100 år	50,0 %

Tabell 7 viser en antatt lineær økning i regnintensitet over tid. Nederst vises 50 % intensitetsøkning om 100 år.

På basis av denne litteraturen, og samtaler med professor Sveinung Sægrov, er det tatt høyde for intensitetsøkning på opptil 60 % om hundre år. Dette støttes av Linmei Nie med flere (Nie, Li et al.

2012). Irene Stabell Holviks masteroppgave fra 2010 anslår en regnintensitetsøkning på 60 % for Sandnes kommune (Holvik 2010). I denne rapporten er det derfor valgt å analysere fremtiden (år 2100) ved "beste" tilfelle som er 20 % intensitetsøkning og "verste" tilfelle som er 60 % intensitetsøkning.

4.2.2. Fiktive nedbør

Et fiktivt nedbørstilfelle er et idealisert regnskyll basert på statistiske returperioder. Disse nedbørene benyttes ved dimensjonering av nye avløpssystemer. Et blokkregn er det enkleste, men også det mest urealistiske nedbørstilfellet (Butler and Davies 2011). I en virkelig situasjon varierer regnintensiteten over tiden. Det er forsøkt å standardisere nedbør, men det er svært komplisert. Eksempler på slike nedbørstilfeller er Chicago Storm, Huff Storm, Sifalda Storm og flere. I Norge benyttes ofte et symmetrisk nedbørstilfelle som dimensjoneringsgrunnlag. Da blir nedbørstilfellet presentert i form av et hyetogram som viser regnintensitet mot regnvarighet. I denne rapporten er det valgt å benytte et symmetriske nedbørstilfelle.

Som dimensjonerende gjentakintervall er Norsk Vanns anbefalinger benyttet. Med bakgrunn i tabell 8 er det valgt å benytte 20 års gjentakintervall ved dimensjonerende nedbør.

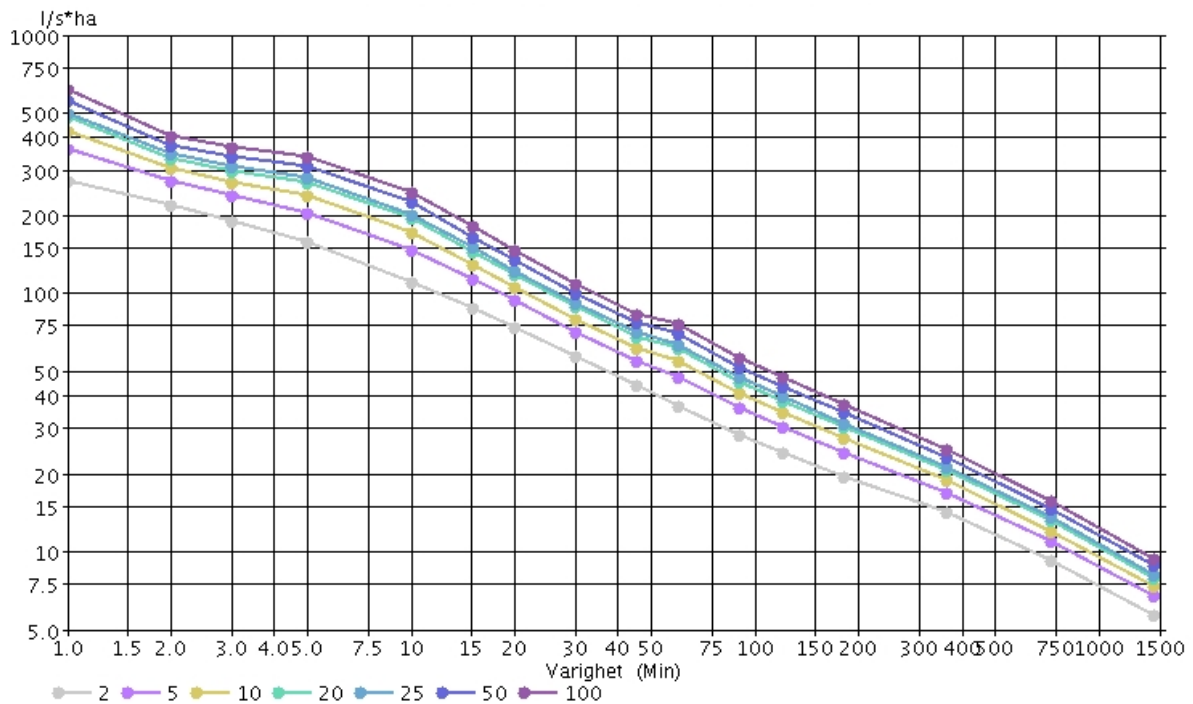
Tabell 8. Dimensjonerende gjentakintervaller anbefalt av Norsk Vann (Lindholm 2008).

Dimensjonerende regnskyllhyppighet (1 i løpet av "n" år) ¹⁾	Plassering	Dimensjonerende oversvømmelses hyppighet (1 i løpet av "n" år) ²⁾
1 i løpet av 5	Områder med lavt skadepotensial (Utkantområder, landbrukskommuner)	1 i løpet av 10
1 i løpet av 10	Boligområder	1 i løpet av 20
1 i løpet av 20	Bysentre/industriområder/forretningsstrøk	1 i løpet av 30
1 i løpet av 10	Jernbaner/underganger	1 i løpet av 50

1) Ledning skal bare fylles til topp av rør ved dimensjonerende regn.

2) Oversvømmelsesnivået skal normalt regnes til kjellernivå 90 cm over topp rør i gateledninger

Verdier fra Rovik målestasjon er benyttet ved dimensjonering av de fiktive nedbørshendelsene.



Figur 9. IVF kurve for Sandnes - Rovik 44730. Returperioder (år) (eKlima 2012).

Det er valgt å lage tre forskjellige nedbørsscenarioer. Det første skal representere dagens situasjon og har dermed ingen klimafaktor. Det to siste skal representere fremtiden, men siden fremtiden er usikker blir det benyttet klimafaktor fra 1,2 til 1,6. Under dimensjoneringen er det valgt å benytte symmetriske nedbørstilfeller med 2 minutters oppløsning. En høy oppløsning fører til en høyere spissintensitet. Fordelen ved å benytte et symmetrisk nedbør med høy spissintensitet er at man oppnår dimensjonerende vannmengder i alle deler av feltet, samtidig som feltet utjevner vannmengdene (Lindholm 1978).

Dagens situasjon:

- Gjentaksintervall 20 år
- Varighet = 1 time
- Tidssteg (oppløsning) = 2 min

Tabell 9. Verdiene er hentet fra IVF kurven for Sandnes Rovik – 44730 (eKlima 2012).

Varighet [min]	Intensitet [l/s ha]
4	281.0
8	218.0
12	170.0
16	137.0
20	118.1
24	104.0
28	93.0
32	84.5
36	78.5
40	73.0
44	69.0
48	65.5
52	64.0
56	63.0
60	60.7

Prosedyre:

De fiktive nedbørshendelsene har et beregningssteg på 2 minutter og en total regnvarighet på 60 minutter. Det foregående leddet i beregningen må trekkes fra slik at det totale volumet på et 60 minutters nedbør ikke overskrides. Følgende formeler er benyttet i beregningen (Lindholm 1978).

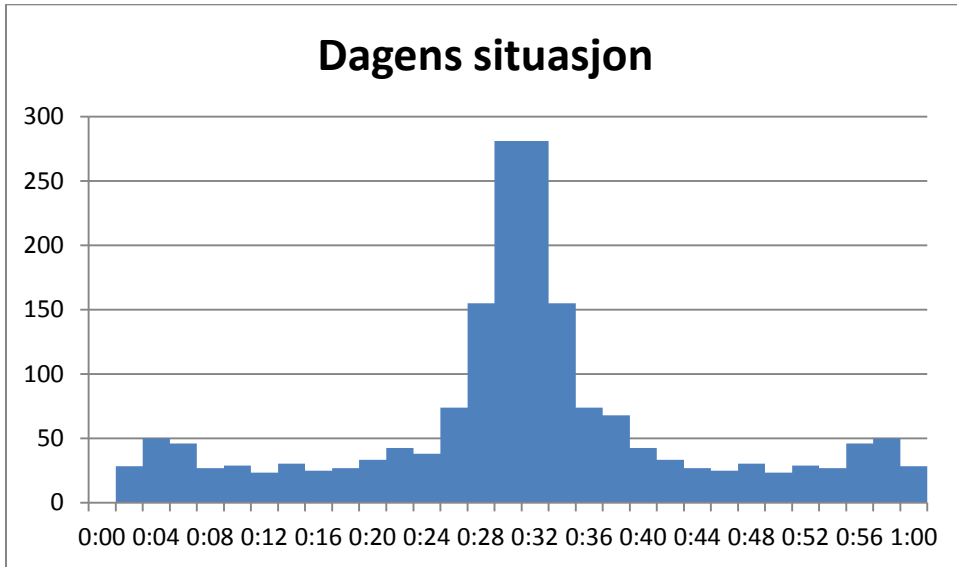
$$I_{4min} = \frac{V_{2min}}{\Delta t} = \frac{281 \frac{l}{s} ha * 4min}{4min} = 281 l/s ha$$

$$I_{8min} - I_{4min} = \frac{V_{8min} - V_{4min}}{\Delta t} = \frac{218 \frac{l}{s} ha * 8min - 281 \frac{l}{s} ha * 4min}{4min} = 155 l/s ha$$

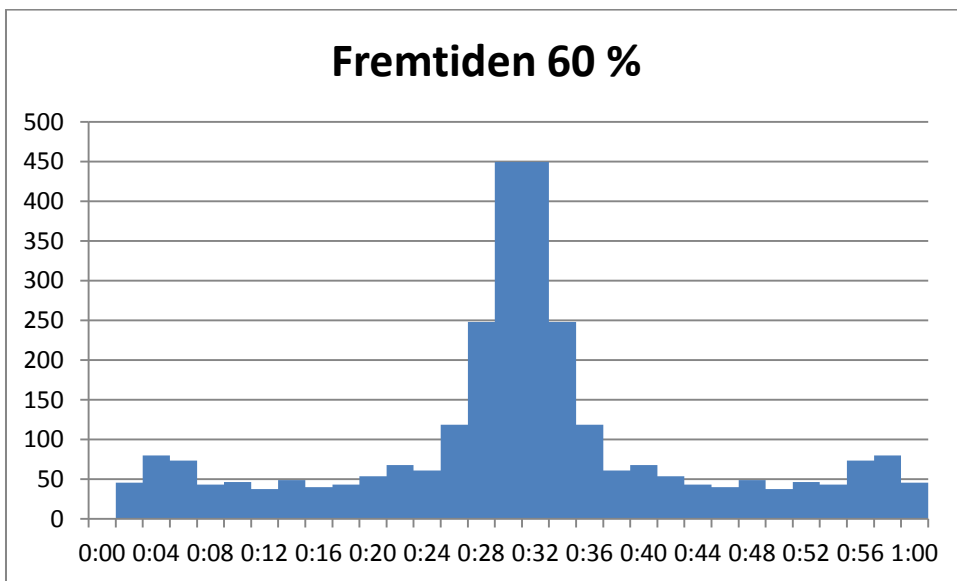
$$I_{12min} - I_{8min} = \frac{V_{12min} - V_{8min}}{\Delta t} = \frac{170 \frac{l}{s} ha * 12min - 218 \frac{l}{s} ha * 8min}{4min} = 74 l/s ha$$

Denne prosedyren fortsettes til hele regnvarigheten på 60 min er fullført. Samme fremgangsmåte er benyttet for de andre fiktive nedbørene.

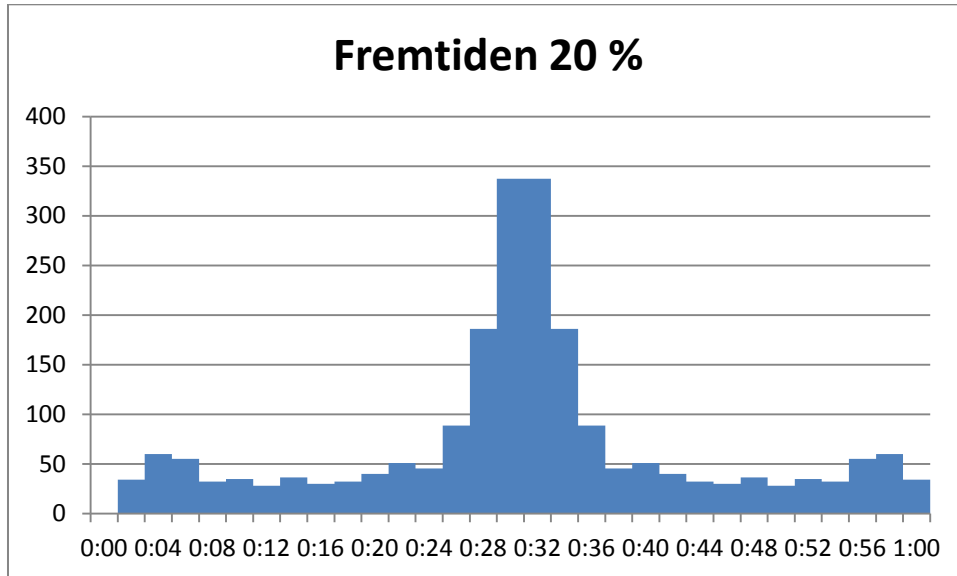
Figurene 10, 11 og 12 viser de dimensjonerte nedbørstilfellene under dagens situasjon og fremtidens situasjon med 20 % og 60 % klimatillegg.



Figur 10. Viser dagens situasjon med 20 års gjentaksintervall, beregningssteg 2 minutter og 1 times varighet.



Figur 11. Viser dagens situasjon med 20 års gjentaksintervall, beregningssteg 2 minutter, 1 times varighet og klimafaktor 1,6 (60 %).



Figur 12. Viser dagens situasjon med 20 års gjentaksintervall, beregningssteg 2 minutter, 1 times varighet og klimafaktor 1,2 (20 %).

4.3. Dimensjonerende havnivå for Sandnes

FNs klimapanel (IPCC) har presentert flere forslag for fremtidig klimautvikling. Forslagene er basert på ulike fremtidige scenarier for befolkningstall, teknologi og økonomi, se tabell 10.

Fra IPCCs kalkulerte fremtidsutsikter og en modell utviklet av Rahmstorf (2007), har Drange med flere utarbeidet et forslag til fremtidig havnivåstigning fram mot år 2100 (Drange, Marzeion et al. 2007). Modellen har vist seg å være meget presis. Den simulerte perioden fra 1891 til 1990 har en feilmargen på 0,3 cm. Gitt at klimautviklingen fortsetter slik den gjør i dag vil denne modellen også være representativ for fremtiden.

Tabell 10. Forklaring av de ulike fremtidsscenarier (Lindholm 2008).

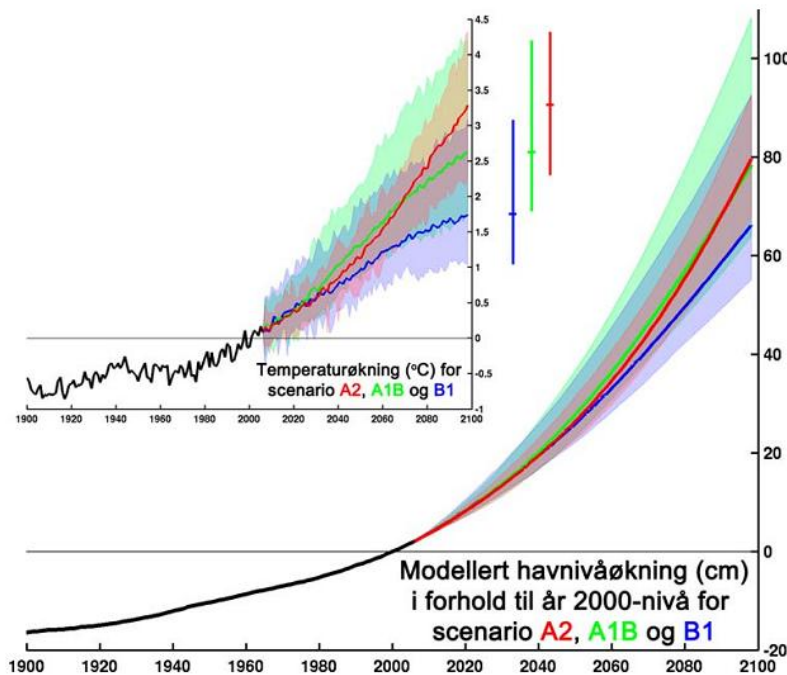
Fremtidsscenarier, IPCC (2007)	
B1	Globale løsninger på økonomisk og sosial bærekraftighet. Raske endringer i økonomiske strukturer og introduksjon av rene teknologier. 7 milliarder mennesker i år 2100. CO ₂ -innholdet i atmosfæren er på 540 ppm, mot 380 ppm i dag.
A1B	Rask økonomisk vekst. Rik verden, men ujevn fordelt rikdom. 7 milliarder mennesker i år 2100. Teknologisk balanse mellom fossil og ikke-fossil energiteknologi. Atmosfærens CO ₂ -innhold er på 703 ppm i år 2100.
A2	Delt verden med høy befolkningsvekst og mindre bekymring for rask økonomisk utvikling. 15 milliarder mennesker i år 2100. Atmosfærens CO ₂ -innhold er på 836 ppm i år 2100.

I tabell 11 viser forventet havnivåstigning i årene 2050 og 2100. De ulike havnivåstigningene er delt inn etter de forskjellige klimascenariene A2, A1B og B1. I tabellen er også bidraget fra landhevingen etter istiden inkludert.

Tabell 11. Verdier for forventet økning i havnivå i år 2050 og 2100 og stormflo i år 2100 (Drange, Marzeion et al. 2007)

By	Midlere havstigning i år 2050, inkl landheving [cm]			Midlere havstigning i år 2100, inkl landheving [cm]			Stormflo i år 2100, tillegg fra kote 0 (NN1954) [cm]
	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1	
Stavanger	26	27	25	78	77	65	204

Som vi ser ut av tabell 11 er ikke forskjellene store mellom de ulike scenarioene. Dette har flere årsaker, blant annet; Vann har en meget høy varmekapasitet, noe som gjør at havene kan lagre store mengder varme. Den vertikale blandingen i havet er en langsom prosess slik at havet vil stige i mange år etter en eventuell stopp i CO₂-utslipp. Det betyr at selv om vi klarer å kutte ned på CO₂-utslippene så vil endringen i havnivået fortsette i mange år fremover (Drange, Marzeion et al. 2007).



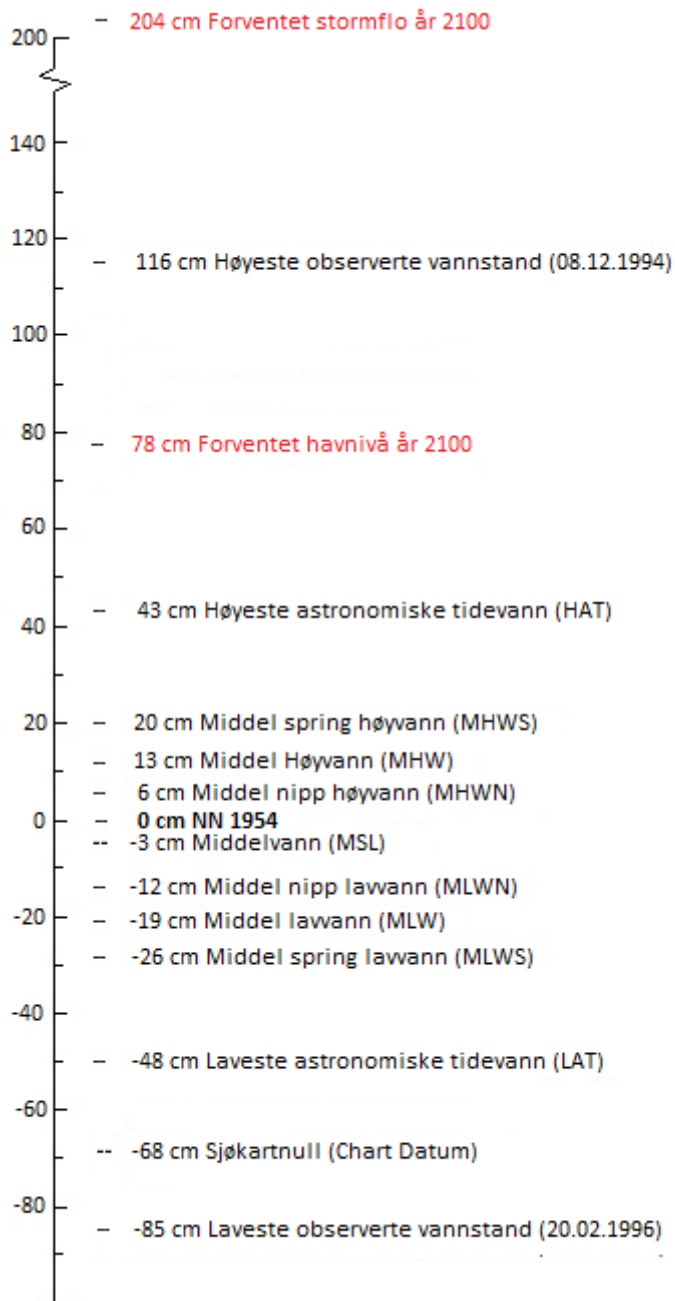
Figur 13. Havnivå- og temperaturøkning ut fra scenarioene B1, A1B og A2 (Drange, Marzeion et al. 2007).

Figur 13 viser at hendelsene A2, A1B og B1 er sett på isolert hver for seg. Det betyr at inndelingen ikke er en rangering fra lav til høy, men er et gjennomsnitt av hvert scenario. Fremtidens virkelige havstigning kan dermed bli enda verre enn det tabell 11 viser.

Til simuleringen i denne rapporten er det valgt å bruke scenario A2 som viser den høyeste havnivåstigningen av de tre scenarioene. Havnivåstigningen er i følge scenario A2 på 78 cm i år 2100. I tillegg er det valgt å legge til middels spring høyvann som er på 20 cm (se kapittel 4.4, figur 14). Dimensjonerende havnivå for år 2100 blir dermed 98 cm. Stormfloen ligger 204 cm over NN1954 i år 2100. Da forskjellene mellom de ulike prognosene på fremtidig havnivåøkning ikke er store (se tabell 11), er det i rapporten valgt å forholde seg til kun en verdi på fremtidig havnivåøkning.

4.4.Vannstands nivå og referanse høyde

Avløpsmodellen i MIKE URBAN og de andre kartene som er brukt i rapporten benytter NN1954 som referanse høyde. NN1954 er derfor valgt som utgangspunkt i rapporten. Figur 14 viser dagens tidevannsdata med nullpunkt i NN1954 og forventet stormflo og havnivåstigning i år 2100.



Figur 14. Viser tidevannsdata for dagens Stavanger og forventet havnivåstigning og stormflo for år 2100. NN1954 er referanse høyde (Kartverket 2012).

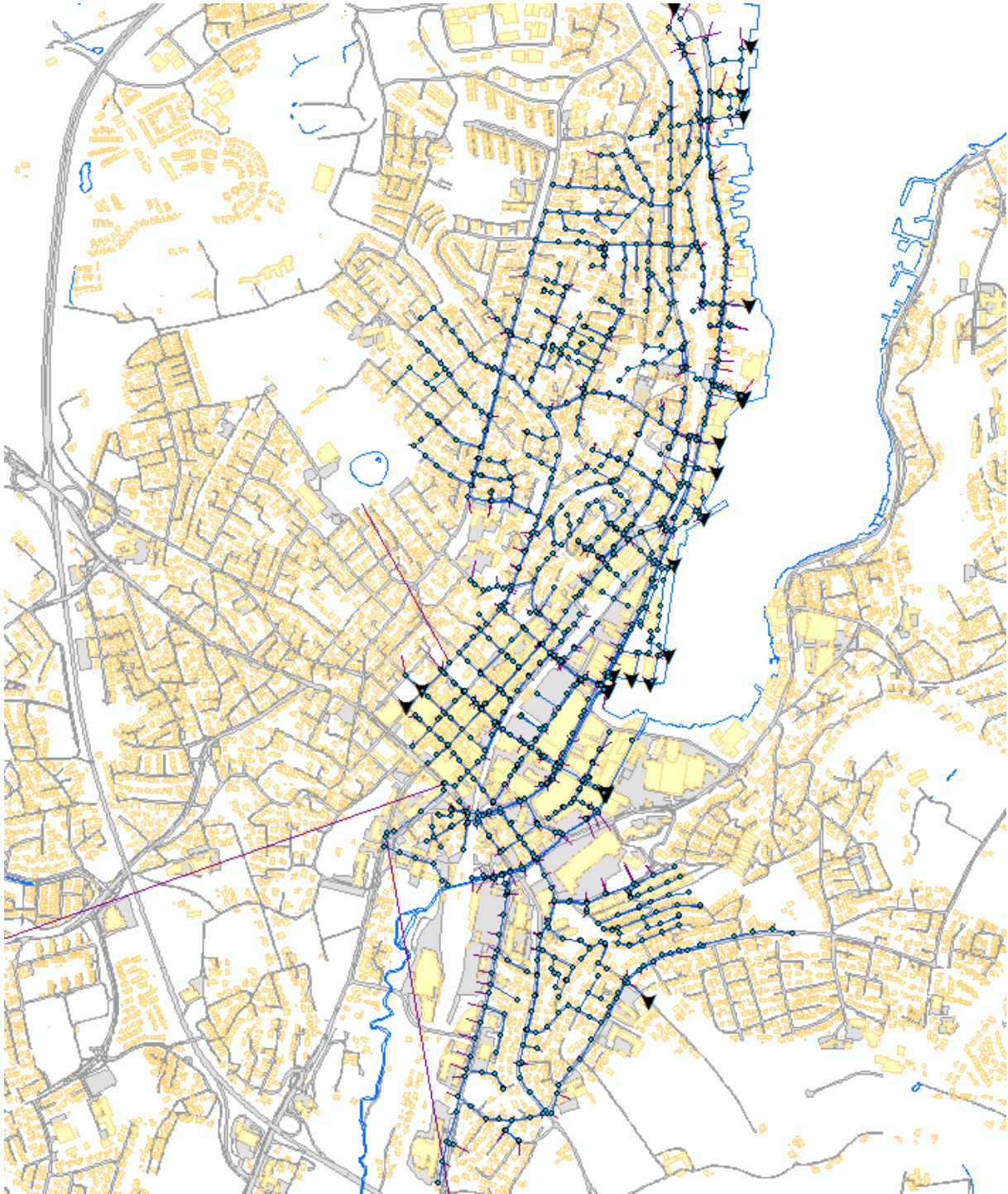
I simuleringen av økt havnivå i MIKE URBAN ble det valgt å sette havnivået til 98 cm over NN1954 for å inkludere middel spring høyvann (MHWS).

