

FORSLAG TIL TILTAK FOR Å LØSE OVERVANNS- UTFORDRINGENE I VEUMFELTET, FREDRIKSTAD

PROPOSED MEASURES OF STORM WATER CHALLENGES IN THE VEUM FIELD, FREDRIKSTAD

TORBJØRN LOTHE VIK

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITTENSKAP
INSTITUTT FOR MATEMATISKE REALFAG OG TEKNOLOGI (IMT)
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2012



Forord

Jeg jobber til daglig i Brødrene Dahl og er utdannet ingeniør og økonom. For noen år siden bestemte jeg meg for å ta mer utdanning innen fagområdet vann- og miljøteknikk. Hvilket resulterte i at jeg begynte på UMB høsten 2008 og skriver nå min masteroppgave.

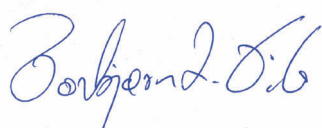
I denne oppgaven har jeg sett på alternative løsninger for overvannshåndtering i Veumfeltet. Veumfeltet er et stort byggefelt som ligger sentralt i Fredrikstad kommune. Jeg skal se på feltet basert på at det blir videre utbygget. Veumfeltet er et typisk norsk felt med fjell omkring, jordbruk inntil fjellene og med hoved bebyggelse på det laveste punktet nærmest resipienten som i dette tilfelle er Glomma. Det vil si at store deler nedbør og snøsmelting etc. må renne gjennom dette feltet for og komme frem til Glomma.

Jeg vil gjerne få takke Brødrene Dahl ved adm. direktør Arne-Erik Olsen som har latt meg få lov til å ta denne videreutdannelsen. Jeg vil også takke følgende personer for hjelp med oppgaven.:

- UMB, ved professor Oddvar G. Lindholm.
- UMB, ved Institutt leder og førsteamanuensis, Jarle T. Bjerkholt.
- ROSIM ved Styreleder Geir J. Lindholm og Seniorrådgiver Hilde L.N. Aas.
- Fredrikstad kommune ved Ole Petter Skallebakke.
- Daglig leder Tomas Eidsmo i DHI for gratis lån av Mike Urban.
- Bransje- og studentkollegaer.

Helt til slutt vil jeg takke min kone Marianne Lothe Vik som har vært tålmodig med meg i denne fire års perioden. Når det gjelder tiden fra desember 2011 til 15. mai 2012 (masteroppgavetiden) følte jeg det som en meget lang eksamensperiode hvor tankene om oppgaven surret rundt i hodet mitt natt og dag.

Oslo, 14. mai 2012



Torbjørn Lothe Vik

Innholdsfortegnelse

Forord	3
Figurliste	7
Tabellsider	9
Formelsider	10
Sammendrag	11
English summary	12
Kapittel 1. Innledning	13
1.1 Overvanns- og VA-historie i Fredrikstad.....	13
1.2 Bakgrunn og tema for oppgaven	15
1.3 Klimaeffekten.....	15
1.3.1 Høyere havnivå	15
1.3.2 Landheving	16
1.4 Miljø.....	18
1.4.1 Dagens boligbygging og forventninger	20
1.5 Problemstilling	22
Kapittel 2. Beskrivelse av området	23
2.1 Type område	23
2.2 Grunnforhold	25
Kapittel 3. Teori	26
3.1 Exflood	26
3.2 Avrenningskoeffisienter	27
3.3 Flomveier	29
3.4 Plantevalg og vegetasjonstype.....	29
Kapittel 4. Metoder	31
4.1 Kapasitetsanalyse basert på dagens løsninger	31
4.2 Kjøring av regn	32
4.3 Klimascenarioer.....	32
4.4 ROSIE	32