4.5. Avløpsmodell

Det eksisterer en avløpsmodell for deler av Sandnes i modelleringsverktøyet MIKE URBAN. Avløpsmodellen ble utviklet og kalibrert av DHI i Trondheim og er benyttet som verktøy i denne rapporten.

Ledningssystemet i avløpsmodellen er bygd opp rundt sentrumsområdene og de mest befolkede områdene på vestsiden av fjorden (se figur 15). Det er gjort noen forenklinger oppstrøms i avløpssystemet, hvor blant annet spillvannet er lagt inn som et fast tillegg fra de ulike boligområdene. Kartgrunnlaget er hentet fra kommunens Gemini VA kartdatabase og er konvertert til MIKE URBAN. Delarealene er delt inn etter Theisens polygonmetode. Det er både felles- og separatsystem i Sandnes der hoveddelen av spillvannet blir pumpet til renseanlegg. I sentrum blir overvannet ledet via kulverter og videre ut i havnebassenget.

Ledningssystemet i Sandnes kommune består av 33 km fellesledninger, 330 km overvannsledninger og 350 km spillvannsledninger.

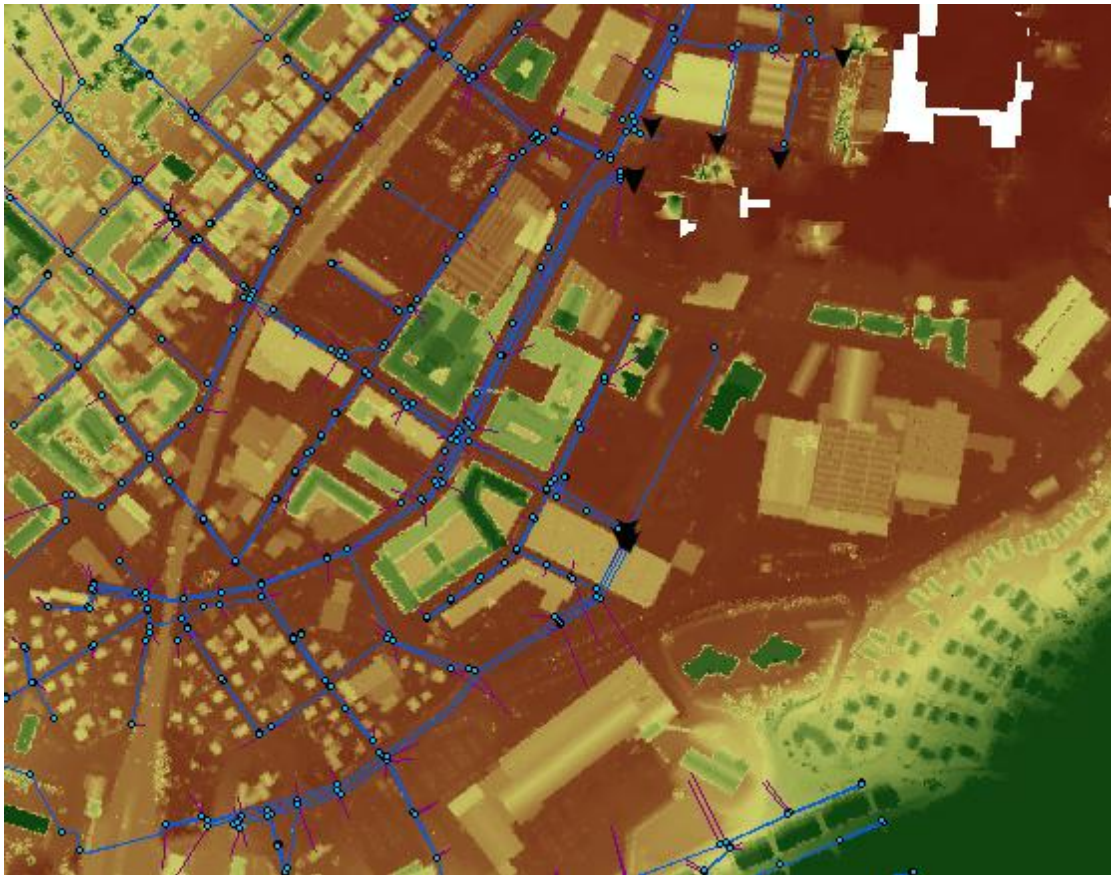


Figur 15. Modellområdet over Sandnes kommune slik det er bygget i MIKE URBAN. Figuren viser ikke delfeltene slik de er inndelt i modellen. Figur er hentet fra MIKE URBAN.

4.5.1. DEM – Digital Elevation Model

Som en del av flomanalysen ble det utført 2D- simuleringer. Til dette formål var det behov for et detaljert topografisk kart.

Sandnes kommune har tidligere utført laserskanninger over deler av Sandnes. Disse kartene inneholder xyz- koordinater, såkalte DEM- kart. DEM står for Digital Elevation Model og er målt inn med flybåren laser. Det er et fly med kjente koordinater, som sveiper et område med laser og måler kotehøyder. DEM- kartet for Sandnes har en oppløsning på $1,0365 * 1,0365\text{m}^2$. Figuren 16 viser hele DEM- kartet og dets utstrekning over Sandnes. Nøyaktigheten til DEM- kart ligger typisk på ca. 5 cm til 8 cm (Statnett 2008).



Figur 16. DEM- kart over Sandnes sentrum med ledningsnett. Figur er hentet fra MIKE URBA

5. Flomanalyse

Det er utført en flomanalyse av Sandnes sentrum for å se hvilke områder som oversvømmelser kan oppstå i og hvor det er fare for flomskader. Store deler av Sandnes sentrum ligger lavt og noen områder ligger 1 meter over havnivået. Det er ønskelig å se hvordan Sandnes blir påvirket av klimaendringene under ekstreme nedbørshendelser, hvor stor utbredelsen blir og størrelsen på en eventuell oversvømmelse. I den forbindelse er det utarbeidet fire scenarier som skal simuleres for Sandnes sentrum.

Den digitale høydemodellen (DEM) som blir brukt i simuleringen dekker det markerte området i figur 17. Det er derfor valgt å fokusere på dette området i analysen. Flere illustrasjoner i denne rapporten avgrens seg til akkurat dette området. Plassert øverst til høyre i figur 17 i det avgrensede området ligger havnebassenget hvor kulvertene munner ut.



Figur 17. Oversiktsbilde over avgrenset område i Sandnes sentrum. Figur hentet fra Google Earth 2012.

Scenario 1 – Dagens situasjon (år 2012)

Dagens situasjon er et scenario som skal sammenlignes med resultatene fra fremtidsscenarioene 2 og 3 og skal være utgangspunktet for vurdering av konsekvenser knyttet til de fremtidige klimaendringene. Det er valgt å benytte et symmetrisk nedbørstilfelle med 20 års returintervall, beregningssteg på 2 minutter og 60 minutters regnvarighet ved simuleringen. Simuleringen har en fysisk tid på to timer. Denne situasjonen skal illustrere Sandnes i dag under en ekstrem nedbørshendelse.

Scenario 2 – Fremtidens situasjon 20 % klimafaktor (år 2100)

Fremtidens scenario med 20 % klimafaktor, skal illustrere det "beste" fremtidsscenarioet i år 2100. Her benyttes klimafaktor lik 1,2 det vil si en intensitetsøkning på 20 %. Det er lagt til havnivåstigning på 0,98 m. Her er det benyttet et symmetrisk nedbørstilfelle med 20 års returintervall, beregningssteg på 2 minutter og 60 minutters regnvarighet. Simuleringen har en fysisk tid på to timer.

Scenario 3 – Fremtidens situasjon 60 % klimafaktor (år 2100)

Fremtidens scenario med 60 % klimafaktor, skal illustrere det "verste" fremtidsscenarioet for år 2100. Det er likt scenario 2, men klimafaktoren er økt til 1,6. Det vil si 60 % intensitetsøkning.

Scenario 4 – Stormflo (år 2100)

Stormfloscenarioet er en stormflosituasjon i år 2100. Her er det benyttet en havnivåstigning på 2,04 m over NN1954.

Oppsummerte verdier:

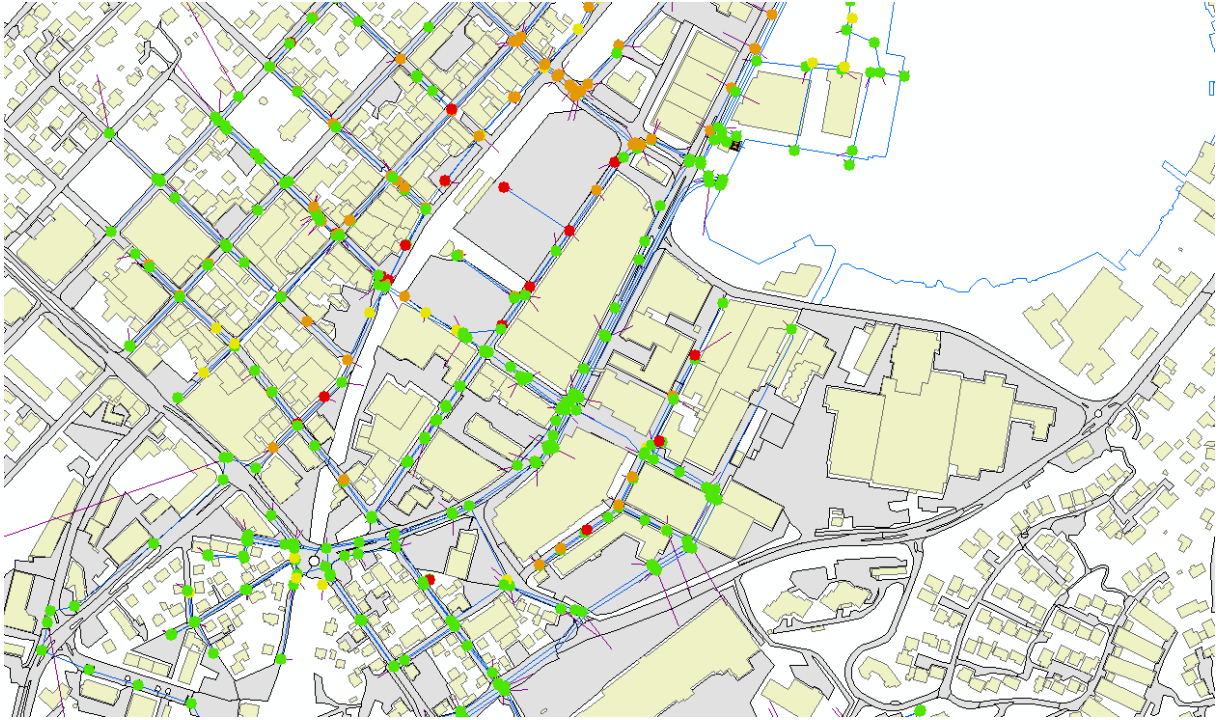
Tabell 12. Parametere til de forskjellige scenarioer.

	Dagens (år 2012)	Fremtiden 20 % (år 2100)	Fremtiden 60 % (år 2100)	Stormflo (år 2100)
Returperiode (nedbør)	20	20	20	-
Klimafaktor	1	1,2	1,6	-
Havnivå	0	0,98	0,98	2,04

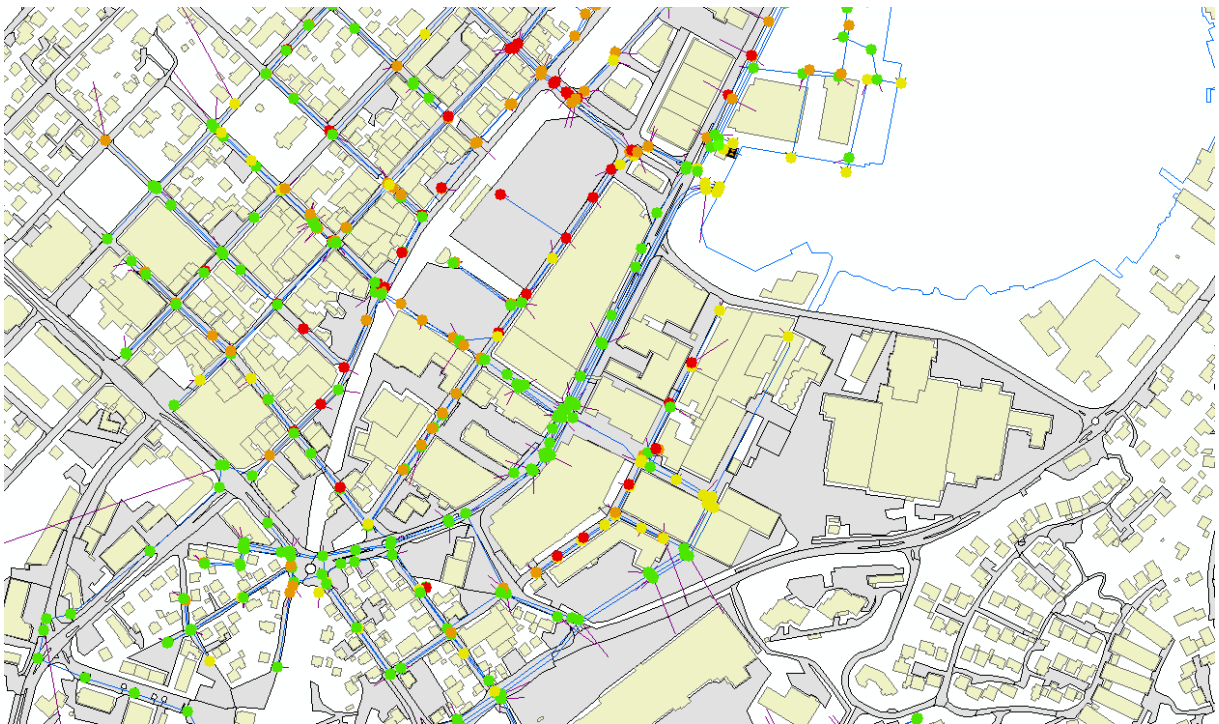
5.1. Antall oversvømmelser

Resultatene fra simuleringen i MIKE URBAN gav mange oversvømte kummer. Figurene 18, 19 og 20 viser kummer med trykknivå over topp kum i det avgrensede området i Sandnes sentrum.

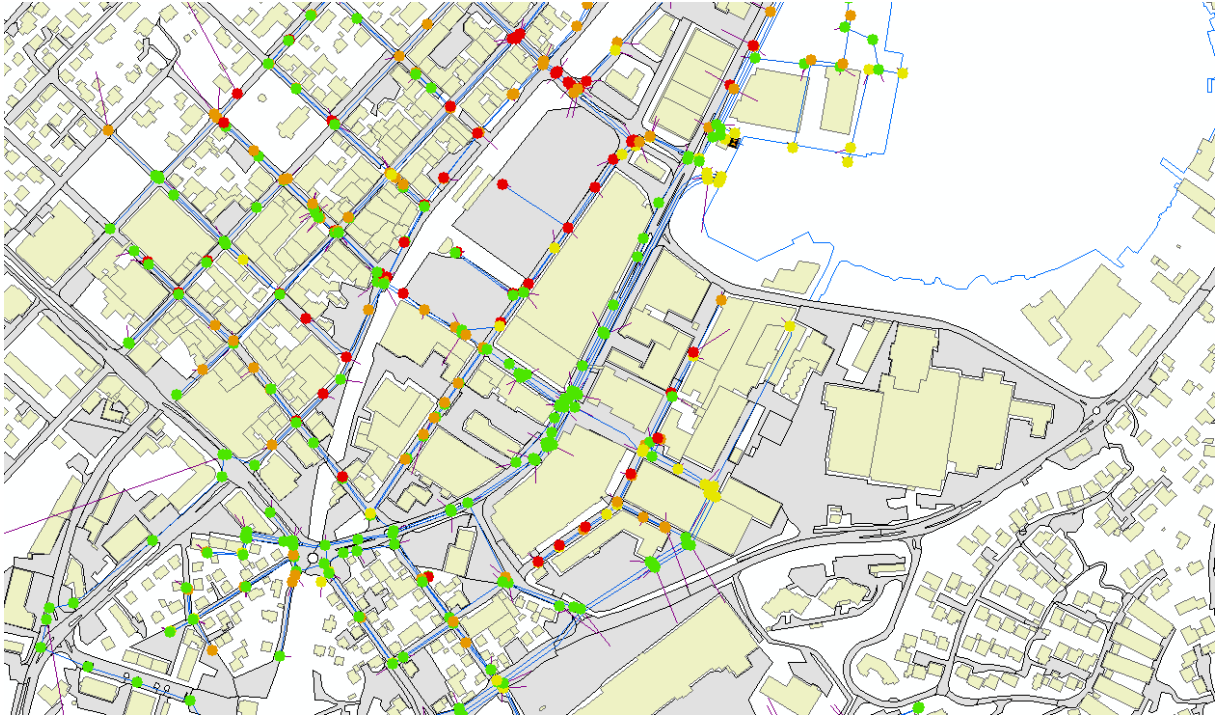
Fra resultatene ble det funnet 217 kummer med oversvømmelse i dagens situasjon. Det ble funnet 318 og 399 kummer i fremtidens scenario med klimafaktor på henholdsvis 1,2 og 1,6. Disse resultatene gjelder for hele avløpsmodellen.



Figur 18. Dagens situasjon; 20 års returintervall uten klimatillegg eller havnivåstigning. De grønne punktene symboliserer kummer uten trykkehøyde som overstiger topp kum. De gule punktene symboliserer kummer som er nær oversvømmelse. De oransje punktene symboliserer kummer med trykkehøyde opp til 0,5 meter over topp kum. Mens de røde punktene er kummer med trykkehøyde større enn 0,5 meter over topp kum.

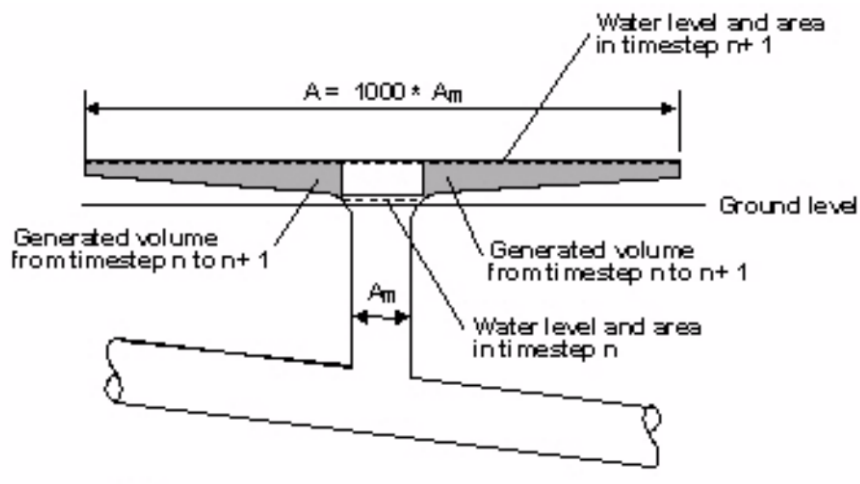


Figur 19. Fremtidens situasjon 20 % klimatillegg; 20 års returintervall med en klimafaktor lik 1,2 og havnivåstigning lik 0,98 m. De grønne punktene symboliserer kummer uten trykkehøyde som overstiger topp kum. De gule punktene symboliserer kummer som er nær oversvømmelse. De oransje punktene symboliserer kummer med trykkehøyde opp til 0,5 meter over topp kum. Mens de røde punktene er kummer med trykkehøyde større enn 0,5 meter over topp kum.



Figur 20. Fremtidens situasjon 60 % klimatillegg; 20 års returintervall med en klimafaktor lik 1,6 og havnivåstigning lik 0,98 m. De grønne punktene symboliserer kummer utentrykk høyde som overstiger topp kum. De gule punktene symboliserer kummer som er nær oversvømmelse. De oransje punktene symboliserer kummer med trykkehøyde opp til 0,5 meter over topp kum. Mens de røde punktene er kummer med trykkehøyde større enn 0,5 meter over topp kum.

Figur 18, 19 og 20 viser trykknivået over topp kum. Dette trykknivået kan konverteres til et volum. MIKE URBAN beregner et basseng over hver kum med et areal 1000 ganger større enn kummens areal (DHI 2011, d). Arealet øker jevnt fra kummens areal til 1000 ganger kummens areal, en meter over topp kum (se figur 21). Det er derfor stor forskjell på volumet ved 0,5 meter trykknivå og 1 meter trykknivå. Se kapittel 5.2 for volumberegninger av noen utvalgte kummer.



Figur 21. Volumberegning i MIKE URBAN (DHI 2011, d).

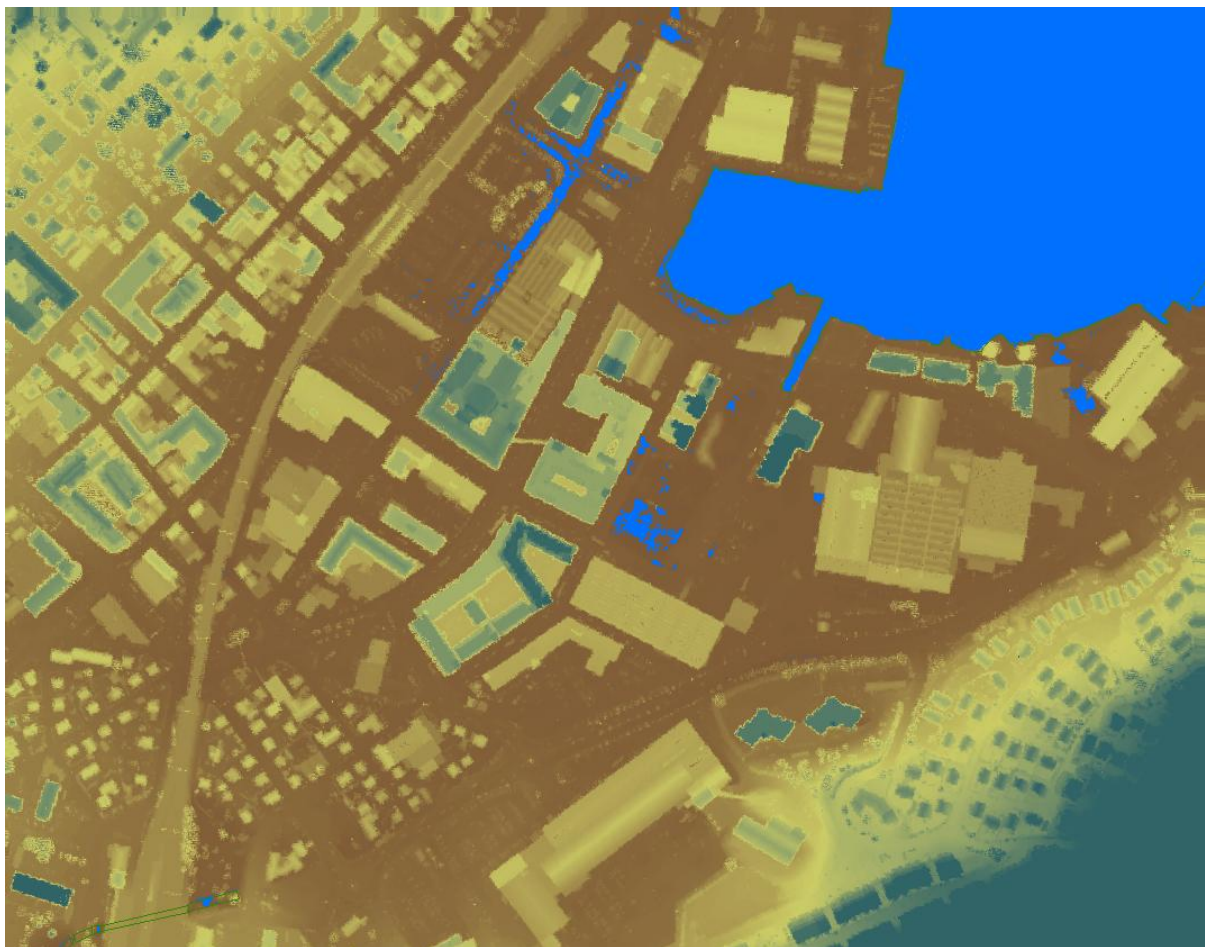
5.2. Flomutsatte områder

Ofte kan det være vanskelig å definere hvilke oversvømmelser som fører til flomskader på hus og bygninger og hva som setter trafikken ut av spill. Spill- og fellesvannledninger er direkte tilkoblet sluk i hus, etc. Overvannsledninger er tilkoblet drenering og utendørs sluksystemer. Fellesledninger gir ofte de største flomskadene da de er tilkoblet både spill- og overvannssystemene.

Sandnes kommunes VA- norm stiller krav om at gulvsluk skal ligge 90 cm over topp rør ved tilknytningspunkt for stikkledninger. Det vil si at avløpsrør med trykk høyere enn 90 cm kan føre til oversvømmelse i kjellere. Dette gjelder for felles- og spillvannsledninger som er tilkoblet hus og bygninger. Spillvannsledninger vil normalt ikke være påvirket av overvannet foruten innlekking i rør. Fellesledninger vil være direkte tilkoblet til både overvannssystemene og stikkledninger fra hus. Det betyr at en trykkehøyde over 0,9 m fra fellesledningene kan føre til oversvømmelse i de tilkoblede kjellerne, forutsatt at det ikke er montert tilbakeslagsventil i rørene. Overvannsledninger har noe vagere krav, men oversvømmelsesnivået regnes normalt også her til kjellernivået som er 0,9 m over topp rør. *"Norsk Vanns anbefalte minimums dimensjonerende gjentaksintervall for separat- og fellesavløpssystem sier at oversvømmelsesnivået skal normalt regnes til kjellernivået (90 cm over topp rør)." (Lindholm 2008).*

I kartleggingen av flomsonene over de utsatte områdene, er det utført en 2D- simulering av oversvømmelsen. Her er 1D- resultatene fra avrennings- og nettverksanalysen koblet til 2D- modellen som består av et DEM- kart, se kapittel 4.5.1. Simuleringen viser hvordan oversvømmelsen oppfører seg på overflaten i form av utbredelse og høyde. For video av simuleringen, se vedlegg på cd som følger med rapporten. Det er viktig å bemerke seg ved figur 23 og 24 at det økte havnivået ikke blir fremvist på DEM- kartet eller fysisk på bakken, selv om noen av landområdene ligger under havnivået. Havnivået ble lagt inn i modellen som et mottrykk ved utløpene og måtte simuleres som oversvømmelse gjennom kummene til DEM- kartet (landoverflaten). Oversvømmelsen vil i virkeligheten ha vært høyere.

Figur 22 viser oversvømmelser i Sandnes sentrum ved en havnivåøkning på 0,98 meter, inkludert middel spring høyvann på 20 cm. Figuren er ikke fra en simulering, men viser hvilke arealer som ligger lavere enn 0,98 meter.

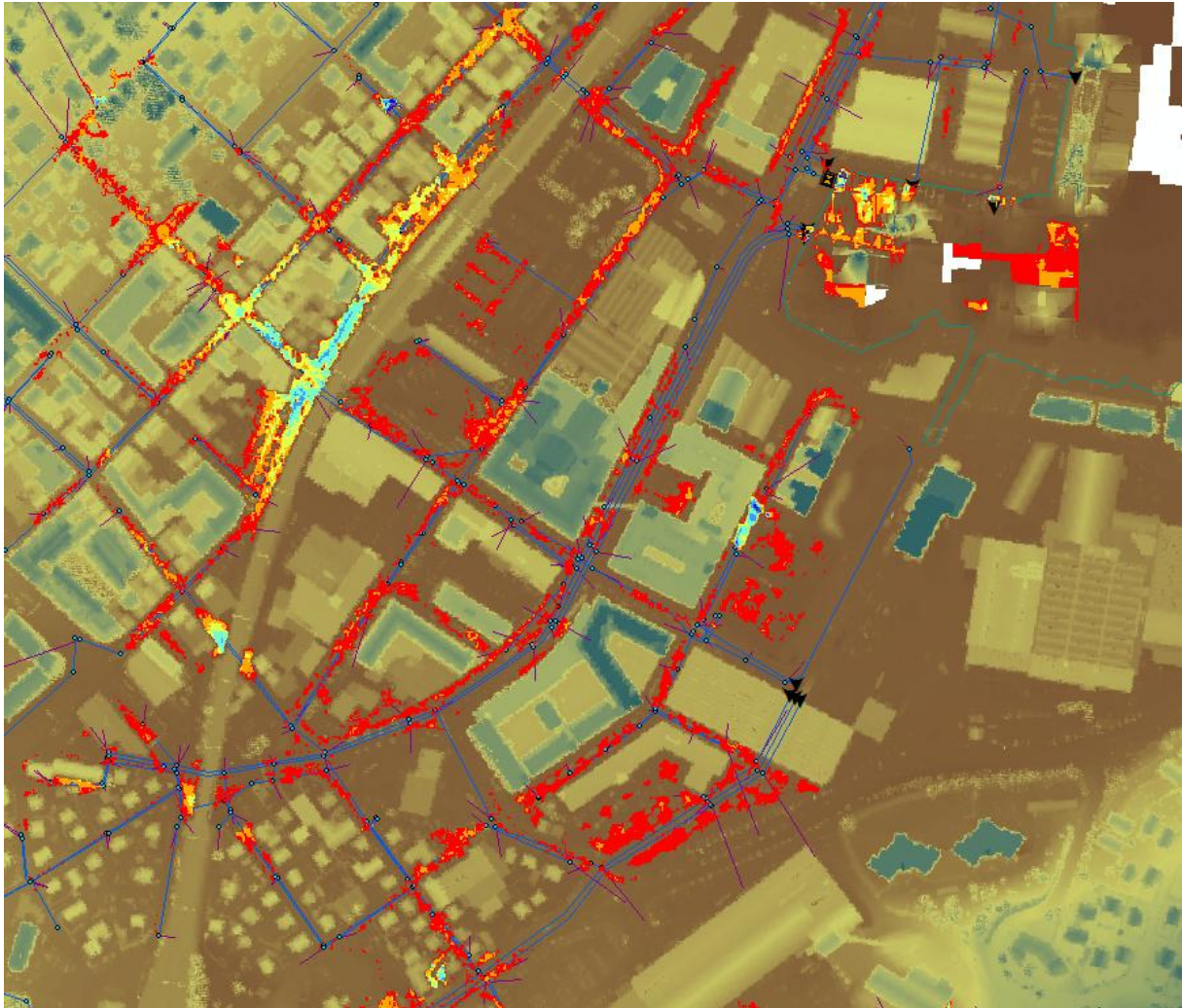


Figur 22. Laseskanning over Sandnes sentrum med 0,98 meter havnivåstigning for år 2100. Laseskanning har typisk 5 - 8 cm nøyaktighet (Statnett 2008). Blått område markerer områder under havnivået, brun markerer de lavtliggende områdene og turkis markerer de høytliggende områdene. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.

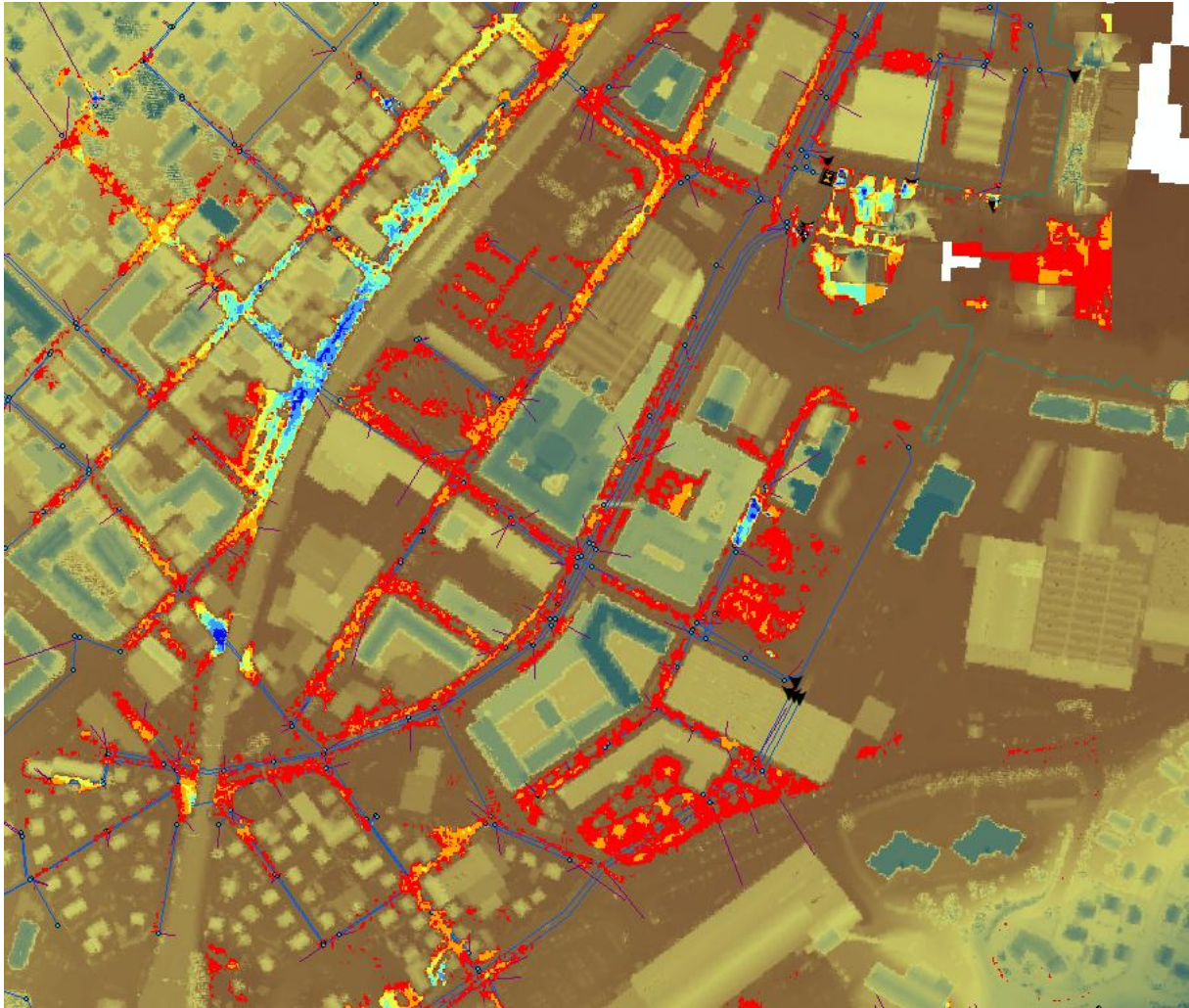
Tabell 13 viser fargeforklaring for figurene 23 og 24.

Tabell 13. Fargeforklaring til figur 23 og 24

Farge	Nedre verdi [meter]	Øvre verdi [meter]
Rød	0,10	0,25
Oransje	0,25	0,40
Gul	0,40	0,55
Lys blå	0,55	0,70
Blå	0,70	0,85
Mørk blå	0,85	<



Figur 23. Dagens situasjon; 20 års returintervall uten klimatillegg eller havnivåstigning. Dette er maks oversvømmelse fra simuleringen. DEM filen er fra Sandnes kommunes egen kartavdeling og er en laserskanning av Sandnes sentrum. Skanningen ble utført i 2011. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.



Figur 24. Fremtidens situasjon; 20 års returintervall med en klimafaktor lik 1,6 og havnivåstigning lik 0,98 m. Dette er maks oversvømmelse fra simuleringen. DEM filen er fra Sandnes kommunes egen kartavdeling og er en laserskanning av Sandnes sentrum. Skanningen ble utført i 2011. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.

De blå områdene symboliserer de dypeste oversvømmelsene. Noen steder er disse beregnet til over 1 meter fra bakkenivået. Simuleringen kan være noe misvisende, grunnet kartgrunnlaget. Kartgrunnlaget er produsert med laserskanning fra et fly og viser derfor ikke tunneler og underganger. Undergangene langs jernbanen er ikke inkludert på DEM- kartet over Sandnes sentrum. Disse vil i virkeligheten fungere som flomveier. Jernbanen oppfattes av modellen som en langsgående mur og vannet samles oppstrøms av denne.

Av figur 23 og 24 fremkommer en oversikt over de områdene som ligger i en flomutsatt sone. Da spesielt oppstrøms av Julie Eges Gate. Disse sonene vil kunne forårsake flomskader på hus og infrastruktur. Størrelsen på skadene er vanskelig å forutse, fordi måten oversvømmelsen påvirker bebyggelsen vil avhenge av jordtype, plassering av overvannssystemet, gateutforming, kjellerkonstruksjoner med mer. Det er derfor vanskelig å koble konsekvenser fra en oversvømmelse, med størrelsen til oversvømmelsene. Noen av disse flommene vil også hindre trafikken.

Tabell 14 viser trykkhøyden og oversvømmelsesvolum i et utvalg av kummer og økningen i % fra dagens situasjon til fremtidens situasjon (år 2100). Se figur 26 for plassering av kummer.

Tabell 14. Viser økningen i trykkhøyde og flomvolum fra dagens situasjon til fremtidsscenarioene med 20 % og 60 % klimatillegg, samt havnivåøkning på 0,98 meter

Kum ID	Dagens (scenario 1)		Fremtiden år 2100 (scenario 2 og 3)					
	Trykk h. m	Volum m ³	Klimatillegg 20 %			Klimatillegg 60 %		
			Trykk h. m	Volum m ³	Økning %	Trykk h. m	Volum m ³	Økning %
1537	0.770	126.6	0.910	205.1	62.0	1.066	324.8	156.6
12366	0.109	0.7	0.430	24.2	3459.9	0.499	36.7	5305.6
924	0.051	0.1	0.432	24.5	18473.3	0.505	38.0	28694.5
5351	0.393	18.8	0.563	51.7	174.5	0.617	67.1	256.2
11985	0.324	11.1	0.519	41.0	271.0	0.572	54.1	388.7
4159	0.285	7.8	0.548	47.9	513.0	0.598	61.3	685.7
1733	0.059	0.2	0.451	27.6	15556.9	0.495	35.9	20238.9
	Sum	165.3	Sum	422.0		Sum	617.9	

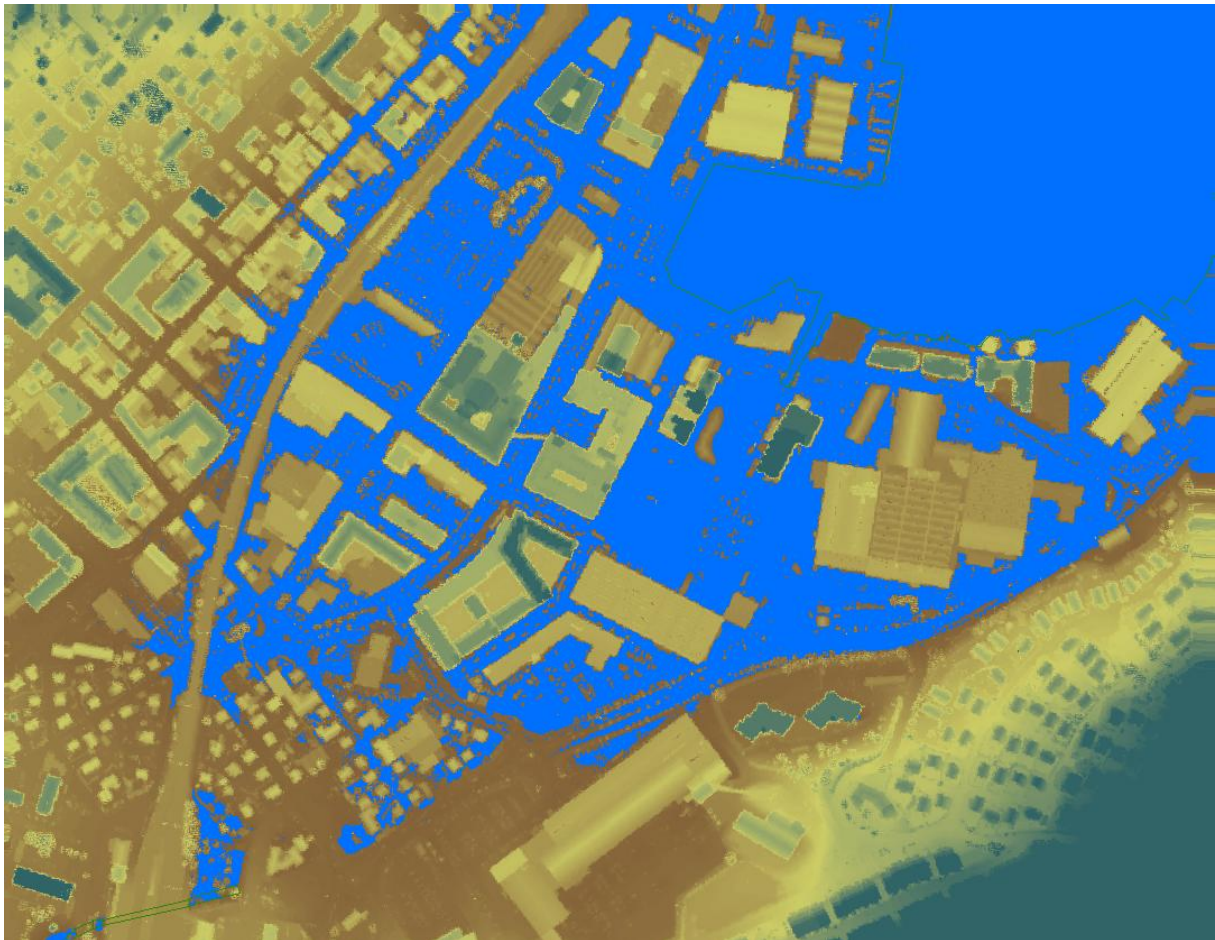
Ut fra tabell 14 ser vi at økningen i oversvømmelsesvolum varierer fra kum til kum. Av 7 kummer som ble valgt, er det samlede volumet beregnet til 165,3 m³ i dagens situasjon og 422 m³ i fremtiden med 20 % klimatillegg og 617,9 m³ med 60 % klimatillegg. Fra simuleringene i MIKE URBAN ble det registrert henholdsvis 217, 318 og 399 kummer med oversvømmelse.

Øverst i Julie Eges gate er det en 300 mm ledning (MUID – 17831). Denne forårsaker kraftige oppstuvninger og oversvømmelser i overvannssystemet oppstrøms i Flintergata, hvor ledningsdiameteren er 500 mm. Det er også tilkoblet en 300 mm ledning fra St. Olavs gate til MUID – 17831), noe som forsterker oppstuvningene.

Sandnes kommune har ingen oversikt over tidligere flommer i sentrumsområdet, slik at det ikke er mulig å sammenligne resultatene fra simuleringen med virkelige hendelser. Julie Eges gate har derimot vært utpekt som et problemområde, noe som resultatene også viser.

5.3.Stormflo

Det er forventet at stormfloen i år 2100 kan bli 2,04 m over NN1954. Dette vil føre til at store deler av Sandnes sentrum blir oversvømt. Figur 25 viser hvilke områder som blir oversvømt under en slik hendelse. Kombinert med kraftig nedbør, blir det bare spekulasjoner om hvilke ødeleggelser dette vil føre med seg. Resultatene fra flomanalysen er ikke vurdert nøye, siden hele sentrumsområdet er oversvømt. Dette vil sette store deler av avløpssystemet ut av drift og en simulert flomanalyse vil ikke gi et godt bilde på situasjonen, da systemet ikke fungerer i det hele tatt.

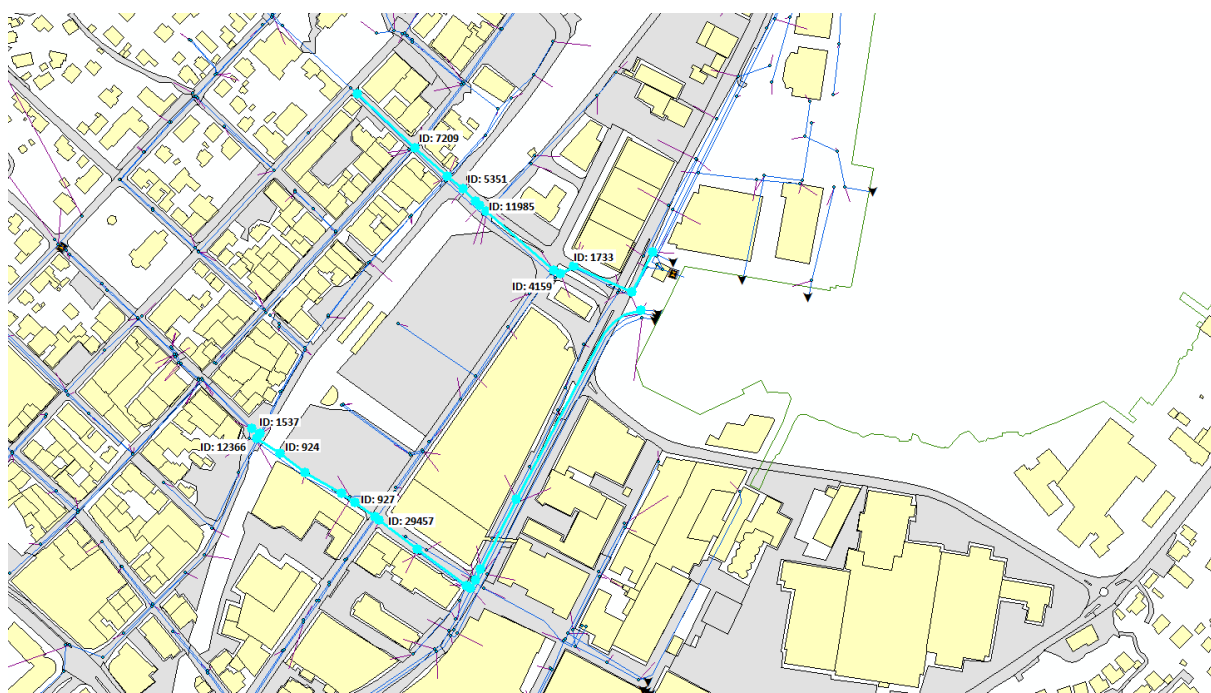


Figur 25. Laserskanning over Sandnes sentrum med 2,04 meter stormflo for år 2100. Laserskanning har typisk 5 - 8 cm nøyaktighet (Statnett 2008). Blått område markerer områder under havnivået, brun markerer de lavtliggende områdene og turkis markerer de høytliggende områdene. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.

5.4.Flom og kapasitetsendring grunnet havnivåøkning

Konsekvensene fra økt havnivå er mer overløpsutslipp, høyere oppstuvninger i systemene og redusert kapasitet. Det er flere hydrauliske egenskaper som blir påvirket av havnivåstigningen, noe som gjør det problematisk å fremstille konsekvensene av økt havnivå. I dette kapittelet er avløpsmodellen i MIKE URBAN benyttet til å fremstille resultater med og uten havnivåstigning. I beregningene er det derfor kun endret på havnivå. Nedbørssituasjonen er den samme i begge tilfeller.

Figur 26 viser hvilke ledningstraseer som er benyttet i sammenligningen. Nedre trase er Julie Eges gate og øvre trase er fra Olav Kyrres gate mot havnebassenget. I disse to traseene er kummene sammenlignet for å se effekten av en havnivåstigning på 98 cm.



Figur 26. Viser traseer og kummer benyttet til analyse av økt havnivå. Nedre er Julie Eges trase og øvre er Olav Kyrres trase. Figuren viser også kum ID. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.

I tabell 15 og 16 er det sammenlignet et utvalg av kummer med hensyn til trykkehøyde over topp kum og flomvolum. Kummer plassert øverst i tabell 15 og 16 er også plassert øverst i traseene, se figur 26.

Tabell 15. Julie Eges trase – Økning av flomvolum grunnet 0,98 m havnivåøkning

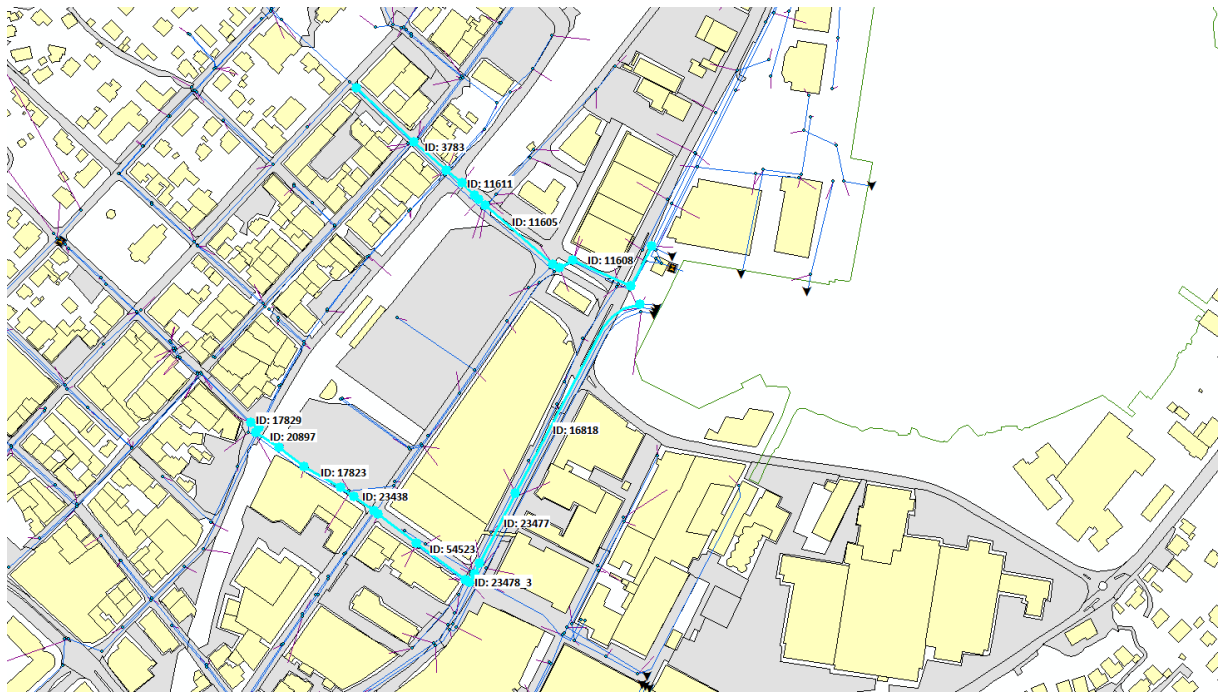
Kum ID	0 m havnivå		0,98 m havnivåøkning		Økning %
	Trykkehøyde m	Volum m ³	Trykkehøyde m	Volum m ³	
1537	0.770	126.6	0.825	154.4	22.0
12366	0.109	0.7	0.381	17.3	2442.7
924	0.051	0.1	0.378	16.9	12712.1
927	-0.328	-	0.138	1.2	-
29457	-1.113	-	-0.343	-	-

Tabell 16. Olav Kyrres trase – Økning av flomvolum grunnet 0,98 m havnivåøkning

Kum ID	0 m havnivå		0,98 m havnivåøkning		Økning
	Trykkehøyde m	Volum m ³	Trykkehøyde m	Volum m ³	%
7209	0.446	26.8	0.544	46.9	75.0
5351	0.393	18.8	0.526	42.6	126.4
11985	0.324	11.1	0.485	33.9	206.4
4159	0.285	7.8	0.517	40.6	419.9
1733	0.059	0.2	0.426	23.6	13248.7

Oppstrøms i systemet viser resultatene at systemet er mindre påvirket av havnivåøkningen. Motsatt blir systemet nedstrøms påvirket i større grad. I kum 1733 øker vannvolumet fra oversvømmelsen ca. 132 ganger.