Kapittel 5. Produkter og produktløsninger	36
5.1 Sirkulære rør	36
5.2 Eggformede rør	37
5.3 Kummer med tilbakeslag	40
5.4 Produktløsninger	40
5.5 Pumper.....	41
5.6 Fordrøyningsmagasiner	42
5.7 Grønne tak	42
Kapittel 6. Tiltak og kostnader for overvannshåndtering	43
6.1 Begrensinger	43
6.2 Tiltak per problemområde i rørsystemet.....	44
6.3 Kostnader for tiltak per problemområde og totalt i rørsystemet.....	63
6.4 Tiltak mot overvannproblemene over bakken.....	67
6.4.1 Beregninger av fordrøyningsmagasiner	76
6.4.2 Tiltak for alle delfeltene	84
6.5 Kostnader for tiltak per problemområder over bakken per sted og totalt	90
6.6 Nåverdi.....	91
Kapittel 7. Diskusjon og konklusjon	95
7.1 Diskusjon	95
7.2 Konklusjon	96
Kapittel 8. Vedlegg	97
Vedlegg 1. Liste over personer som er med i ExFlood-prosjektet.....	97
Vedlegg 2. Q-Bic (Wavin 2007).....	100
Vedlegg 3 Grønne tak er effektiv klimatilpasning (Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap 2010)	103
Vedlegg 4 Forklaringer (Lindholm O. et al. 2012).....	105
Kapittel 9: Litteraturliste	110

Figurliste

Figur 1: Viser en skisse av et fellessystem (Winnipeg 1996-2012a).....	13
Figur 2: Viser en skisse av et separatsystem (Winnipeg 1996-2012b).....	14
Figur 3: Viser en enkel skisse på lokal overvannshåndtering. (Makeover 2012).....	14
Figur 4: Viser endringen av den globale gjennomsnittstemperaturen siden 1880 (NASA 2012).....	15
Figur 5: Viser nye tall for global havstigning.(University of Colorado 2012)	16
Figur 6: Viser landhevning i nordvestre hjørne av Europa i mm per år.(Havnivå 2009)	17
Figur 7: Viser et eksempel på regjeringens ønske om fremtidens byer. (Foto: Svein M. Fredriksen)..	18
Figur 8: Viser et bilde fra Fredrikstad 2008. (Foto: Geir A. Carlsson ,FB)	22
Figur 9: Viser et bilde fra Fredrikstad sentrum 31. juli 2009. (Foto: Fredrikstad Blad)	22
Figur 10: Områdeklassifisering (Fredrikstad kommune 2012)	23
Figur 11: Evja, den tidligere Veumbekken er merket blått. (Fredrikstad Blad 2009).....	24
Figur 12: Viser et maleri av Evja slik det var før den ble lagt i kulvert. (Maleri: Arne Orme)	25
Figur 13: Viser en prinsippskisse av vannets kretsløp.(USGS 2012)	27
Figur 14: Viser treleddsstrategi for håndtering av nedbør.(Lindholm O. et al. 2009)	28
Figur 15: Viser et eksempel på hva som har skjedd med bekkene i Østfold fra 1790 til 1980.(Hauge A. et al. 2006).....	29
Figur 16: Viser oversikt over hele Veumfeltet før og etter tiltak. Problemområdene er merket i gult....	31
Figur 17: Viser en prinsippskisse for NIVUS måler.(Nivus 2012).....	33
Figur 18: Viser et eksempel på utskrift fra en analyse foretatt med ROSIE.....	35
Figur 19: Viser et bilde og skisse av det sirkulære røret jeg har foreslått (Wavin).....	36
Figur 20: Viser et eksempel på eggformede rør i GRP.(Amiantit 2011)	37
Figur 21: Viser et bilde av et profilrør.(Uponor 2012)	39
Figur 22: Viser bilde av kum med tilbakeslagsventil, Type WaBack WS.(MFT 2012)	40
Figur 23: Viser løsning med eggformede rør og WaBack-kummen med alarm (ill.: Torbjørn L. Vik) ...	40
Figur 24: Viser en Grundfos KPL-pumpe samt en løsning.(Grundfos)	41
Figur 25: Viser to forskjellige fordrøyningsmagasiner.(Wavin 2007) og (Hausberg J. 2012a)	42
Figur 26: Viser et tenkt eksempel på grønne tak.(Worldchanging 2009)	42
Figur 27: Viser Veumfeltet og de forskjellige grunnkretsene.....	45
Figur 28: Viser problemområde 1 i grunnkrets Veum øverst i feltet før tiltak.	46
Figur 29: Viser problemområde 1 i grunnkrets Veum øverst i feltet etter tiltak.	46
Figur 30: Viser problemområde 2 i grunnkrets Ambjørnrød/Krabberød før tiltak.....	47
Figur 31: Viser problemområde 2 i grunnkrets Ambjørnrød/Krabberød etter tiltak.	47
Figur 32: Viser problemområde 3-4 i grunnkrets Ambjørnrød -Krabberød Syd-Grønnerød før tiltak. ...	48
Figur 33: Viser problemområde 3- 4 i grunnkrets Ambjørnrød-Krabberød Syd-Brønnerød etter tiltak. ...	48
Figur 34: Viser problemområde 5 i grunnkrets Oredalen før tiltak.	49
Figur 35: Viser problemområde 5 i grunnkrets Oredalen etter tiltak.	49
Figur 36: Viser problemområde 6 i grunnkrets Sandbæk før tiltak.....	50
Figur 37: Viser problemområde 6 i grunnkrets Sandbæk etter tiltak.....	50