I tabell 17 og 18 er det sammenlignet et utvalg av ledninger med hensyn til kapasitet. Ledninger plassert øverst i tabellene er også plassert øverst i traseen, se figur 27. Tabellene viser reduksjon av kapasiteten som følge av havnivåstigningen. Det er samme nedbør i begge tilfeller.



Figur 27. Figuren viser lednings plassering og tilhørende ID som er benyttet i sammenligningen av kapasitet.

Tabell 17. Julie Eges trase – Reduksjon av maks vannføring

Lednings ID	0 m havnivå	0,98 m havnivåøkning	Reduksjon
	Vannføring, Q (l/s)	Vannføring, Q (l/s)	%
17829	265.7	243.6	8.3
20897	237.1	185.0	22.0
17823	254.9	224.6	11.9
23438	290.7	241.6	16.9
54523	530.3	424.0	20.0
23478_3	1219.9	897.2	26.5
23477	1320.5	983.3	25.5
16818	1413.0	1061.6	24.9

Tabell 18. Olav Kyrres trase – Reduksjon av maks vannføring

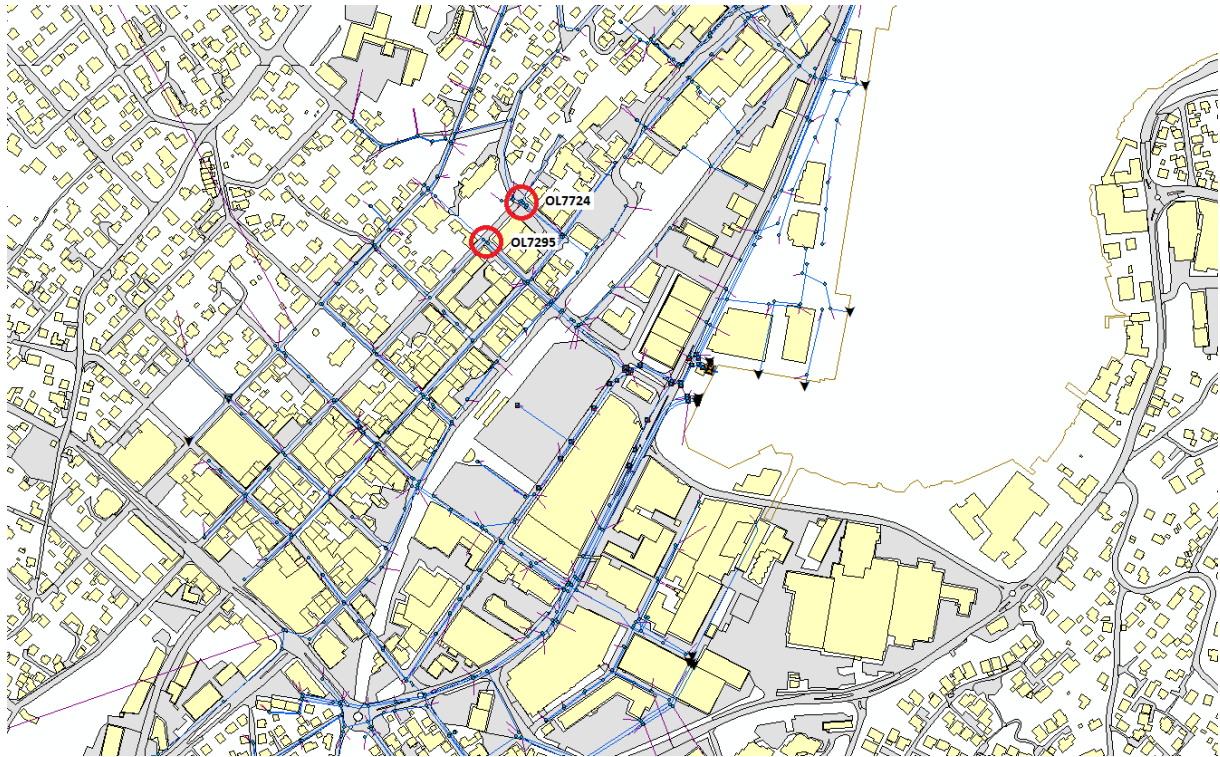
Lednings ID	0 m havnivå	0,98 m havnivåøkning	Reduksjon
	Vannføring, Q (l/s)	Vannføring, Q (l/s)	%
3783	461.9	520.3	11.2
11611	577.0	708.6	18.6
11605	557.6	750.3	25.7
11608	495.4	733.0	32.4

Ledninger plassert nedstrøms i systemet og lavt i terrenget blir mer påvirket av havnivåøkningen enn ledninger lengre opp. Ledning nr. 11608 har en kapasitetsreduksjon på over 32 %. Ledninger med ID 23478_3, 23477 og 16818 er deler av kulverten. Resultatene viser at kapasiteten til kulverten er redusert med 25,6 % pga. havnivåstigningen.

I tabell 17 og 18 ble det sammenlignet maks kapasitet uavhengig av tidspunkt og trykkehøyde oppstrøms i systemet. Med 0,98 meter havnivåøkning oppstår det mottrykk i rørene. Dette fører til oppstuvning, økt trykk og oversvømmelser oppstrøms i systemet. Relativt sett vil det likevel bli økt kapasitet nedstrøms på grunn av økt trykkehøyde. Det betyr at tallene i tabell 17 og 18 over er konservative.

6. Overløpsanalyse

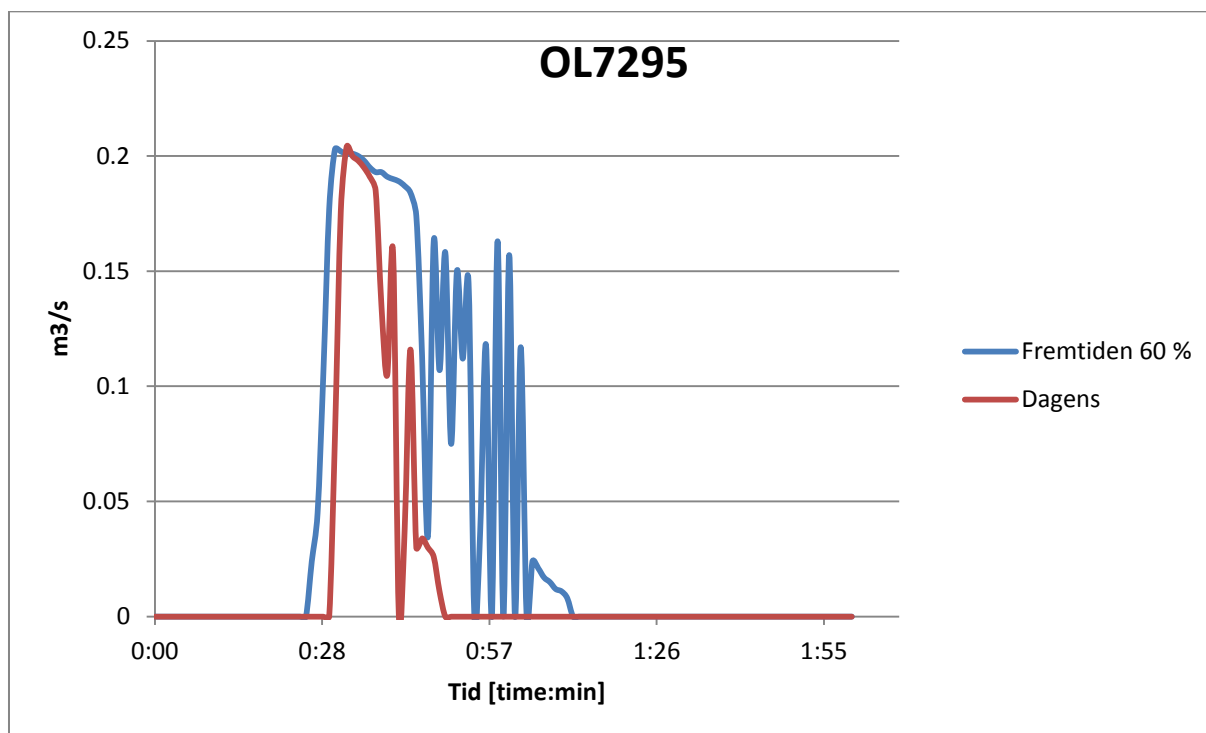
Det ble valgt ut to overløp for analyse i Sandnes sentrum, se figur 28. Disse overløpene trer i kraft for å hindre at de nedstrøms spillvannssystemene blir overbelastet. Dette avløpsvannet består hovedsakelig av forurensninger fra de urbane overflatene, spillvann og eroderte avløpspartikler fra avløpsnettet. Avløpsvannet som går i overløp blir overført til overvannssystemet og blir videre ledet urensset ut i havnebassenget.



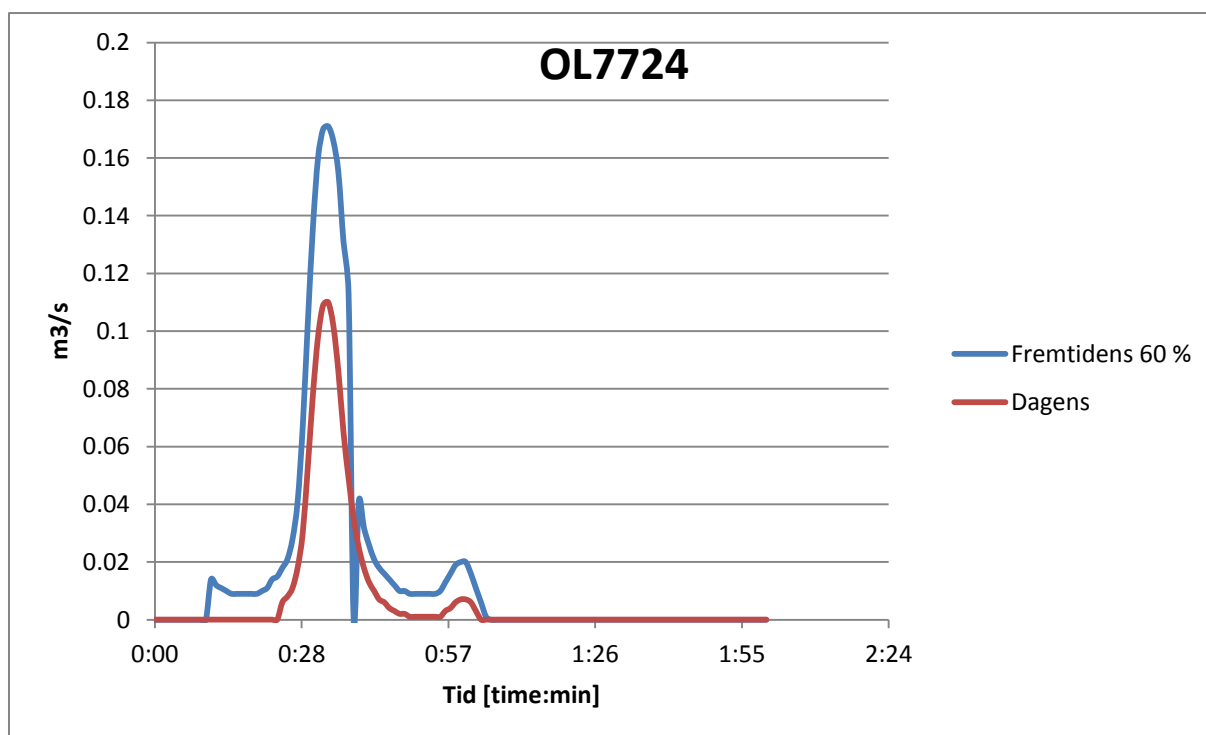
Figur 28. Plassering av overløp OL7295 og OL7724. Kartgrunnlag fra Gemini VA.

Det er benyttet to scenarier til sammenligning av overløpsutslipp. Dagens situasjon med 20 års returperiode og et fremtidsscenario med klimafaktor 1,6 og en havnivåøkning på 0,98 m. Regnvarigheten i scenarioene er den samme.

Figur 29 viser overløpsutslippet fra overløp OL7295. Her er dagens og fremtidens scenario med 60 % klimafaktor sammenlignet. Toppen på grafene er omtrent lik i begge tilfellene, men varigheten og volumet på utslippet har økt. Fremtidens utslipp viste seg å være 137 % større i forhold til dagens situasjon.



Figur 29. Overløp OL7295, sammenligning av dagens og fremtidens 60 % klima mht. overløpsutslipp (Fra MIKE URBAN).



Figur 30. Overløp OL7724, sammenligning av dagens og fremtidens 60 % klima mht. overløpsutslipp (Fra MIKE URBAN).

Tabell 19. Oppsummering av resultater fra overløpsanalysen

	OL7295		OL7724	
	Dagens	Fremtidens, 60 %	Dagens	Fremtidens, 60 %
Volum m ³	126,7	300,7	59,5	121
Differanse m ³	174		61,5	
Økning %	137		103	

I Sandnes kommune er det omtrent 33 km fellesledninger, 330 km overvannsledninger og 350 km spillvannsledninger. Det er hovedsakelig separatsystem i Sandnes kommune. Det vil derfor ikke være mange overløpsutslipp fra fellessystemer, men overløpene OL7295 og OL7724 vil bidra til et mer forurenset havnebasseng. Fra MIKE URBAN- simuleringene og ved en sammenligning av dagens og fremtidens situasjon med 60 % klimafaktor, er det en samlet økning i overløpsutslippene i Sandnes på over 400 %.

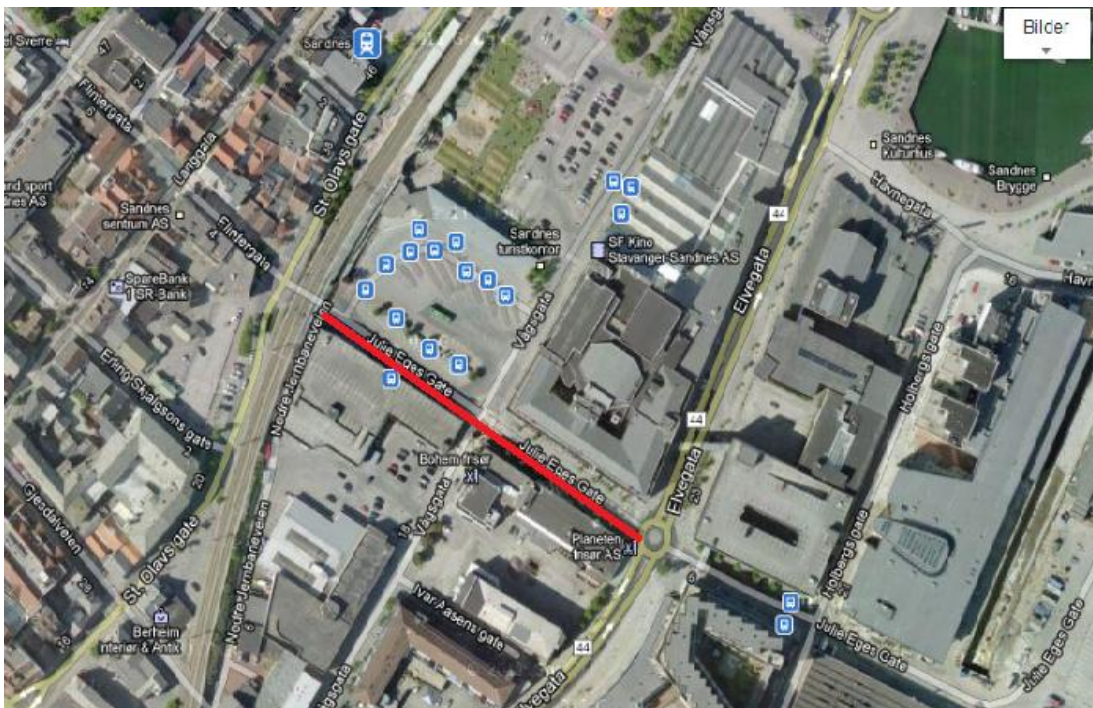
Eksemplet i kapittel 2.3.3 viser at overløpsutslippet avhenger av både intensiteten og varigheten til nedbørstilfellet. I analysen for Sandnes ble intensiteten endret til å passe et fremtidig klima, men regnvarigheten ble ikke endret. Resultatene fra begge overløpene viser en økning på over 100 %. Ved å øke regnvarigheten ville utslippet blitt betydelig større. Det betyr at størrelsen på utslippet er sensitivt ovenfor ulike nedbørstilfeller. Det er derfor vanskelig å gi et konkret tall på denne økningen, foruten at det blir en betydelig økning.

Innlekking til spillvannsledninger kan også være et problem som fører til en økning i overløpsutslippene.

7. Aktuelle tiltak i Julie Eges gate

7.1.Bakgrunn

Sandnes kommune ønsket at det skulle ses nærmere på Julie Eges gate, da det er et problemområde. Gaten skjærer St. Olavs gate i nordvest og Elvegata i sørøst. Jernbanen går over Julie Eges gate i nordvest. Under Jernbanen er det en undergang og en forsenkning i bakkenivået. Denne undergangen blir benyttet av busstrafikk da det finnes en bussterminal her. Per dags dato er høyden på undergangen slik at busser kan passere. Det er altså ikke spillerom for å endre høyden på bakkenivået, uten å hindre gjennomgangen for bussene. Sandnes kommune ønsker at undergangen og jernbanen skal ivaretas slik den er i dag. Det er derfor sett på overvannsløsninger som kan løse dette problemet.

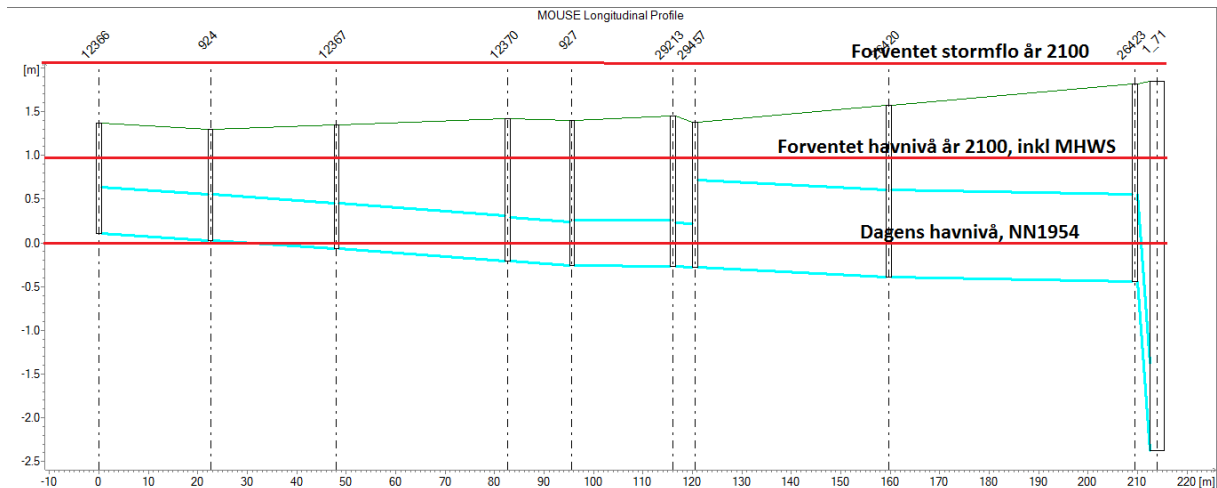


Figur 31. Julie Eges gate (markert rødt)

Gaten ligger lavt i terrenget fra kt. 1,3 m til kt. 1,8. Lavbrekket ved undergangen til jernbanen ligger på kt. 1,30 m. Det er ønskelig å beholde underkjøringshøyden, men heve resten av Julie Eges gate til over kt.1,65 m. Det utgjør en heving på ca. 20- 25 cm på deler av gaten. Ledningen i Julie Eges gate munner ut i en kulvert som følger Elvegata og videre til havnebassenget.

7. Aktuelle tiltak i Julie Eges gate

31.mai.2012



Figur 32. Tverrprofil av Julie Eges gate. Øverste røde strek illustrerer forventet stormflo for år 2100. Midterste røde strek er forventet havnivå for år 2100 inkludert middel høy springvann. Nederste røde strek er dagens havnivå. Grønn strek er eksisterende gatenivå og turkis strek er eksisterende rør. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.

Figuren over viser lengdeprofilen av ledningen i Julie Eges gate. De røde strekene symboliserer havnivået i dag, fremtidens havnivå og fremtidens stormflo. Profilet viser at ledningen vil ligge helt dykket i fremtiden, men også delvis dykket i dagens situasjon. Det bør derfor ses på et nytt overvannssystem i Julie Eges gate. Sandnes kommune ønsker at det gamle systemet fortsatt skal være i drift så lenge det lar seg gjøre. Et overløp kobles til det nye systemet når trykket er stort nok. Systemet skal kun dimensjoneres for fremtidig forventet havnivå, ikke fremtidig forventet stormflo.

Gaten har per dags dato en helning mot vest, mens fjorden ligger i øst. Høydene i Julie Eges gate fører til at det er vanskelig å få nok helning på det nye overvannssystemet. Dette skaper problemer både for kapasitet og selvreis. I tillegg vil et trykk over kt. 1,30 m føre til en oversvømmelse ved undergangen. Dette innebærer at vi ikke får utnyttet rørtverrsnitt som ligger høyere enn kt. 1.3 m, med mindre det oppstår oversvømmelse i lavbrekket. Nedstrøms bør røret ligge over havnivået, men ved å legge røret ned til lavvannshøyde vil kapasiteten i deler av døgnet være større. Når ledningen dykkes eller delvis dykkes kan det oppstå mottrykk fra saltvannet og det kan oppstå en saltvannskile. En saltvannskile er dannelsen av en kile mellom avløpsvannet og saltvannet på grunn av densitetsforskjellen, noe som fører til en kapasitetsreduksjon.

7.2. Dimensjoneringskriterier

Til dimensjonering av det nye systemet er det benyttet resultater fra foregående kapitler med en fremtidig havnivåstigning på +98 cm fra NN1954. Det er valgt å benytte nedbørstilfellet med klimafaktor på 1,6 og gjentakintervall på 20 år. Det er ønskelig å dimensjonere etter år 2100 for å tilstrebe 100 års levetid på systemet.

Tabell 20. Dimensjonerende gjentakintervaller anbefalt av Norsk Vann, Norsk Vann (2008)

Dimensjonerende regnskylhyppighet (1 i løpet av "n" år) ¹⁾	Plassering	Dimensjonerende oversvømmelses hyppighet (1 i løpet av "n" år) ²⁾
1 i løpet av 5	Områder med lavt skadepotensial (Utkantområder, landbrukskommuner)	1 i løpet av 10
1 i løpet av 10	Boligområder	1 i løpet av 20
1 i løpet av 20	Bysentre/industriområder/forretningsstrøk	1 i løpet av 30
1 i løpet av 10	Jernbaner/underganger	1 i løpet av 50

1) Ledning skal bare fylles til topp av rør ved dimensjonerende regn.

2) Oversvømmelsesnivået skal normalt regnes til kjellernivå 90 cm over topp rør i gateledninger

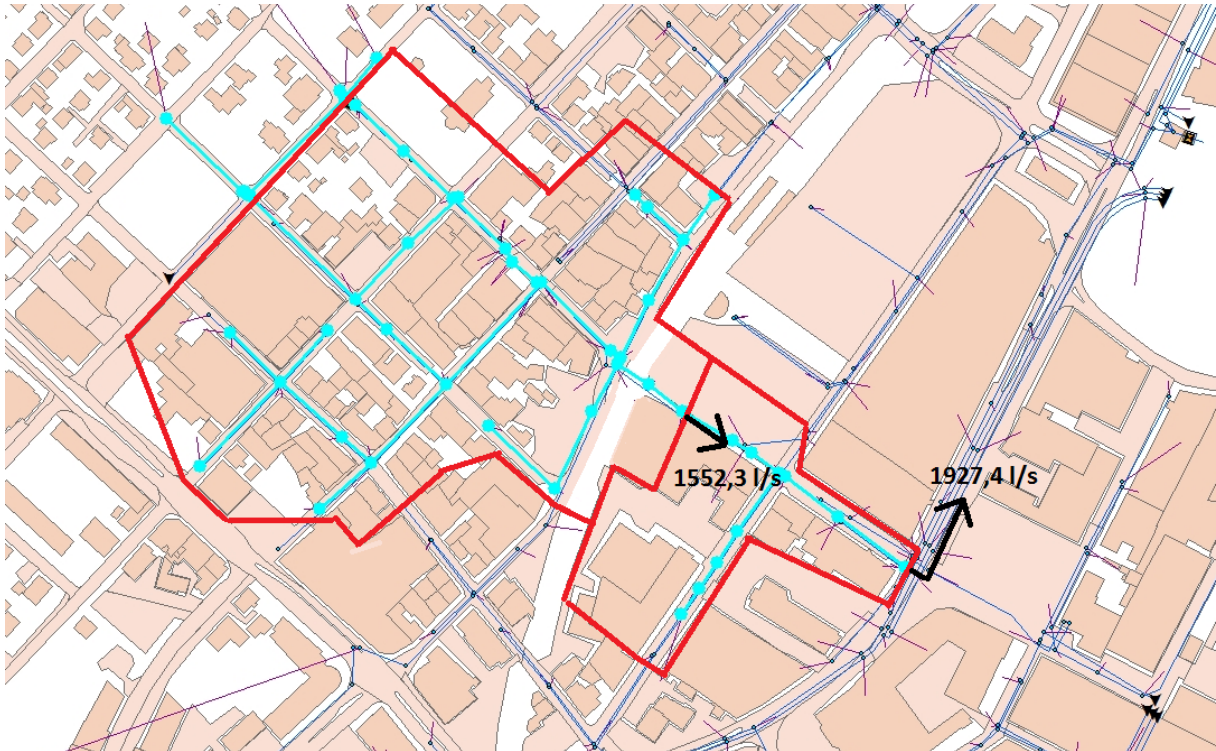
Da det nye systemet skal ligge opp til bakkenivå, er det ikke mulig å innfri kravet om "oversvømmelsesnivå" fra tabell 20 siden den tiltenkte ledningen ligger over kt. 1,3 m. Det vil det oppstå oversvømmelse på bakken før vannet når topp rør. Kriteriene i tabell 20 blir derfor ikke tilfredsstilt ved dimensjonering av ledningen. Det bør diskuteres om det kan tillates en oversvømmelse ved denne undergangen fra tid til annen, eller om dimensjoneringshøyden blir satt til kt.1,30.

I fremtiden vil systemene endres og flaskehalsen fjernes. Derfor er det viktig at det nye systemet dimensjoneres etter fremtidige vannmengder. Dimensjonerende vannmengder vil derfor være alle vannmengder fra nedslagsfeltet.

7.3.Fremgangsmåte

7.3.1. Dimensjonerende vannmengder

Dimensjonerende vannmengder ble funnet ved hjelp av MIKE URBAN. Alle ledninger i nedslagsfeltet ned til dimensjoneringspunktet ble redimensjonert slik at flaskehalsene ble fjernet. Ved et nedbørstilfelle med 60 minutters varighet, 20 års gjentakintervall og klimafaktor 1,6 ble vannføringen ut av Julie Eges gate kalkulert i MIKE URBAN til 1927,4 l/s. Vannføringen som kommer inn oppstrøms i Julie Eges gate er beregnet til 1552,3 l/s.



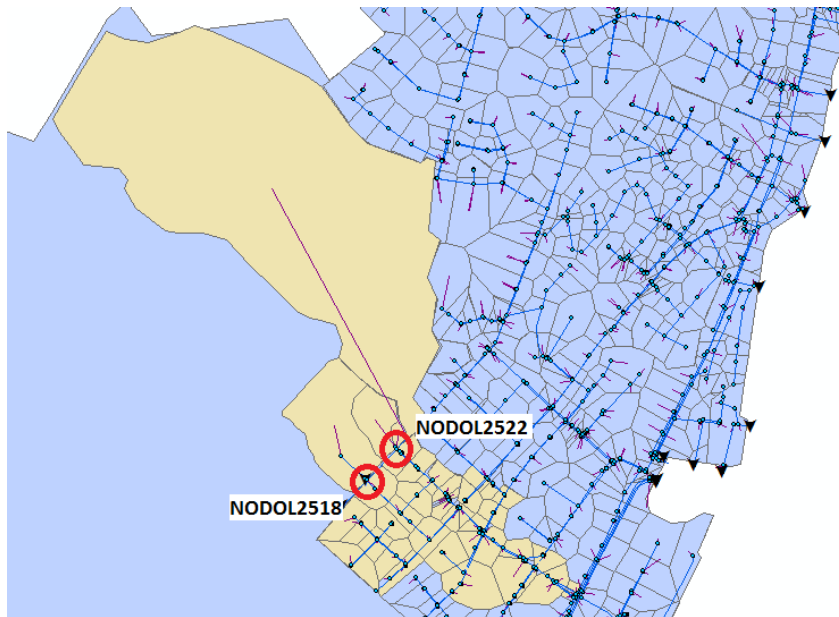
Figur 33. Dimensjonerende vannmengder i Julie Eges gate ved nedbørshendelse på 60 minutter, gjentakintervall 20 år og klimafaktor 1,6. Figur er hentet fra MIKE URBAN.

7.3.2. Verifisering av vannmengder

Avgrensing av nedslagsfeltet

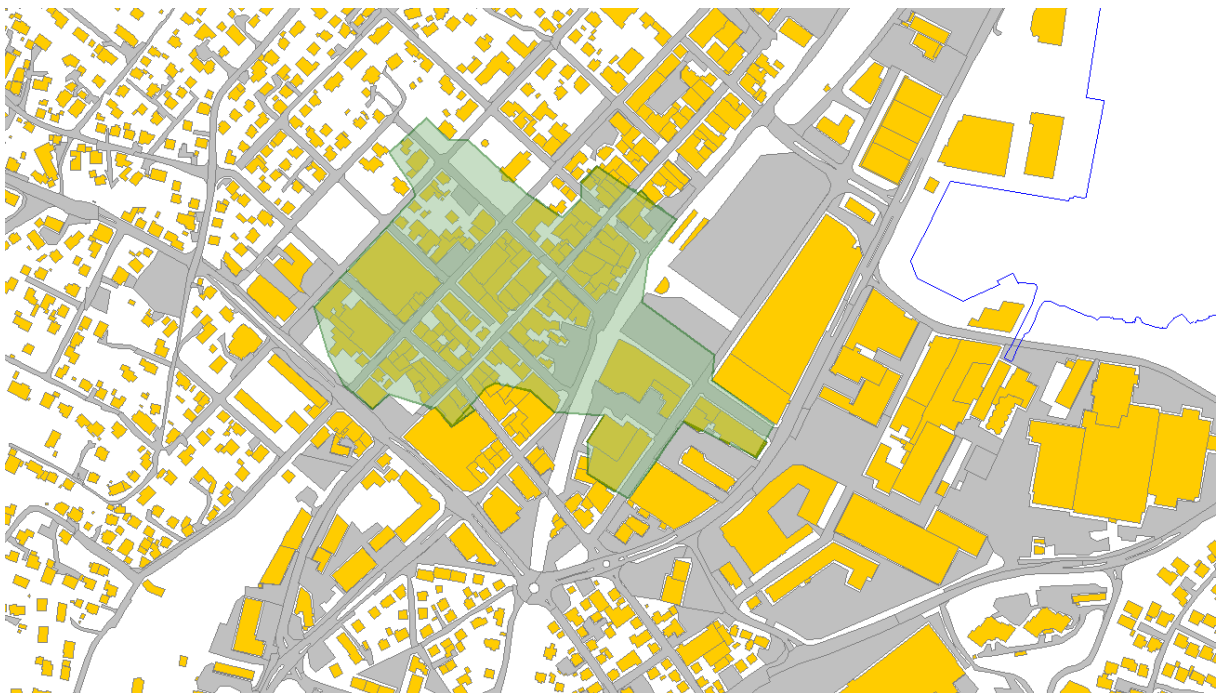
Oppstrøms av Eidsvollgata er det et overvannsystem som er tilkoblet nedslagsfeltet til Julie Eges gate gjennom to nødoverløp. Disse overløpene trer i funksjon når det oppstår kapasitetsproblemer i Eidsvollgata.

31.mai.2012



Figur 34. Nedslagsfeltet til Julie Eges gate og nedslagsfeltet til nødoverløpene. De røde sirklene er plasseringen av nødoverløpene NODOL2518 og NODOL2522. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.

Bidraget fra nødoverløpene vil ikke ha innvirkning på dimensjonerende vannmengder. Konsentrasjonstiden fra nedslagsfeltet oppstrøms nødoverløpene (se figur 34) er lengre enn nedslagsfeltet nedstrøms av nødoverløpene i Eidsvollsgata. Dette bidraget vil ikke påvirke spissavrenningen til Julie Eges gate, da vannmengdene bommer tidsmessig og er av mindre størrelse. Vannmengdene fra arealet oppstrøms av nødoverløpene er derfor ikke inkludert i beregningen av dimensjonerende vannføring.



Figur 35. Nedslagsfelt til Julie Eges gate. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.

Avrenningsberegning**Konsentrasjonstid:**

Konsentrasjonstid er definert som den tiden overflateavrenningen bruker på å strømme fra den fjerneste delen av nedslagsfeltet til det punktet man beregner (Butler and Davies 2011).

Varigheten for regn settes normalt lik konsentrasjonstiden for nedbørsfeltet. *"Den største vannføringen oppstår normalt for det regnskyll som har varighet lik hele feltets konsentrasjonstid"* (Bergen-kommune 2005).

Konsentrasjonstiden er beregnet til 4 minutter.

Avrenningskoeffisienter:

Arealer på vei og bygg ble funnet ved hjelp av MIKE URBAN. Resten ble satt til grøntarealer. Områdets gjennomsnittlige avrenningskoeffisient er beregnet til 0,57.

Tabell 21. Areal, areal typer og koeffisienter i nedslagsfeltet til Julie Eges gate. Koeffisienter er hentet fra StormTac (Larm 2012)

Arealtype	Areal [ha]	φ
Vei/parkering	2,43	0,85
Bygning/tak	3,85	0,6
Grøntarealer	2,1	0,18
Sum	8,38	

$$\varphi_{snitt} = \frac{2,43 * 0,85 + 3,85 * 0,6 + 2,1 * 0,18}{8,38} = 0,57$$

Avrenning:

I den rasjonale metoden benyttes det et blokkregn med varighet 4 minutter, som også er konsentrasjonstiden til feltet. Blokkregnet har 20 års gjentakintervall og klimafaktor 1,6. IVF- kurver fra Sandnes – Rovik gav da en intensitet lik 281 l/s ha. Ved å benytte den rasjonale formelen beregnes avrenningen fra feltet:

$$Q = CIA * k = 0,57 * 281 \frac{l}{s * ha} * 8,38ha * 1,6 = 2147,5 \frac{l}{s}$$

k = Klimafaktor

C = Avrenningskoeffisient

I = Intensitet

A = Areal

Dette samsvarer bra med resultatet fra MIKE URBAN som var på 1927,4 l/s, noe som er en forskjell på 10,2 %. Den rasjonale metoden er en grovere tilnærming enn et modelleringsprogram, men er likevel en verifisering på at MIKE URBAN resultatet er sannsynlig.

7.4.Tiltak 1 – Selvfallssystem

Tiltak 1 er et grunt overvannssystem i Julie Eges gate som er drevet av selvfall. Det eksisterende systemet tilkobles det nye systemet via en ny kum mellom kummene 12367 og 12370. Når trykkehøyden i kummen når en viss høyde vil vannet renne over i det nye grunntliggende overvannssystemet. Se figur 36. Da det finnes tvil om anleggets selvrenseegenskaper, har Sandnes kommune planlagt å bruke betongrør med V- tverrsnitt som det nye overvannssystemet. Det er også tiltenkt et slissesystem i toppen av røret for kontinuerlig å ta unna veivann.

Da havnivået ligger på kt. 0,98 i år 2100 og lavbrekket ligger på kt. 1,3 er det 32 cm mellom havnivået og lavbrekket. Det innebærer at uansett hvilken ledningsdimensjon som benyttes kan bare 32 cm av rørtverrsnittet utnyttes under disse forutsetningene. Den maksimale diameteren som kan legges er mellom kt. 1,65 og kt. 0,98 uten at røret blir dykket under middel spring høyvann. Det vil si det er disponibelt 67 cm som skal inkludere rørdiameteren og fallet til ledningen. En ytre rørdiameter på omlag 600 mm, skulle da være mulig å oppnå dersom ledningen vil tåle belastningen av å ligge så grunt.

0,98 meter havnivå inkluderer middel spring høyvann. Det er også sett på alternativer som ligger under denne høyden, fordi vannet vil ligge lavere enn dette under deler av døgnet. Når ledningen blir liggende under havnivået oppstår det mottrykk og en saltvannskile kan også redusere kapasiteten.

7.4.1. Kapasitet til eksempler uten flom i lavbrekket

Det er utarbeidet fire ulike eksempler på selvfallssystemer. Alle eksempelsystemene har havnivå på kt. 0,98 m og nedbørstilfelle med 20 års gjentaksintervall og klimafaktor 1,6.

Eksempel 1: Er et 400 mm rør med 1 ‰ fall.

Eksempel 2: Er et 400 mm rør med 2 ‰ fall.

Eksempel 3: Er et 600 mm rør med 1 ‰ fall.

Eksempel 4: Er et 800 mm rør med 1 ‰ fall.

Utgangspunktene for nedstrøms høyde i eksemplene var MHSWS, MSL og MLWS, men rørene ble dykket ytterligere noen cm for å oppnå en rørhelning på minst 1 ‰.

Tabell 22. Oppsummering av data til eksemplene av selvfallssystemene.

Eksempler selvfallssystemer				
Rør [mm]	400	400	600	800
Fall [‰]	1	2	1	1
Rør over	MHWS	MSL	MSL	MLWS

MHWS: Middel spring høyvann

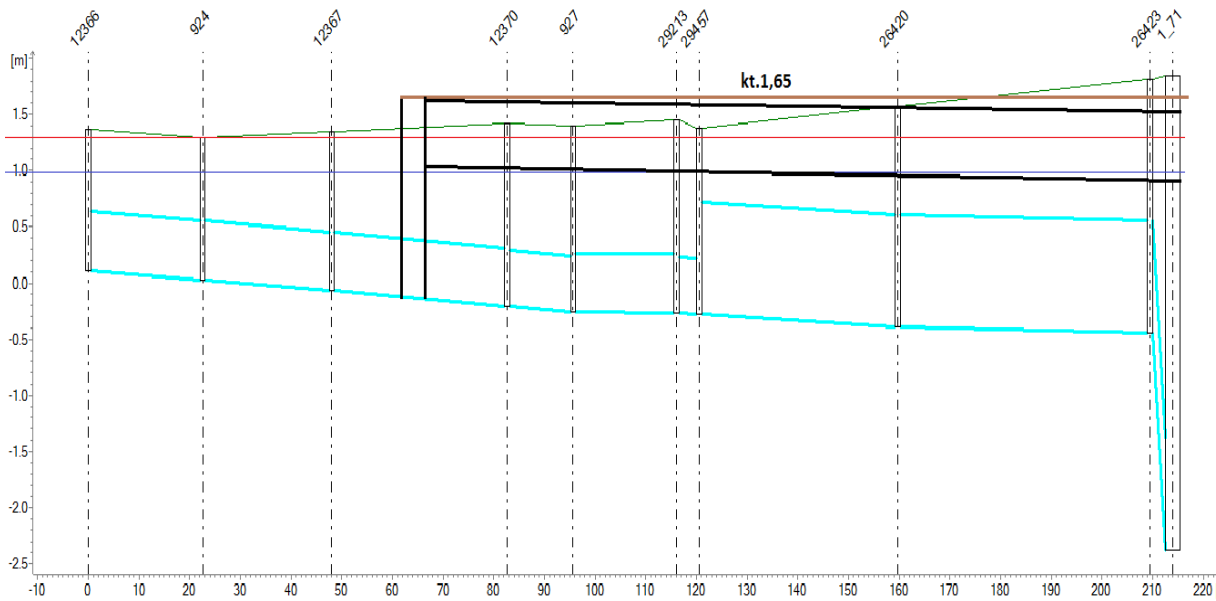
MSL: Middelvann

MLWS: Middel spring lavvann

Kalkulasjonene for de ulike systemene er utført i MIKE URBAN. Eksempel 1 og det eksisterende systemet ble verifisert med håndberegninger. Det ble benyttet eggformede rør i beregningene utført i MIKE URBAN, siden V-tverrsnitt ikke er et valg i programmet.

7. Aktuelle tiltak i Julie Eges gate

31.mai.2012



Figur 36. Lengdeprofil av selvfallssystem (Eksempel 1). Figuren er hentet fra MIKE URBAN.

Tabell 23. Fargeforklaring til figur 36.

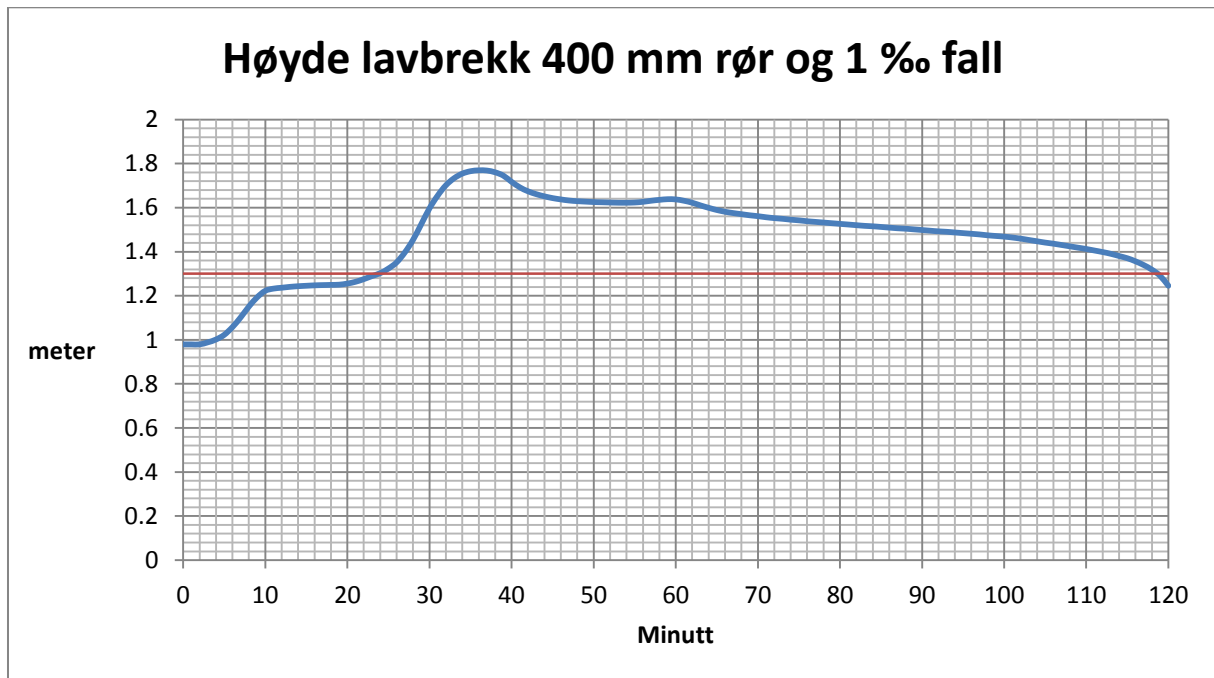
Brun	Ny terreng høyde kt.1,65
Lys blå	Eksisterende ledningsnett
Rød	Maks trykkehøyde før flom i lavbrekk
blå	Fremtidens havnivå
svart	Nytt overvannssystem

Fremgangsmåte for beregning av kapasitet:

Ved beregning av kapasiteten til de forskjellige eksemplene og det eksisterende systemet, ble vannføringen nederst i Julie Eges gate avlest når trykkehøyden i lavbrekket var på kt. 1,3 m. Det vil si rett før det oppsto oversvømmelse. Disse beregningene ble utført ved hjelp av grafer fra MIKE URBAN.

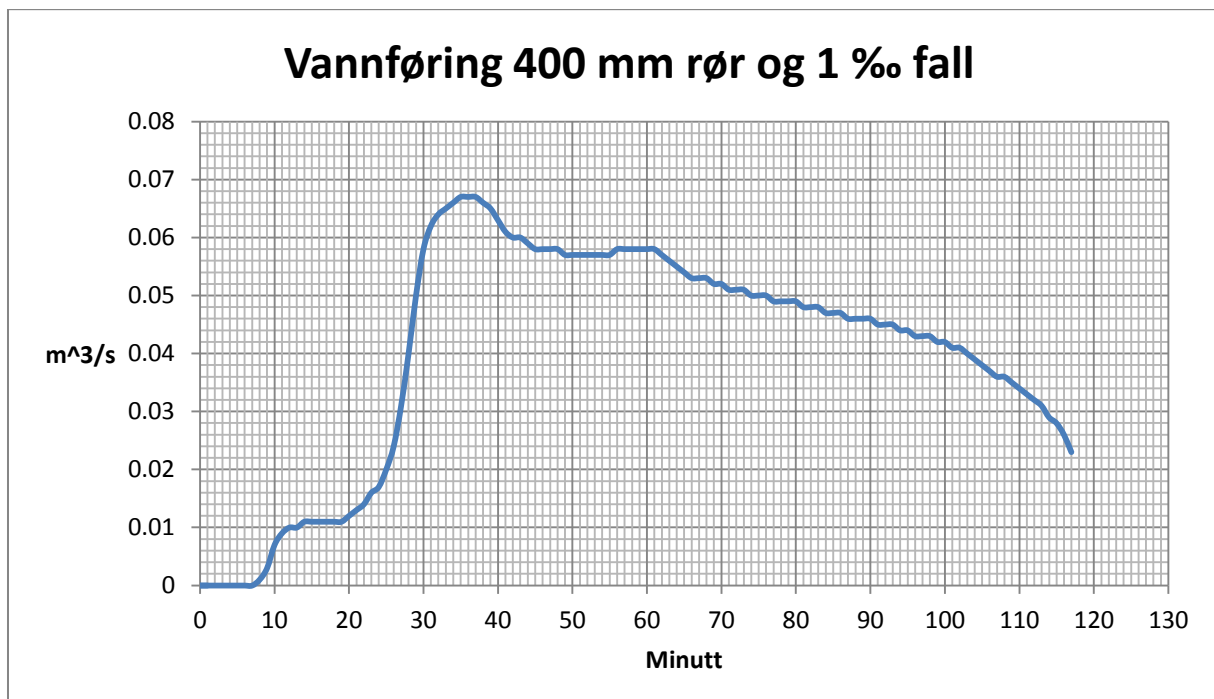
Figur 38 viser hvordan vannhøyden i en kum ved lavbrekket varierer tiden. Vannhøyden tar utgangspunkt i NN1954. Når vannhøyden overstiger 1,3 meter er det oversvømmelse i lavbrekket.

31.mai.2012



Figur 37. Vannhøyden er 1,3 meter ved eksempel 1 etter 24 min for en 60 minutters nedbørshendelse med 20 års returperiode og klimafaktor1,6. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.

Figur 37 viser at 1,3 meter vannhøyde oppnås etter 24 minutter i eksempel 1. Det er dette tidspunktet som er benyttet for avlesning av vannføring i figur 38. Samme prosedyre er fulgt for eksempel 2, 3, 4 og for kapasiteten til det eksisterende systemet.



Figur 38. Viser vannføring ved eksempel 1 en rørdimensjon på 400 mm og et fall på 1 ‰ for 60 minutters nedbørshendelse med 20 års returperiode og klimafaktor1,6. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.

Resultater selvfallssystemer

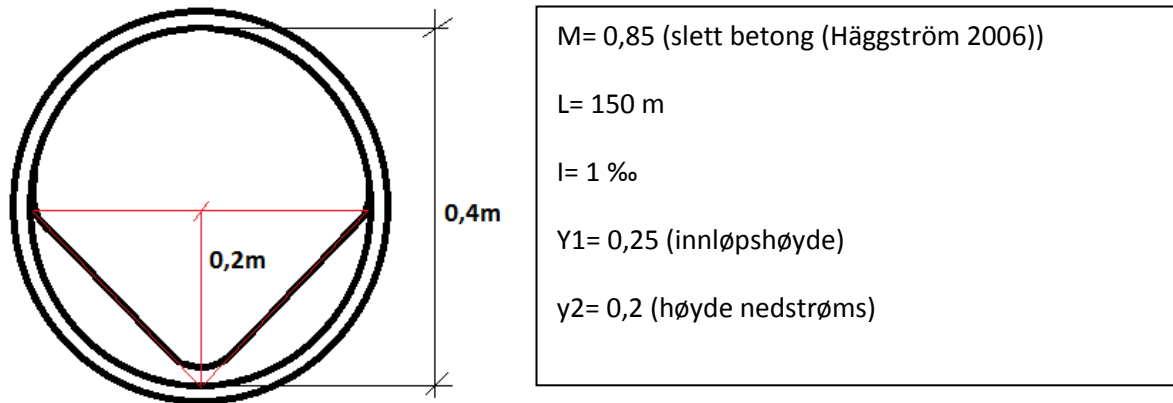
Tabell 24 Viser kapasiteter ved de ulike eksemplene med og uten det eksisterende systemet. Dette er maks kapasitet før det oppstår flom i lavbrekket.

Eksempler selvfallssystemer				
	Eksempel 1	Eksempel 2	Eksempel 3	Eksempel 4
Rør [mm]	400	400	600	800
Fall [‰]	1	2	1	1
Kapasitet til eksempler [l/s]	17	19	63	156
Kapasitet inkludert det eksisterende [l/s]	267	269	313	406

Ved å tillate oversvømmelse vil det oppnås en ekstra trykkehøyde som vil øke kapasiteten. Dette er omtalt kapittel 7.4.2.