Figur 38: Viser problemområde 7 i grunnkrets Oredalen før tiltak.	51
Figur 39: Viser problemområde 7 i grunnkrets Oredalen etter tiltak.	51
Figur 40: Viser problemområde 8 i grunnkrets Sandbæk/Christianslund før tiltak.....	52
Figur 41: Viser problem område 8 i grunnkrets Sandbæk/Christianslund etter tiltak.....	52
Figur 42: Viser problemområde 9 i grunnkrets Christianslund 1 før tiltak.	54
Figur 43: Viser problemområde 9 i grunnkrets Christianslund 1 etter tiltak.	54
Figur 44: Viser problemområde 10 i grunnkrets Christianslund 2 før tiltak.	55
Figur 45: Viser problemområde 10 i grunnkrets Christianslund 2 etter tiltak.	55
Figur 46: Viser problemområde 11 i grunnkrets Trosvik før tiltak.	56
Figur 47: Viser problemområde 11 i grunnkrets Trosvik etter tiltak.	56
Figur 48: Viser problemområde 12 i grunnkrets Christianslund 3 før tiltak.	57
Figur 49: Viser problemområde 12 i grunnkrets Christianslund 3 etter tiltak.	57
Figur 50: Viser problemområde 13 i grunnkrets Kniple før tiltak.	58
Figur 51: Viser problemområde 13 i grunnkrets Kniple etter tiltak.	58
Figur 52: Viser problemområde 14 i grunnkrets Skrellen/Lia før tiltak.	59
Figur 53: Viser problemområde 14 i grunnkrets Skrellen/Lia etter tiltak.	59
Figur 54: Viser problemområde 15 i grunnkrets Sandbæk før tiltak.	60
Figur 55: Viser problemområde 15 i grunnkrets Sandbæk etter tiltak.....	60
Figur 56: Viser problemområde 16 i grunnkrets Trosvik-Christianslund før tiltak.	61
Figur 57: Viser problemområde 16 i grunnkrets Trosvik-Christianslund etter tiltak.	61
Figur 58: Viser problemområde 17 i grunnkrets Trosvik-Christianslund før tiltak.	62
Figur 59: Viser problemområde 17 i grunnkrets Trosvik-Christianslund etter tiltak.	62
Figur 60: Viser en oversikt over rør og grøftekostnader.(Thorolfsson S. 2007).....	66
Figur 61: Erstatningsutbetaling for spillvann vs. overvann. (Schilling W. et al. 2004).....	67
Figur 62: Viser en nedbørskurve for Fredrikstad 0 til 60 min.(Fredrikstad kommune 2008).....	68
Figur 63: Viser en nedbørskurve for Fredrikstad 60 til 360 min. (Fredrikstad kommune 2008).....	68
Figur 64: Viser et bilde av øvre dei i Veumfeltet sett mot syd. (Foto: Torbjørn Lothe Vik)	69
Figur 65: Viser en oversikt over øvre del i Veumfeltet, delfelt 1.(Finn kart 2012)	70
Figur 66: Viser en oversikt over nest øvre del i Veumfeltet delfelt 2.(Finn kart 2012)	70
Figur 67: Viser en oversikt nedre del av Veumfeltet delfelt 3.(Finn kart 2012)	71
Figur 68: Viser et eksempel på innløpshydrogram og utløpshydrogram etter Aron og Kibler. (Lindholm O. 2006).....	75
Figur 69: Viser bilde av Evenrødveien RV 381 i 2008 sett mot nord. (Foto: Fredrikstad Blad)	76
Figur 70: Viser hvor Veumbekken bør utvides.(Finn kart 2012).....	86
Figur 71: Viser plassering av fordrøyningsmagasin i nedre del av Veumfeltet i delfelt 3 med pumpestasjon.(Finn kart 2012).....	88
Figur 72: Viser et bilde fra Veumbekken ved overgang fra åpen bekk til kulvert. (Foto: Torbjørn Lothe Vik 2012).....	88
Figur 73: Viser et eksempel på Veumbekken gjenåpnet. (Dilling C. 2012).....	89
Figur 74: Viser et bilde av Veumbekken. (Foto: Torbjørn Lothe Vik)	94