Verifisering av eksempel 1

Ved håndberegning av det nye systemet var det nødvendig å anta helningen på vannspeilet. Høyden oppstrøms er kjent. Høyden nedstrøms er antatt til 0,2 m. Det er utført en sensitivitetsanalyse på dette.



Figur 39. Tverrsnitt av rør med V- renne

Formler:

$$I_f = \frac{U^2}{M^2 * R^{4/3}} \quad Fr = \frac{U}{\sqrt{g * y}} \quad R_h = \frac{A}{P} \quad \frac{dy}{dx} = \frac{I_f - I_0}{1 - Fr^2}$$

Beregning:

$$A = 0,2^2 = 0,04m^2 \quad R_h = \frac{A}{P} = \frac{0,04}{2 * 0,283} = 0,0707$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)^2}{M^2 * R^{4/3}} - 1 * 10^{-3}}{1 - \frac{A}{\sqrt{g * y}}} * L = \frac{\frac{Q^2}{0,04^2} - 1 * 10^{-3}}{85^2 * 0,0707^{4/3} - 1 * 10^{-3}}}{1 - \frac{0,04}{\sqrt{9,81 * 0,2}}} = 0,05$$

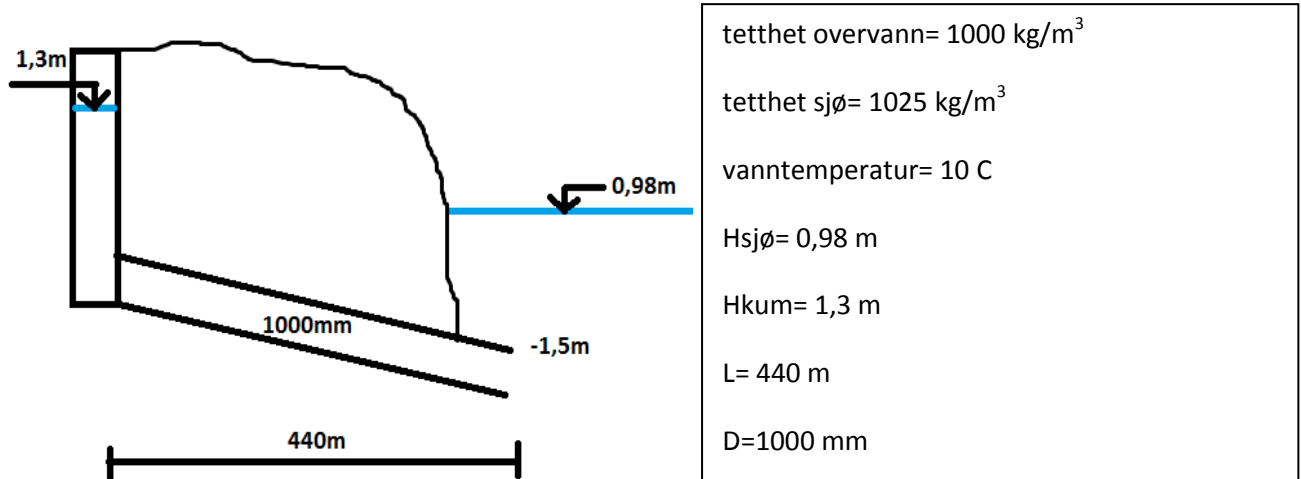
$$Q = 20,25 \text{ l/s}$$

Sensitivitetsanalyse:

Endres den antatte nedstrøms høyden fra 0,2 m til 0,19 m, endres Q fra 20,25 l/s til 17,4 l/s. En endring av inngangsdata på 5 % gir en resultatendring på 14,1 %. Resultatet er altså svært avhengig av helningen på vannspeilet og kan derfor kun betraktes som en pekepinne.

Verifisering av eksisterende system

For å kunne utføre beregningene er det antatt en konstant diameter på 1,0 m. Det er videre bestemt at sum singulærtap fra kum til kum er 1,5. Utslippsdybden er -1,5 m og havnivået er 0,98 m. Hydraulisk ruhet er satt til 5 mm.



Figur 40. Figur til håndberegning av eksisterende system.

Reynolds tall:
$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

Darcy- Weisbach:
$$h_f = f \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Viskositet:
$$\nu = \left(\frac{1,78}{1 + 0,0337 * Temp + 0,00022 * Temp^2} \right) * 10^{-6}$$

Swamee- Jain (tilnærming for f):
$$f = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{k}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

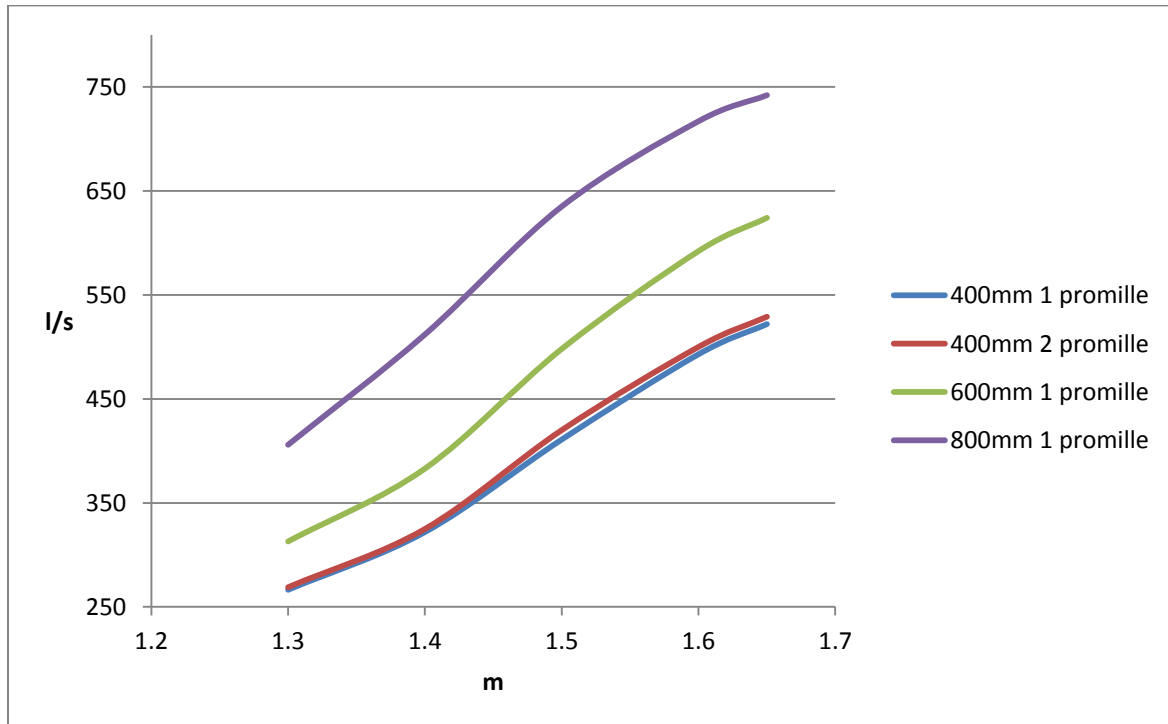
Q(m ³ /s)	V(m/s)	Re	f	hf	hs	dP/p'Y	Ht	Hkum- Hsjø-Hf=0
0.315	0.401	306397.8	0.031	0.110	0.0123	0.06	0.32	0.000006

Ved å trekke det totale tapet fra tilgjengelig høyde er det mulig å finne vannføringen. Vannføringen er i dette tilfellet beregnet til 315 l/s. MIKE URBAN beregnet vannføringen til 250 l/s. Dette gir en beregningsforskjell på 20,6 %. Forskjellen kan skyldes forenklinger og antagelser i håndberegningene; blant annet er rørdiameteren varierende og det er innkommende vannmengder langs traseen.

7.4.2. Kapasitet til eksempler ved flom i lavbrekket

Den beste kapasiteten ble oppnådd med eksempel 4, der selvfallssystemet har en rørdiameter på 800 mm og et fall på 1 ‰. Da var kapasiteten i kombinasjon med det eksisterende systemet på 406 l/s, uten oversvømmelser i lavbrekket. Den dimensjonerende vannføringen ble beregnet til 1927,4 l/s ved et gjentaksintervall på 20 år og klimafaktor 1,6.

Figur 41 viser kapasiteten til de ulike selvfallseksempelene med trykkehøyde i lavbrekket over kt. 1,3 m inkludert det eksisterende systemet.



Figur 41. Kapasiteten til de ulike selvfallseksempelene med trykkehøyde i lavbrekket over kt. 1,3 m inkludert det eksisterende systemet.

Den maksimale kapasiteten med oversvømmelse til kt. 1,65 gav en kapasitet lik 742 l/s eksempel 4. Det er nesten en dobling av kapasiteten eller en økning på 9,6 l/s per cm flom.

Tabell 25. Kapasitet ved de ulike eksemplene inkludert det eksisterende systemet.

Eksempler selvfallssystemer				
	Eksempel 1	Eksempel 2	Eksempel 3	Eksempel 4
Rør [mm]	400	400	600	800
Fall [‰]	1	2	1	1
Kapasitet ved 0 cm flom i lavbrekket [l/s]	267	269	313	406
Kapasitet ved 35 cm flom i lavbrekk [l/s]	522	529	624	742

Da havnivået var satt til 0,98 m i alle eksemplene er den største grunnen til økningen i kapasitet ved dimensjonsøkning at tverrsnittsarealet eller rørkrumningen over vannspeilet var større.

Kapasitetsforskjellen vil bli enda større ved lavere sjøvanstand.

Forskjellen mellom eksempel 1 og eksempel 2 ble ikke så stor. Det kommer av at det ekstra fallet oppnådd blir utjevnet av det ekstra mottrykket som oppstår på grunn av senkningen av røret.

Derimot blir kapasiteten ved eksempel 2 bedre ved lavere havnivå, og kapasitetsforskjellen mellom eksemplene vil bli større.

7.4.3. Selvrengens selvfalleseksemplene

Det er viktig at de nye systemene ikke tettes igjen av sedimenter, men er ren til en hver tid. Et rør som får avleiringer over tid har gode hydrauliske egenskaper og er lite vedlikeholdskrevende. Det er vanlig å sette en minimumshastighet som må oppstå for å få gjennomspyling i røret.

Tommelfingerregelen sier at minimumshastigheten bør settes til 1,0 m/s (Butler and Davies 2011). I følge VA MILJØ BLAD nr 79 er det tre krav som kan stilles. Minimums fall, minimums hastighet eller minimum skjærspenning (Lindholm 2007). Av de tre løsningene er det anbefalt å kalkulere skjærspenninger da regnestykket er hydraulisk begrunnet og er ikke bare en antagelse.

Ved felles- eller spillvannssystemer har man en kontinuerlig strømning. Overvannssystemer er mer problematisk da det kan være lengre perioder med tørke. Dansk ingeniørforening mener det skal være en gjennomskylling av røret hver 14. dag som minst oppnår $0,1 \times Q_{\max}$ eller $h/d = 0,25$. VA miljø blad anbefaler en skjærspenning på 3-4 N/ m² for overvannsledninger av plast eller betong (Lindholm 2007).

Det nye systemet i Sandnes vil med unntak av vann fra veier, kun være i drift når det oppstår trykk i det gamle systemet. Fram mot framtidssituasjonen, antas det at det ikke oppnås gjennomspyling hver 14.dag.

Beregning av skjærspenninger for sirkulære rør:

1. Skjærspenning langs rørveggen ved en fylt sirkulær ledning:

$$T_{\text{fylt}} = \gamma \cdot R \cdot l$$

$$\gamma = 10\,000 \text{ N/m}^3, R_{\text{sirkulært rør}} = D/4$$

2. Lundgren og Johansen har laget en formel for skjærspenning i bunnen av en ledning ved h/D opp til 0,25. I beregningene er det satt inn maksimal h/D .

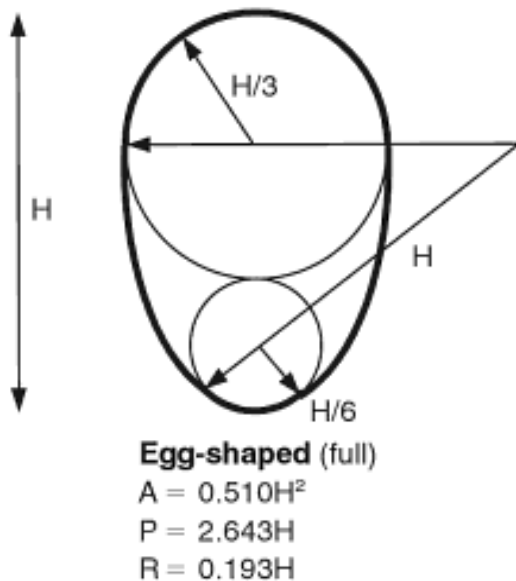
$$T_{\text{maks}} = T_{\text{fylt}} \cdot 4h/D \cdot (1-h/D)$$

Tabell 26. Skjærspenninger for sirkulære rør ved ulike dimensjoner, helninger og fyllingshøyde $h/d = 0,25$.

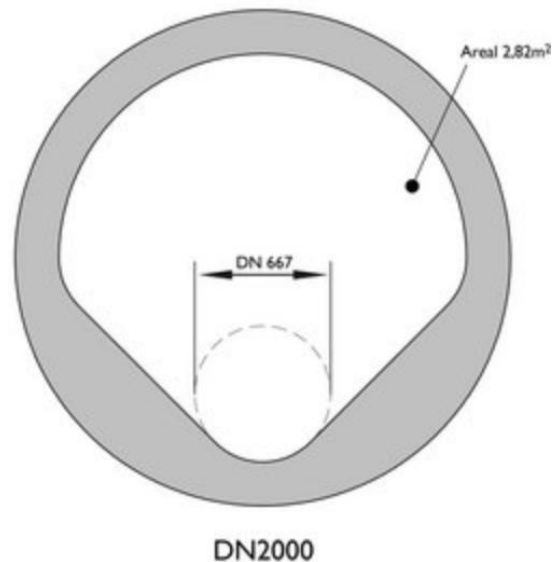
	$T_{\text{fylt}} \text{ [N/m}^2\text{]}$	$T_{h/d=0,25} \text{ [N/m}^2\text{]}$
D=400mm, l= 1 ‰	1	0,75
D=400mm, l= 2 ‰	2	1,5
D=600mm, l= 1 ‰	1,5	1,125
D=800mm, l= 1 ‰	2	1,5

Beregning av skjærspenninger for rør med tørrværsrenne:

Ved å betrakte tørrværsrennen i bunnen av røret som en lavere diameter kan man sammenligne hastighetsøkningen mellom rørdiameteren og rennediameteren. For å finne skjærspenningene i tørrværsrennen kan man da anta at hastighetsøkningen mellom rørdimensjonene er lik skjærspenningsøkningen. Dette fungerer helt til vannføringen overstiger kapasiteten til den antatte nedre dimensjonen i røret.



Figur 43. Tverrsnitt av eggeformet rør med areal, våt perifer og hydraulisk radius (Butler and Davies 2011).



Figur 42. Eksempelør med V- tverrsnitt fra Skjæveland Cementstøperi AS (Skjæveland 2012).

Hvordan den effektive lavere rørdiameteren skal betraktes, avhenger av rørets geometri. I læreboken Urban Drainage betraktes eggeformede rør med effektiv rørdiameter som H:3, se figur 43 (Butler and Davies 2011). Det samme gjør Skjæveland Cementstøperi AS i deres eksempel på rør med V-tverrsnitt der forholdet er D:3, se figur 42 (Skjæveland 2012).

Ved å benytte disse forutsetningene kan man ved hjelp av delfyllingskurver beregne forholdet mellom hastighet i rørdiameter og rennediameter. I denne rapporten er det beregnet skjærspenninger for eksempeldiameterne med forholdet mellom rør og effektiv rørdiameter som D:3. For diameterne 400 mm, 600 mm og 800 mm ble effektiv rørdiameter beregnet til henholdsvis 133,33 mm, 200 mm og 266,67 mm.

7. Aktuelle tiltak i Julie Eges gate

31.mai.2012

Tabell 27. Viser økning i hastighet og skjærspenning ved samme vannføring fra et 400 mm rør til et rør på 133,33 mm ved fall på 1 ‰.

Vannføring [m ³ /s]	Eksempel 1				Tørrværsrenne, effektiv diameter 133.33mm 1 ‰			
	h/D	Hastighet [m/s]	Vannhøyde [m]	Skjærspenning [N/m ²]	h/D	Hastighet [m/s]	Vannhøyde [m]	Skjærspenning [N/m ²]
0.0014	0.100	0.177	0.040	0.360	0.475	0.219	0.063	0.447
0.0035	0.150	0.215	0.060	0.510	0.850	0.277	0.113	0.656
0.0052	0.200	0.262	0.080	0.640	1.000	0.266	0.133	0.656
0.0076	0.250	0.298	0.100	0.750	1.000	0.266	0.133	0.750

Tabell 28. Viser økning i hastighet og skjærspenning ved samme vannføring fra et 400 mm rør til et rør på 133,33 mm ved et fall på 2 ‰.

Vannføring [m ³ /s]	Eksempel 2				Tørrværsrenne, effektiv diameter 133.33mm 2 ‰			
	h/D	Hastighet [m/s]	Vannhøyde [m]	Skjærspenning [N/m ²]	h/D	Hastighet [m/s]	Vannhøyde [m]	Skjærspenning [N/m ²]
0.0020	0.100	0.251	0.040	0.720	0.475	0.313	0.063	0.899
0.0049	0.150	0.306	0.060	1.020	0.850	0.395	0.113	1.317
0.0074	0.200	0.372	0.080	1.280	1.000	0.380	0.133	1.317
0.0108	0.250	0.423	0.100	1.500	1.000	0.380	0.133	1.500

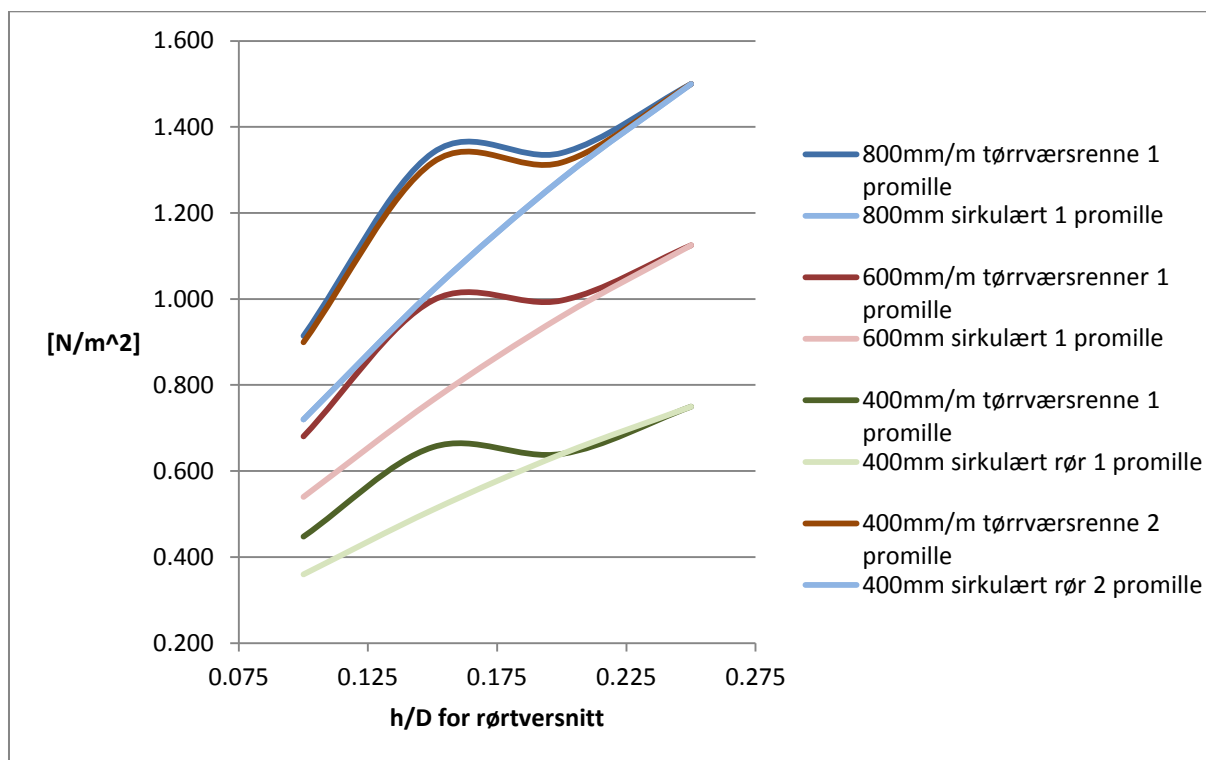
Tabell 29. Viser økning i hastighet og skjærspenning ved samme vannføring fra et 600 mm rør til et rør på 200 mm ved et fall på 1 ‰.

Vannføring [m ³ /s]	Eksempel 3				Tørrværsrenne, effektiv diameter 200.00mm 1 ‰			
	h/D	Hastighet [m/s]	Vannhøyde [m]	Skjærspenning [N/m ²]	h/D	Hastighet [m/s]	Vannhøyde [m]	Skjærspenning [N/m ²]
0.0040	0.100	0.229	0.060	0.540	0.475	0.289	0.063	0.680
0.0101	0.150	0.279	0.090	0.765	0.850	0.364	0.113	0.997
0.0152	0.200	0.340	0.120	0.960	1.000	0.350	0.133	0.997
0.0222	0.250	0.387	0.150	1.125	1.000	0.350	0.133	1.125

Tabell 30. Viser økning i hastighet og skjærspenning ved samme vannføring fra et 800 mm rør til et rør på 266,67 mm ved et fall på 1 ‰.

Vannføring [m ³ /s]	Eksempel 4				Tørrværsrenne, effektiv diameter 266.67mm 1 ‰			
	h/D	Hastighet [m/s]	Vannhøyde [m]	Skjærspenning [N/m ²]	h/D	Hastighet [m/s]	Vannhøyde [m]	Skjærspenning [N/m ²]
0.0086	0.100	0.275	0.080	0.720	0.475	0.349	0.063	0.914
0.0216	0.150	0.335	0.120	1.020	0.850	0.440	0.113	1.340
0.0324	0.200	0.408	0.160	1.280	1.000	0.423	0.133	1.340
0.0475	0.250	0.464	0.200	1.500	1.000	0.423	0.133	1.500

31.mai.2012



Figur 44. Figuren viser de ulike dimensjonene med og uten tørrværsrenne med skjærspenninger over h/D til sirkulært tversnitt. Diameteren på tørrværsrennen er 1:3 av startdiameter. Kurvene til sirkulære rør og rør med tørrværsrenne føyer seg sammen når h/D til tørrværsrennen når 1,0.

Figur 49 viser at kurvene til rør med og uten tørrværsrenne sammenføyes når h/D= 1,0 når i tørrværsrennen. Dette kommer av at det er tørrværsrennen som betraktes som effektiv diameter og er kalkulasjonsgrunnlaget for hastighetsøkningene. Når tørrværsrennediameteren overstiges vil derfor skjærspenningene til den opprinnelige rørdiameteren være gjeldende for skjærspenningsberegningene. I SINTEF- rapporten; Vurdering av fordeler og ulemper ved "alternative" rørsnitt for betongrør står det: "Rør med tørrværsrenn: Ved større vannføringer vil de hydrauliske egenskapene være noe dårligere enn for sirkulært tversnitt" (Hafskjold 2003). Resultatene viser at selvrensegenskapene ved rør med tørrværsrenne er bedre ved lave vannføringer enn med sirkulært tversnitt.

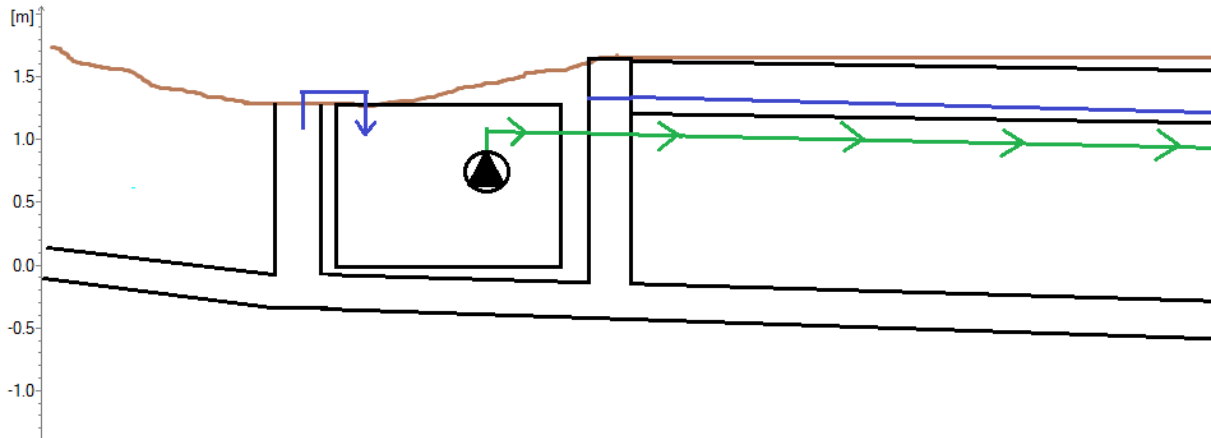
Alle dimensjonene vil være langt unna å tilfredsstillere kravet som VA- MILJØ BLAD stiller på 3-4 N/m², selv med tørrværsrenne. I følge rapporten *Sjølrensing og spyling av avløpsledninger* er et krav på 3-4N/ m² noe konservativt (Berg 1988). Rapporten viser til langt lavere krav til skjærspenninger. Ut fra disse verdiene er det mulig å få selvrens i overvannssystemet i Julie Eges gate, se tabell 31.

Tabell 31. Krav til skjærspenninger (Berg 1988).

Ledningstype	Krav til skjærspenning på lokale parti
Separat spillvannsledning	0,5 N/m ²
Fellesledning m/sandfang	1,0 N/m ²
Felles- og overvannsledning med stor sandtilførsel.	1,5 N/m ²

7.5.Tiltak 2 – Selvfall kombinert med fordrøyning og pumping

Tiltak 2 er en kombinasjon av selvfallssystem, pumping og fordrøyning, se figur 45. For å unngå oversvømmelse i lavbrekket i fremtiden, er det nødvendig med fordrøyning. Det er tiltenkt at systemet skal fungere med selvfall likt tiltak 1 med samme kapasitet, men med lagring av de vannmengder det ikke er kapasitet nok til å føre videre.

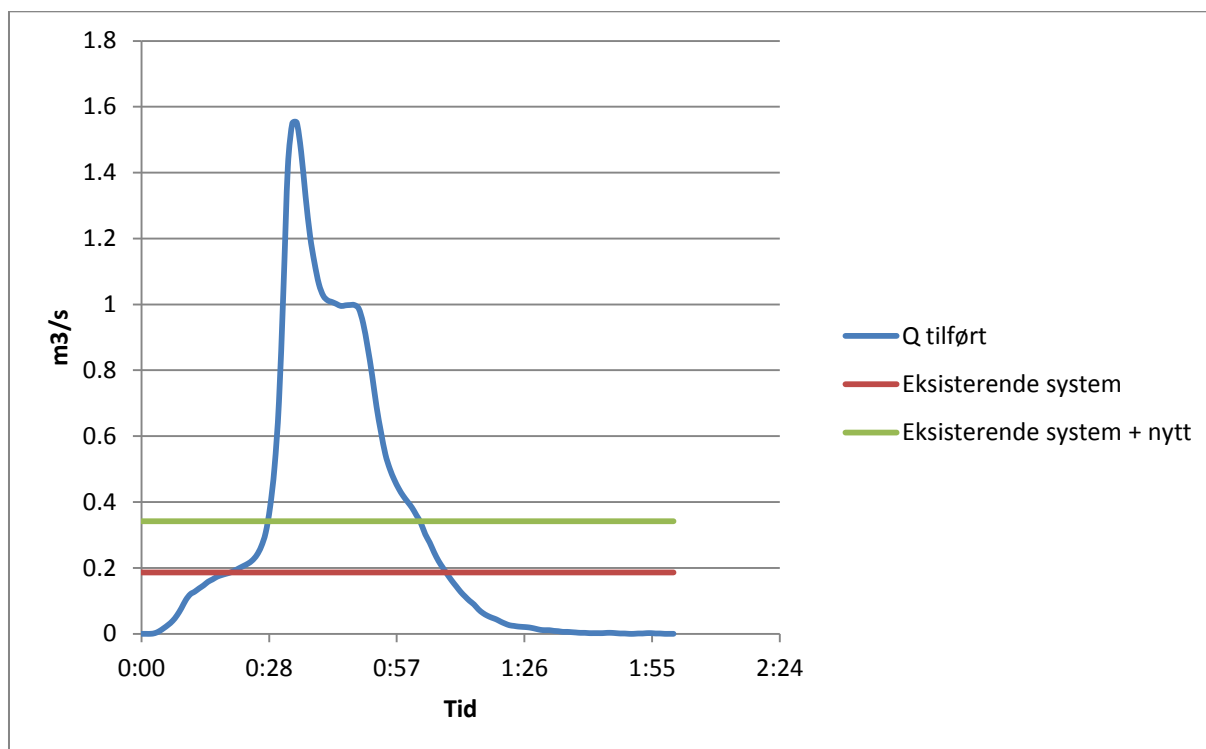


Figur 45. Eksempeltegning; selvfallssystem kombinert med fordrøyning og pumping

7.5.1. Nødvendig fordrøyningsvolum:

Figur 46 viser dimensjonerende vannmengder tilført Julie Eges gate (blå graf). Dataen er hentet fra avløpsmodellen i MIKE URBAN. Alle flaskehals er fjernet og grafen representerer fremtidssituasjonen i år 2100 ved en 20 års nedbørshendelse og klimafaktor 1,6. Arealet under den blå grafen vil representere vannvolumet tilført Julie Eges gate. Det eksisterende systemet har en kapasitet oppstrøms på ca. 186 l/s og det nye systemet vil ha en kapasitet på 156 l/s uten at det oppstår oversvømmelse i lavbrekket, altså kt. 1,3 m.

31.mai.2012

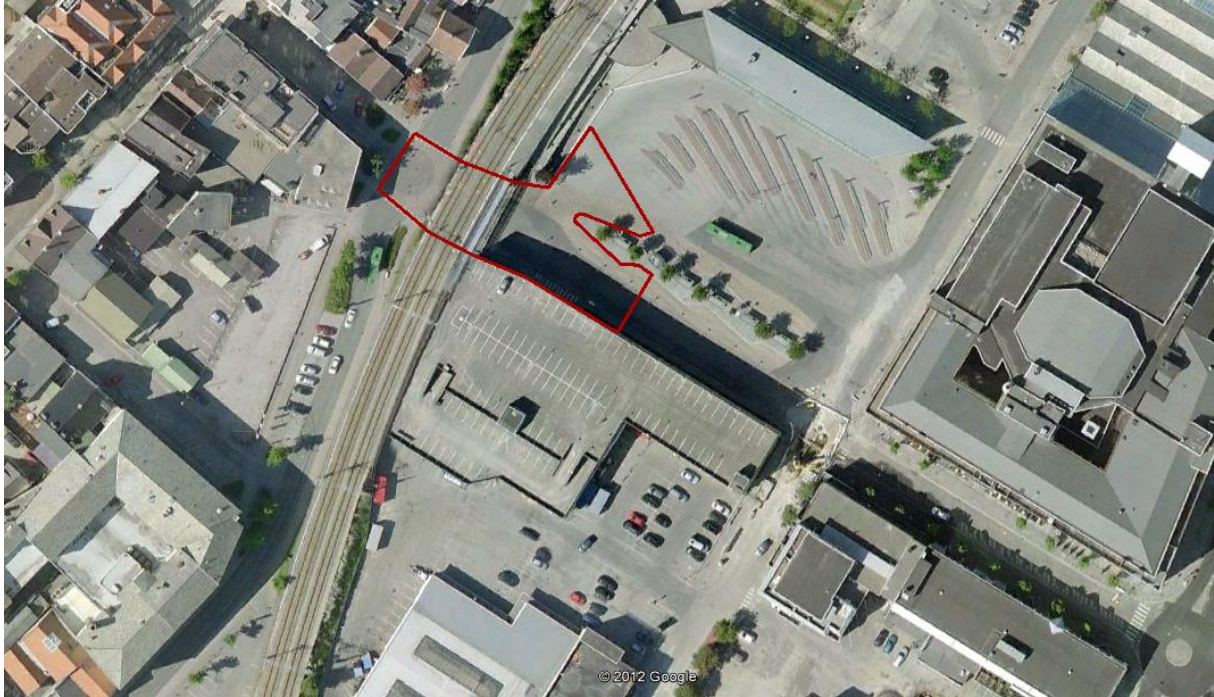


Figur 46, Dimensjonerende vannmengder tilført Julie Eges gate. Symmetrisk nedbør med 20 års returperiode og klimafaktor på 1,6 (tilsvarer år 2100). Grafen er hentet fra avløpsmodell i MIKE URBAN. De horisontale strekene symboliserer det eksisterende og det nye systemet. Arealet over disse strekene er volumet som må fordrøyes.

Beregnet fordrøyningsvolum med fratrukk av kapasiteten til det eksisterende og det nye systemet vil da være 1089,4 m³.

7.6.Tiltak 3 – Nødpumpe og fordrøyning

Tiltak 3 består av en nødpumpe som kobles inn ved et forhåndsbestemt vannivå. Fra beregningene gjort i tiltak 2 ble fordrøyningsvolumet beregnet til å være 1089,4 m³. Det kan være vanskelig å bygge et så stort fordrøyningsvolum i Julie Eges gate. Det er ønskelig at kapasiteten til nødpumpen er optimalisert i forhold oversvømmelsen i gaten. Figur 47 viser hvor bakkenivået er lavest og hvor oversvømmelsen mest sannsynlig vil oppstå, se også kapittel 5.2.



Figur 47. Oversvømmelsesareal i lavbrekket i Julie Eges gate. Figuren er hentet fra Google Earth 2012.

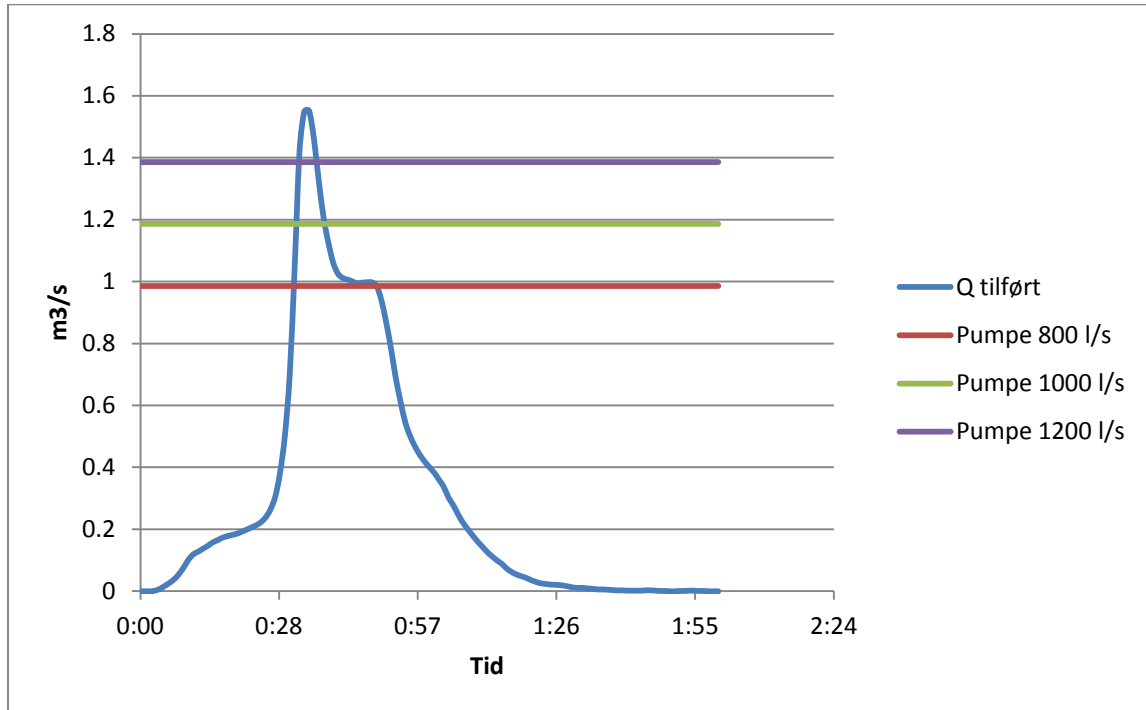
Kapasiteten til pumpen må være så stor at oversvømmelsen blir minimert eller fjernet. Det eksisterende overvannssystemet skal fortsatt være i drift. Pumpen må ha kapasitet til å pumpe store mengder vann.

Vannet kan enten pumpes til havnebassenget via Vågsgata eller til kulverten nederst i Julie Eges Gate. I beregningseksemplet er det sett på pumping via Vågsgata til havnebassenget gjennom en ledning med en diameter på 1000 mm. Dette vil avlaste kulverten.

7.6.1. Dimensjonering

Figur 48 viser dimensjonerende vannmengder tilført Julie Eges gate. Dataen er hentet fra avløpsmodellen i MIKE URBAN. Grafen representerer fremtidssituasjon i år 2100 ved en 20 års nedbørshendelse og klimafaktor 1,6. Arealet under den blå grafen er vannvolumet tilført Julie Eges gate. Det eksisterende systemet har en kapasitet på ca. 186 l/s uten at det oppstår oversvømmelse i lavbrekket, altså kt. 1,3 m. De horisontale linjene symboliserer ulike pumpekapasiteter.

31.mai.2012



Figur 48. Dimensjonerende vannmengder tilført Julie Eges gate. Symmetrisk nedbør med 20 års returperiode og klimafaktor på 1,6 (tilsvarer år 2100). Grafen er hentet fra avløpsmodell i MIKE URBAN. De horisontale strekene symboliserer forskjellige pumper og arealet over disse strekene er volumet som må pumpes. Inkludert i kapasiteten til pumpene er det lagt inn 186 l/s som er kapasiteten til det eksisterende systemet ved en trykkhøyde lik 1,3 m.

Tabell 32. Data til trykktapsberegning

Tetthet avløpsvann	1000 (kg/m ³)
Tetthet sjø	1020 (kg/m ³)
Vanntemperatur	10 °C
Viskositet	1,3098E-06
Hydraulisk ruhet (PE)	0,01 mm
Lengde	310 m
Utslipsdybde	-1 moh
Høyde sjø	0,98 moh
Høyde kum	1,3 moh
Tyngdekraft g	9,81 m/s ²
Diameter	1000 mm

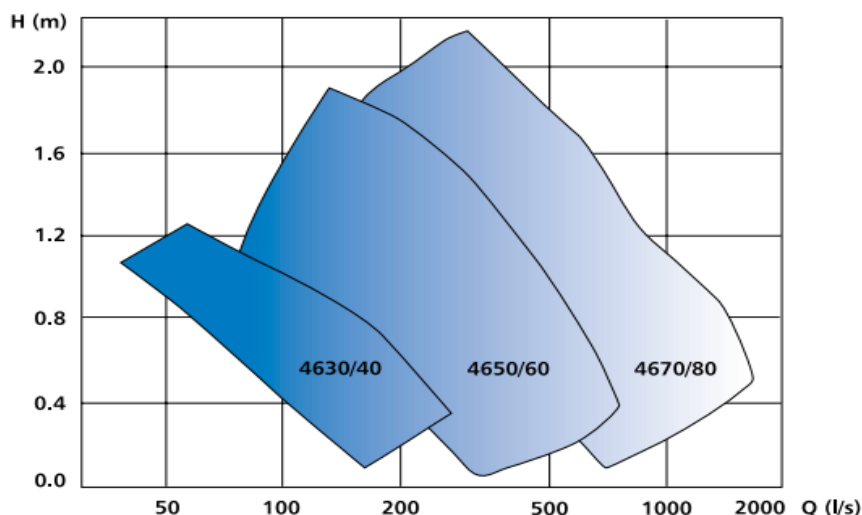
Tabell 33. Resultater fra trykktapsberegning

	Uten Pumpe	Pumpe 800 l/s	Pumpe 1000 l/s	Pumpe 1200 l/s
Flom volum [m ³]	1457,0	181,3	84,1	26,2
Hastighet i rør [m/s]	-	1,02	1,27	1,53
Singulærtap (k=1,8)*	-	0,095	0,148	0,215
Friksjonstap rør [m]	-	0,35	0,53	0,76
Densitetsforskjell tap [m]	-	0,04	0,04	0,04
Sum trykktap [m]	-	0,485	0,718	1,015
Løftehøyde eksempelpumpe [m]	-	1,25	1,1	1,0

*Singulærtap er kalkulert til 1,8 og består av; inn og utløpstap, retardasjonstap (overgang fra 800 til 1000 mm rør) og bend.

7.6.2. Eksempelpumpe:

Horisontale propellpumper fra Flygt er laget for å pumpe store mengder vann ved lav løftehøyde. Disse kommer i flere størrelser og har kapasiteter opp mot 1800 l/s (Flygt 2012)



Figur 49. Pumpekarakteristikk for tre ulike Flygt-pumper (Flygt 2012).

Løftekapasiteten til pumpen ved en vannføring lik 1200 l/s er ca. 1 meter. Det vil si at en slik Pumpe kan benyttes til å pumpe overvannet fra Julie Eges gate. Ved denne pumpekapasiteten vil oversvømmelsen bli ca. 26 m³ og fordelt på 1000 kvadratmeter gir det en oversvømmelse på ca. 2,6 cm. Gaten kan benyttes som "fordrøyningsbasseng" siden oversvømmelsen er liten eller det kan bygges et fordrøyningsmagasin på 26 m³.

7.7.Tiltak 4 - Isolert overvannssystem for Julie Eges gate

Tiltak 4 er et isolert overvannssystem som ment for å håndtere alle vannmengder tilført Julie Eges gate nedstrøms av Jernbanen. Det inkluderer ikke vannmengdene oppstrøms av jernbanen, se figur 50. Dette systemet kobles ikke på det eksisterende overvannssystemet.



Figur 50. Nedslagsfeltet til Julie Eges gate nedenfor jernbanen. Figuren er hentet fra Google Earth 2012.

Tilhørende areal til Julie Eges gate foruten om arealet oppstrøms Jernbanen er på 1,9 ha. Avrenningskoeffisienten er satt til 0,7 som er typisk sentrumsområde (Larm, Thomas 2012). Lengden på røret er på 200 m. Det er benyttet et blokkregn med 20 års gjentaksintervall og klimafaktor 1,6. IVF- kurver fra Sandnes – Rovik gav da en intensitet lik 281 l/s ha. Ved å benytte den rasjonale formel, beregnes avrenningen fra feltet:

$$Q = CIA * k = 0,7 * 281 \frac{l}{s} * ha * 1,9 ha * 1,6 = 598 \frac{l}{s}$$

k = Klimafaktor I = Intensitet
C = Avrenningskoeffisient A = Areal

Ved bakkenivået på kt. 1,65 kan det maksimalt legges en ytre diameter på 800 mm ned til middel spring lavvann på kt. 0,52. Da er helningen på røret $(0,85-0,52)/200=1,65 \text{ ‰}$. Ved en indre diameter på 600 mm, helning på 1,65 ‰, ruhet på 1 mm og ved middel spring lavvann i år 2100 er kapasiteten beregnet til 260 l/s.

Et rør med en indre diameter på 800 mm, ruhet på 1mm og helning på 3 ‰ gir en kapasitet på 751,5 l/s. For å oppnå 3 ‰ fall og ønsket kapasitet må bakkenivået oppstrøms heves til kt. 2,12 m. Dette gjelder ved middels spring lavvann i år 2100. For å få tilsvarende kapasitet ved middelvannstand og middel spring høyvann i år 2100 må bakkenivået oppstrøms heves til henholdsvis kt. 2,35 og kt 2,58 meter.

8. Bærekraftige tiltak i Sandnes

8.1.Mulige bærekraftige tiltak

Grønne tak

Et vanlig tak har høy avrenningskoeffisient. Når taket er mettet med vann vil avrenningskoeffisienten bli høyere og situasjonen blir mer likt et vanlig tak. Fordelen med et grønt tak er derfor at den første delen av nedbøret vil tilbakeholdes og evaporasjonen vil øke, noe som også vil fjerne en del av vannet. Små regn kan bli permanent tilbakeholdt og fjernet ved fordampning.

De grønne takene legges vanligvis på tak med bitumenbasert takteking. Disse vil bli beskyttet fra solas UV- stråling og få økt levetid. UV- verdien vil øke, noe som gir besparelser i energiforbruk.

Permeabelt dekke

Ideen med et permeabelt dekke er å redusere avrenningen. Fungerer dekkene optimalt, skal de ved hjelp av åpne sprekker eller høy permeabilitet sørge for at vannet går gjennom og infiltreres til grunnen. Det finnes flere ulike permeable dekker; grusdekker, brostein med sprekker eller permeabel asfalt.

Fordelen med disse overflatene er at vannet infiltrerer til grunnen. Evaporasjonen kan også øke fordi vannet forsinkes. Ulempene er at dekkene komprimeres ved bruk, noe som fører til dårligere permeabilitet. Finstoff fra overvannet vil legge seg i sprekker og redusere infiltrasjonsegenskapene.

Swales

En swale er en gresskledd grunn grøft der vannet transporteres på overflaten med en svak helning i strømningsretningen. Det gresskledde dekket og den svake helningen forsinker vannet. Infiltrasjons- og evaporasjonsegenskaper er også fordelaktig ved en slik konfigurasjon. Ved å installere et pukkmagasin i bunnen av swalen øker perkolasjonsegenskapene.

Vedlikeholdsarbeid må påregnes ved slike løsninger. Gresset må klippes og eventuelt oppsamlet slam må fjernes for å sikre en god og effektiv funksjonsevne av systemet.

Regnbed

Regnbed er en type blomsterbed som overvannet blir ledet til. Bedet er beplantet, noe som sørger for god evapotranspirasjon og utseende, samtidig som vannet kan infiltrere i grunnen. Når vannivået når en viss høyde kan det gå i overløp til det tradisjonelle overvannssystemet.

Ulempene er mye vedlikeholdsarbeid. Luking av ugress, stell av planter, samt fjerne slam, løv og annet oppsamlet søppel er tiltak som må påregnes.

Struping av inntaksrister

Ved å strupe inntaksrister, forsinkes vannmengdene til overvannssystemene. Det gjøres ved å "kvele" inntaksristene til gateslukene ved gjøre ristene trangere. Vannet blir midlertidig lagret på gaten. En annen mulighet er å stenge hvert andre sluk langs veien, slik at vannet må renne en dobbel så lang distanse som normalt.

Ekstra vedlikehold må påregnes. En trangere rist vil føre til mer tiltetting. Intensivering av gatefeiing bør derfor iverksettes slik at løv og søppel fjernes mer regelmessig.

8.2. Eksempel på bærekraftige tiltak

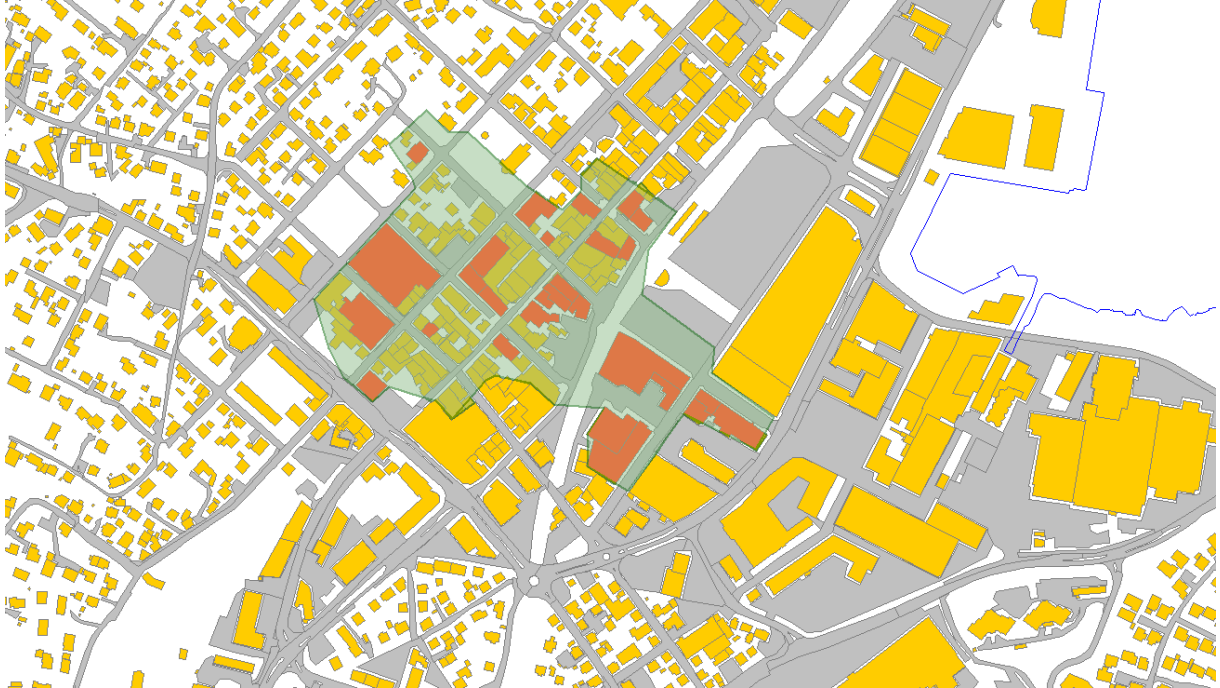
Det er viktig å få tak i overvannet for å kunne behandle det lokalt. Takvann går normalt direkte til overvannssystemet via taknedløpene. Et enkelt tiltak er å kutte taknedløp slik at vannet ledes på bakkenivå. Det er da mulig å forsinke og fordrøye vannet lokalt. Skrå tak har typisk utvendig taknedløp slik at det er enkelt å koble fra overvannssystemet. Flate tak har typisk innvendige taknedløp som gjør det vanskeligere å nå tak i vannet. Disse takene passer derimot bra til å legge grønne tak på. På denne måten får man kontrollert alle taktypene med ulike tiltak.

Ved å anlegge grønne tak på de flate takene i nedslagsfeltet til Julie Eges gate vil den andelen av vannet som jordsmonnet og vegetasjonen klarer å holde på bli tilbakeholdt. Dette reduserer avrenningskoeffisienten og evapotranspirasjonen øker. Når takene er mettet for vann vil avrenningskoeffisienten øke, men det vil fortsatt være en forsinkelse. Ved langvarige regn vil ikke effekten være så stor som ved kortvarige regn på fra før tørre tak.

Hvor stor andel vann som takene tilbakeholder før de blir vannmettet er avhengig av tykkelse på jordsmonnet og vegetasjonen. Det er derfor vanskelig å si noe om hvilken effekt slike tak vil ha uten å vite hvor tykke tak som kan legges. Hvor tykke tak som kan legges er avhengig av takkonstruksjonens styrke. Skal det bygges tykke grønne tak må kanskje taket forsterkes, noe som kostnadmessig vil være urimelig. Det kan likevel være mulig å legge grønne tak ved bruk av en tynnere og lettere type. Det skilles mellom ekstensive tak og intensive tak. Ekstensive tak er også kjent som et sedumtak. Det er beplantet med sedumarter som tåler næringsfattige omgivelser og tørke. Intensive tak er alle andre typer grønne tak og kan beplantes med det meste av vegetasjon. Forskjellen i jordsmonntykkelse er stor på de ulike takene og dermed varierer den totale vekten. Et sedumtak veier rundt 130 kg/m² mot et vanlig grønt tak som kan veie opp mot 900 kg/m² (Seehusen 2010). Disse verdiene er for tak i vannmettet tilstand.

Litteraturen oppgir flere ulike verdier på effekten av grønne tak. Flere forskere mener at effekten ligger rundt 25 % til 50 % reduksjon av årlig nedbør ved et sedumtak (Seehusen 2010). Effekten vil være noe større med et intensivt tak.

I Julie Eges gate er ca. 50 % av takene flate. Ved å anta en gjennomsnittlig avrenningskoeffisient på 0,3 på bygg med grønne tak oppstrøms Julie Eges gate kan det utføres en eksempelberegning på spissavrenning. Det er beregnet en avrenning på 2047,5 l/s ut fra nederste punkt av Julie Eges gate ved den rasjonale metode i år 2100, se kapittel 7.3.2.



Figur 51. Bygg med flate tak i nedslagsfelt til Julie Eges gate. Det grønne området symboliserer nedslagsfeltet og de røde byggene er bygg med flate tak. Figuren er hentet fra MIKE URBAN.

Tabell 34. Arealtype, størrelse og avrenningskoeffisient

Arealtype	Størrelse	ϕ
Vei	2,43 ha	0,85
Bygg vanlig	1,925 ha	0,6
Bygg med grønne tak	1,925 ha	0,3
Park	2,1	0,18

Gjennomsnittlig avrenningskoeffisient med grønne tak er beregnet til 0,5, noe som gir en avrenning på 1877,5 l/s nederst i Julie Eges gate med en klimafaktor på 1,6. Dette er en reduksjon på 14,4 %. Hvis taknedløpene på bygg med utvendige taknedløp kuttes kan vannet forsinkes og fordøyes nær kilden.

9. Diskusjon

9.1.Klimaforandringer

Det er flere forskningsprosjekter som forsøker å kartlegge fremtidens klimaendringer. Det er utviklet flere klimamodeller som skal være til hjelp for å forutse fremtiden. Disse modellene beskriver en fysisk virkelighet ved hjelp av matematiske tilnærminger og sannsynlighetsanalyser. Det er derfor ikke mulig å gi et korrekt bilde av fremtiden ved hjelp av modeller, men de kan være gode verktøy og være en pekepinne på hva som kan skje. Det er usikkerheter knyttet til denne type forskning og resultater, noe som påvirker innholdet og resultatene i denne rapporten.

Det har vært usikkerhet ved implementering av nedbørsendringene som forventes i år 2100. I denne rapporten er det valgt å se på 20 % og 60 % økning i regnintensitet. Det vil si en lik prosentvis økning i intensitet uansett regnvarighet. Enkelte forskere hevder at nedbørshendelser med kortere varighet opptrer hyppigere, med høyere intensitet og at de langvarige nedbørene påvirkes i mindre grad (RegClim 2002). Eksempelvis vil en IVF- kurve for fremtiden endre form til å bli brattere. Det er derfor usikkerheter knyttet til implementering av disse nedbørsendringene.

9.2.Bakgrunnsinformasjon

Dimensjoner og størrelser i avløpsmodellen i MIKE URBAN er hentet fra Gemini VA. Gemini VA er kartdatabase over vann- og avløpssystemene i Sandnes kommune. Det finnes feil og manglende data i denne databasen som ikke alltid blir oppdaget og endret. Et typisk eksempel er feil diameter som kan forårsake oppstuvninger ved modellering.

Det har vært problematisk å få oversikt over infiltrasjonsegenskapene i Sandnes kommune. NGUs geologiske kart er svært grove og sier lite om lokale forhold eller hvilke infiltrasjonsegenskaper massene har. Sandnes kommune har vært kontaktet angående dette, men har ikke oversikt over grunnforholdene. Det hadde vært interessant å se hvilket potensial eventuelle infiltrasjonstiltak kan ha i kommunen.

Fra flomanalysen var det ønskelig å se om resultatene ga et representativt bilde av oversvømmelsene i Sandnes. Da det ikke eksisterte en oversikt over tidligere oversvømmelser, er det ikke mulig å verifisere resultatene fra modelleringen. Det gjør resultatene fra flomanalysen noe usikre med hensyn på sted og mengde. Det mangler også informasjon om tidligere overløpsutslipp.

Det har vært problematisk å bestemme omfanget av nedslagsfeltet til Julie Eges gate, fordi det er tilkoblet to nødoverløp til dette feltet. Disse overløpene trer i kraft når ledningen i feltet oppstrøms blir overbelastet. Det er vanskelig å si om utslippet fra disse overløpene påvirker spissavrenningen fra nedslagsfeltet til Julie Eges gate og i hvilken grad. Dette påvirker også konsentrasjonstiden noe som igjen påvirker valget av nedbørshendelse.

9.3.MIKE URBAN

Kompetansenivået til MIKE URBAN har i utgangspunktet vært lavt, slik at det er benyttet mye tid til modellering og analyser.

MIKE URBAN behandler informasjon ved hjelp av matematiske ligninger og uttrykk. Det er en deterministisk modell, noe som vil si at den er basert på aksepterte matematiske tilnærminger mellom fysiske parametere. En slik modell vil derfor aldri kunne gi et nøyaktig bilde av virkeligheten, men kan være en god pekepinne.

Ved kalibrering av avløpsmodellen ble nedbørsdata sammenlignet med tilhørende avrenningsdata. Når modellerte resultater stemmer med virkelige målinger sies det at modellen er kalibrert. Utfordringen ligger i det som skjer mellom målepunktene. Her kan det oppstå forskjeller fra virkeligheten. Typisk vil det oppstå oversvømmelse i noen rørtraseer mens andre ikke har utnyttet sin kapasitet. Dette så vi eksempler på i nedslagsfelt til Julie Eges gate. Det kan løses ved å ha flere punkter for kalibrering på forskjellige steder i systemet og vurdere hvert enkelt delfelt med tilkoblingspunkter.

I avløpsmodellen er det flere parametere som må bestemmes. Eksempelvis er Mannings tall ved overflaten til 2D- simuleringen eller rørruhet. Disse parameterne vil variere fra sted til sted og kan være vanskelig å estimere. Det er flere slike eksempler, og disse parameterne vil være med på å skape en usikkerhet ved oppbygningen av modellen.

Avløpsmodellen over Sandnes er stor i utstrekning, derfor er det benyttet en forenklet metode ved inndeling av delfelt i modellen. Inndelingen er Thiesens polygonmetode, hvor delfeltet rundt hver kum vektet ut fra avstanden mellom kummene. I virkeligheten avgrenses disse delfeltene av fysiske barrierer som fortauskanter, grøfter, forhøyninger etc. Eksempelvis er jernbanen i Sandnes en naturlig vannbarriere. Ved oppdeling med Thiesens polygoner ble denne ikke tatt hensyn til. Optimalt bør disse delfeltene legges inn manuelt, men ved store nedslagsfelt er det en svært tidkrevende prosess og befaringer bør utføres i forbindelse med oppdelingen. Feilfordelingen av delfelt fører til at noen ledninger overbelastes og andre ikke har utnyttet sin kapasitet, noe som igjen skaper oppstuvninger og oversvømmelser.

Ved 2D- simulering av flom i MIKE URBAN ble ikke det økte havnivået fremvist på DEM- området eller fysisk på bakken, til tross for at disse landområdene lå under havnivået. Havnivået ble lagt inn i modellen som et mottrykk ved utløpene og måtte simuleres som oversvømmelse gjennom kummene til DEM- kartet (landoverflaten). Dette gav et dårlig bilde på oversvømmelsen i de lavtliggende sonene. 2D- simuleringen med forventet havnivåstigning i år 2100 (0,98 m) er derfor feilaktig i disse lave sonene. Det ble utført en 2D- simulering for en stormflosituasjon (2,04 m) med nedbør med 2 års returperiode. Denne simuleringen ble forkastet siden hele sentrumsområdet ble liggende under havnivået.

Når MIKE URBAN mangler informasjon fra kartgrunlaget (Gemini VA) som for eksempel kumhøyde eller ledningshøyde, interpolerer programmet mellom kjente verdier. Det kan føre til feilaktighet i modellen.

9.4.Resultater

Resultatene viser oversvømmelser i store deler av Sandnes både i dag og i fremtiden. Noen av oversvømmelsene er over 1 meter over bakkenivå. Dette virker noe urealistisk og pessimistisk, spesielt da dagens scenario gav store oversvømmelser.

I fremtidsscenarioene ble det simulert med 0,98 meter havnivåstigning, et nedbørstilfelle med 20 års returperiode og klimafaktor 1,2 og 1,6. Dette gav totalt sett en svært ekstrem situasjon under dimensjonerende vannmengder. Ved å akseptere at sentrumsområdene oversvømmes med jevne mellomrom, kan da kravene senkes. Det hadde derfor vært interessant å se nærmere på en 2 års hendelse og hvordan systemet håndterer en lavere regnintensitet. Kan en 2 års returperiode da benyttes som dimensjonerende returperiode?

Det ble utført kapasitetsberegninger for å se på endringen av endret havnivå. Her fremgår det at kulverten har en kapasitetsreduksjon på 25,6 %. Det er basert på en måling mellom maks kapasitet ved forskjellig havnivå (0 m og 0,98m), men med samme nedbør under dimensjonerende forhold. Ved disse situasjonene vil oppstuvningen i scenarioet med økt havnivå være større, noe som fører til økt trykk oppstrøms og større vannføring nedstrøms. Derfor vil denne målingen være konservativ og i virkeligheten vil kapasitetsreduksjonen vært større.

I overløpsanalysen er det analysert to overløp med hensyn til utslipp. Dette utslippet vil variere sterkt med intensiteten og varigheten til nedbørstilfellet. I analysen ble det kun sett på en endring i intensitet, ved å øke regnvarigheten ville utslippet blitt enda større.

9.5.Tiltak

Den dimensjonerende vannføringen ble funnet ved hjelp av manuelle metoder (rasjonale metoden) og ved hjelp av avløpsmodellen. Før avløpsmodellen ble benyttet, ble det bestemt at alle flaskehalsen skulle fjernes for å oppnå den dimensjonerende vannføringen. Dette skulle også representere systemet i år 2100. Usikkerheten ligger i hva fremtidssituasjonene vil være. Sannsynligvis er mange flaskehalsen fjernet til da, men det kan også være implementert bærekraftige tiltak som reduserer avrenningen fra nedslagsfeltet eller en endring i nedslagsfeltets grenser. Før- var prinsippet bør derfor benyttes.

De dimensjonerende vannmengdene fra nedslagsfeltet til Julie Eges gate ble verifisert med den rasjonale metoden. Resultatet viste en forskjell på 10,2 %, noe som er et godt resultat. Men også her er det stor usikkerhet knyttet til bestemmelse av feltgrenser og valg av avrenningskoeffisienter. I avløpsmodellen i MIKE URBAN er feltgrensene bestemt av Thiesens polygoner, mens ved manuelle beregninger er disse grensene bestemt fra observasjoner i kartgrunnlagene. Ved nøye befarings og kartlegging av områdene kan både delfelt og avrenningskoeffisienter bestemmes mer nøyaktig.

I tiltak 1 og 2 er det bestemt at jernbanen ikke skal heves eller at tunnelen under skal stenges. Dette førte til at bakkenivået ble beholdt slik som i dag og i kombinasjon med økt havnivå ble det svært små marginer til et nytt system. Høyden i lavbrekket er 1,3 m. Det fører til at en trykkote høyere enn 1,3 m gir oversvømmelse på bakken. Det kan diskuteres hvorvidt denne undergangen bør beholdes eller om det er mulig å akseptere oversvømmelse i disse sonene med jevne mellomrom.

Det ble bestemt at det nye selvfallsystemet skulle ligge over fremtidens forventede havnivå og flo (middel spring høyvann). Ved å senke dette til middelvannstand eller lavvann er det mulig å få bedre kapasitet i deler av døgnet.

10. Konklusjon

10.1. Resultater

Resultatene viser at Sandnes sentrum blir oversvømt både i dag og i fremtiden ved et nedbørstilfelle med 20 års returperiode. Fremtidens oversvømmelser er mer dramatiske enn dagens med hensyn til mengde og utbredelse. Et utvalg av kummer hadde alt fra 100 % økning til over 28 000 % økning i flomvolum. I tillegg ligger enkelte deler av Sandnes sentrum under 0,98 m, som er den forventede havnivåstigning i år 2100. Oversvømmelsene vil medføre både skader på infrastruktur og bygninger, men også trafikken blir satt ut av spill.

Havnivåøkningen førte til en reduksjon av kapasiteten i alle de lavtliggende ledningene grunnet økt mottrykk og saltvannskiler. Kulverten nederst i Julie Eges gate viste eksempelvis en kapasitetsreduksjon på over 25,6 % ved 0,98 m havnivåstigning. Kapasitetsreduksjonen fører også til oppstuvninger og økte overløpsutslipp.

I år 2100 er det ut fra klimavurderinger funnet at stormflo kan bli opp til 2,04 m over dagens havnivå. Det medfører at store deler av sentrumsområdene blir liggende under vann, se figur 25. Ingen av de tradisjonelle overvannstiltakene vil håndtere dette.

Resultatene fra overløpsanalysen viste en økning på ca. 100 % og 140 % i overløpsutslipp på to utvalgte overløp, henholdsvis OL7724 og OL7295 fra dagens scenario til fremtidens scenario og 60 % klimafaktor. I likhet med annen litteratur (Lindholm, Nie et al. 2007) viser dette resultatet også at en økning av havnivået og økning i nedbørsintensitet fører til en prosentvis mye større økning i utslipp fra overløp. Utslipet beskrevet i overløpsanalysen vil bidra til et mer forurenset havnebasseng.

10.2. Tiltak

Tiltak 1 er et selvfallssystem i Julie Eges gate, som er tilkoblet det eksisterende systemet. Beregningene for ulike dimensjoner og helninger viser at det ikke er mulig å dimensjonere et selvfallssystem, bestående av eggeformede rør, som har nok kapasitet til å håndtere situasjonen i år 2100. Et nytt overvannssystem med et rør på 800 mm og fall 1 ‰, lagt ned på middel spring lavvann i år 2100 fikk en kapasitet på 156 l/s. I kombinasjon med det eksisterende systemet ble kapasiteten beregnet til 406 l/s. Ved høyere vannføringer oppsto det oversvømmelse ved undergangen til jernbanen i Julie Eges gate. Avrenningsberegninger viser at det er nødvendig å ha en samlet kapasitet på 1927 l/s i år 2100. Ved å tillate en flom på 35 cm ved jernbaneundergangen økte kapasiteten på samme systemet til 742 l/s. En økning på ca. 85 %, men ikke nok til å ta unna 1927 l/s.

Selvrenseberegninger ved ulike delfyllingshøyder av rørtverrsnitt viser at det er vanskelig å oppnå det anbefalte kravet til VA MILJØBLAD nr. 79, som er på 3- 4 N/m² (Lindholm 2007), ved fall på 1 - 2 ‰. I følge rapporten, *Sjølvrensing og spyling av avløpsleidninger*, er et krav på 3- 4N/ m² noe konservativt (Berg 1988) og rapportens anbefalinger gjør det mulig å tilfredsstille kravet til selvrens. Se tabell 31. Skjærspenningsberegninger for rør med en effektiv tørrværsdiameter i bunn på D/3 viste en skjærspenningsøkning sammenlignet med sirkulære rør, men kun ved lave delfyllingshøyder (h/D < 1 for tørrværsrennen). Ut fra beregningene tilfredsstiller ikke rør med tørrværsrenne kravet til VA MILJØBLAD på 3- 4N/ m² (Lindholm 2007).

Tiltak 2 er et selvføllssystem kombinert med fordrøyning, pumping. Fordrøyningsmagasinet skal fordrøye det vannvolumet som selvføllssystemet ikke håndterer, se figur 45. Fordrøyningsvolumet ble beregnet til 1089 m³. Det vil være urealistisk å fordrøye et så stort volum i Julie Eges gate.

Tiltak 3 består av en nødpumpe som kobles inn ved et ved et forhåndsbestemt vannivå. Vannet pumpes direkte ut til havnebassenget, gjennom en egen ledning i Våggsgata. Pumpen som blir beskrevet i rapporten har evnen til å pumpe store vannmengder over lav løftehøyde. Kapasiteten til pumpen ble beregnet til 1200 l/s og har en løftehøyde lik 1 m. Med disse tallene kan en 20 års nedbørshendelse med klimafaktor 1,6 håndteres, forutsatt en liten oversvømmelse i gaten på 26 m³, eller det kan bygges et fordrøyningsmagasin med tilsvarende volum.

Tiltak 4 er et selvføllssystem i likhet med tiltak 1, men skal kun håndtere vannmengder nedstrøms av jernbanen. Avrenningsberegninger ga en dimensjonerende vannføring på 598 l/s med en klimafaktor på 1,6. Et sirkulært rør på 800 mm og 3 ‰ fall, gir en vannføring på 752 l/s. For å oppnå 3 ‰ fall på røret må bakkenivået heves oppstrøms i gaten. Ved å legge røret over MLSWS, MSL, eller MHWS blir oppstrøms høyde på bakkenivået henholdsvis 2,12 m, 2,35 m og 2,58 m. Beregningene viser at et slikt system kan fungere i år 2100 forutsatt at bakkenivået heves.

Det er også sett på andre tiltak som kan dempe, eller redusere vannmengden tilført systemet. Her er effekten av implementering av grønne tak i deler av nedslagsfeltet til Julie Eges gate beregnet. Det er tiltenkt grønne tak på de flate takene i området, noe som gav en reduksjon i avrenning på 14,4 %.

Det er sett på bærekraftige tiltak for å redusere eller dempe avrenningen fra nedslagsfeltet til Julie Eges gate. I likhet med mange andre byer i Norge, bør Sandnes fokusere på å dempe og begrense avrenningen i de urbane områdene. Slike tiltak vil avlaste ledningsnett, samt møte de fremtidige klimaendringene på en bærekraftig måte. Tiltakene som Peter Stahre omtaler i boka, *Sustainability in Urban Storm Drainage*, er tiltak som krever kreativ tenkning når det gjelder plassering og utforming. Mange av tiltakene er arealkrevende og krever masser med infiltrasjonsegenskaper. I Sandnes består sentrumsområdene av fyllmasser og de omkringliggende områdene av morenemasser, se figur 8. Morenemassene består av leire og sand. Leire er dårlig egnet for infiltrasjon, mens sand er godt egnet. En anbefaling til Sandnes kommune er derfor å kartlegge områder som er egnet for infiltrasjon, slik at bærekraftige tiltak kan planlegges og bygges.

10.3. Generelt

Beregningene som er utført i rapporten tyder på at fremtidsscenarioene med 0,98 meter havnivåøkning byr på store utfordringer. Analysene viser at det eksisterende systemet eller selvføllssystemene i tiltak 1 ikke kan hindre en flom i Julie Eges gate. Selv ved å tillate en oversvømmelse i gaten vil ikke selvføllssystemene håndtere vannmengdene. En mulighet er da ved pumping som beskrevet i tiltak 3. En annen mulighet er å heve bakkenivået betraktelig i de lavtliggende sentrumsområdene. Det innebærer at undergangene under jernbanen må stenges eller tillates oversvømt under ekstremhendelser.

Fremtidens stormflo vil ikke være håndterbar ved noen av de tradisjonelle overvannsløsningene. Slik Sandes er i dag, vil hele sentrumsområdet bli liggende under vann, se figur 25. Stormfloen er ventet å bli 2,04 meter over NN1954. For å håndtere denne situasjon kreves det ekstreme tiltak. Eksempelvis heving av de lave områdene til over kt. 2,04m, flytte byen, eller løsninger basert på diker.

Referanser

Berg, A. (1988). Sjølvrensing og spyling av avløpsleidningar. Brukerrapport. Oslo, NTNF. **9/88**: XVII, 109 s.

Bergen-kommune (2005). Retningslinjer for overvannsåndtering i Bergen kommune, Bergen Kommune.

Butler, D. and J. W. Davies (2011). Urban drainage. London, Spon Press.

DHI (2011, a). MIKE URBAN MODEL MANAGER, User Guide, MIKE by DHI.

DHI (2011, b). Runoff, Reference Manual, MIKE by DHI.

DHI (2011, c). Rainfall Dependent Inflow and Infiltration, Reference Manual, MIKE by DHI.

DHI (2011, d). Pipe Flow, Reference Manual, MIKE by DHI.

DHI (2011, e). Biological Processes, Reference Manual, MIKE by DHI.

DHI (2011, f). Pollution Transport, Reference Manual, MIKE by DHI.

DHI (2011, g). MIKE URBAN COLLECTION SYSTEM, MIKE by DHI.

Drange, H., B. Marzeion, et al. (2007). "Opptil én meter havstigning langs Norskekysten innen år 2100." Cicerone.

eKlima (2012). "Meteorologisk data." Retrieved 27.05, 2012, from www.eklima.no.

Flygt (2012). "Horisontale propellpumper." Retrieved 27.05, 2012, from <http://www.flygt.com/en-us/Mixing/Products/Flygt-compact-mixers-4600-series/Pages/4680.aspx>.

Gjensidige (2012). "Klimaendring gir flere vannskader." Retrieved 27.05, 2012, from <http://gjensidige.com/web/Forsiden/Samfunnsansvar/Klimaendring+og+erstatninger>.

Hafskjold, L. S. (2003). Vurdering av fordeler og ulemper ved "alternative" rørsnitt for betongrør. Trondheim, SINTEF. **66399487**.

Hägglström, S. (2006). Hydraulik för V-teknologer. Göteborg, Institutionen för bygg och miljöteknik Chalmers tekniska högskola.

Holvik, I. S. (2010). Impact of storm water runoff from climate change. Example study in Sandnes, Norway. Department of Hydraulic and Environmental Engineering. Trondheim, Norway, NTNU, Norwegian University of Science and Thechnology. **Master's thesis**.

Kaasgaard, M., K. Friis, et al. (2007). En kogeboeg for analyser af klimaændringers effekter på afløbssystemer - med fokus på oversvømmelser. Denmark, DANVA.

Kartverket (2012). "Vanstands nivå - Stavanger." Retrieved 27.05, 2012, from http://vannstand.no/index.php/tidevannsdatabas/index.php?option=com_content&view=article&Itemid=97&id=162%3Atidevannsniva-stavanger.

Larm, T. (2012). "Standard concentrations for storm water and base flow." Retrieved 27.05, 2012, from <http://www.stormtac.com/StormTacData.php>.

Lindholm, O. (1978). "Konstruksjon og bruk av nedbørhyetogrammer." VANN nr. 2 1978

Lindholm, O. (2007). Dimensjonering av avløpsledninger. Selvrensing. . Nr. 79. M. Blad, VA/Miljøblad.

Lindholm, O. (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. Norsk Vann rapport. Hamar, Norsk Vann BA. **162, 2008**: 79 s.

Lindholm, O., L. Nie, et al. (2007). Klimaeffektens betydning for oppstuvninger og forurensningsutslipp fra avløpssystemer i byer. IMT-rapport. Ås, Instituttet. **Nr 16/2007**: 77 s.

Mark, D. O. and D. J. J. Linde (2006). Afløbssystemer under påvirkning af klimaændringer. Denmark, Miljøministeriet, Miljøstyrelsen. **1123, 2006**.

met.no (2012). "Metainformasjon." from www.met.no.

NGU (2012). "Løsmasser, Nasjonal løsmassedatabase." Retrieved 27.05, 2012, from <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>.

Nie, L., P. Li, et al. (2012). Modelling Climate Change and Urbanization Impacts on Urban Stormwater and Adoption Capacity.

Olsson, J., K. Berggren, et al. (2007). Applying Climate Model Precipitation Scenarios for Urban Hydrological Assessment, Luleå University of Technology.

RegClim (2002). Mer variabelt vær om 50 år. Mer viten om usikkerheter.

RIF (2010). State of the Nation. Oslo, Rådgivende Ingeniørers Forening.

Sandnes-kommune (2012). "Sandnes i tall." Retrieved 27.05, 2012, from <https://www.sandnes.kommune.no/Globalmeny/Om-Sandnes/Om-Sandnes/Sandnes-i-tall/>.

Seehusen, J. (2010). Grønn flomsikring. Teknisk Ukeblad.

SFT (2007). Veiledning om mulige tiltak i avløpsanlegg, SFT: Statens Forurensningstilsyn.

Skjæveland, C. (2012). "Basal Qmax-V." Retrieved 27.05, 2012, from <http://www.skjæveland.no/article.php?articleID=470&categoryID=406>.

Sømme, J. S. (2003). "Sandnes havn fra 1818 til i dag." Retrieved 27.05, 2012, from <http://www.sandnes2160.no/historie/glimt-fra-historien/havnen-fra-1818-til-idag/>.

Stahre, P. (2006). Sustainability in urban storm drainage: planning and examples. Stockholm, Svenskt vatten.

Statnett (2008). "Laserskanning med fly." Retrieved 28.05, 2012, from <http://www.statnett.no/no/Prosjekter/VR-modellerdoc/>.

Thorolfsson, S. T. (2011). Overvannsteknologi: EEU-kurs (VM6002) Overvanns- og ledningsteknologi : fra rør til areal : mot mer bærekraftig overvannshåndtering. [Trondheim], NTNU. Institutt for vann og miljøteknikk.

Trondheim-kommune (2007). Beregning av overvannsmengde og dimensjonering av ledning. VA-Norm. Trondheim.