Tabellsider

Tabell 1: Viser en oversikt over landhevning vs havstigning, men det er store usikkerheter for Norge(Lindholm O. et al. 2009)	19
Tabell 2: Viser en oversikt over landhevning vs havstigning, men det er store usikkerheter spesielt for Fredrikstad (Fredrikstad Kommune Plan 2011-2023 2011)	20
Tabell 3: Viser en oversikt over boligbygging 2000-2009 samt forventninger frem til 2023 i Fredrikstad kommune. (Fredrikstad Kommune Plan 2011-2023 2011)	20
Tabell 4: Viser en oversikt over dagens befolkning og forventninger frem til 2023 i Veumfeltet.	21
Tabell 5: Viser avrenningskoeffisienter for forskjellige områdetyper(Lindholm O. et al. 2012)	27
Tabell 6: Avrenningskoeffisienter for telefri grunn i naturlige områder.(SVV 2005)	28
Tabell 7: Maksimale avrenningskoeffisienter for noen flate typer(Lindholm O. et al. 2012)	28
Tabell 8: Viser dimensjoner og teknisk info sirkulære rør.(Wavin 2005).....	36
Tabell 9: Viser en dimensjonsoversikt på de sirkulære rørene som er valgt (Wavin 2005)	37
Tabell 10: Viser en dimensjonsoversikt på de eggformede rørene som er valgt. (Amiantit 2011)	38
Tabell 11: Viser en dimensjonsoversikt på sirkulære profilrør.(Uponor 2012)	39
Tabell 12: Viser en oversikt over minimumskrav til høyde mellom åpent sluk og kjellergulv i perioden 1909 og frem til i dag.(Lindholm O. et al. 2009)	44
Tabell 13: Viser kostnader per tiltak 1 til 6.	63
Tabell 14: Viser kostnader per tiltak 7 til 12.	64
Tabell 15: Viser kostnader per tiltak 13 til 17.	65
Tabell 16: Viser de totale kostnadene samt berørte hus.....	66
Tabell 17: Viser de forskjellige delfeltene med splittet areal.	73
Tabell 18: Viser de midlere avrenningskoeffisienter ϕ per delfelt ref. formel 3.....	73
Tabell 19: Viser tiden for dimensjonerende regnvarighet ref. formel 4.	74
Tabell 20: Viser vannmengden Q i feltet ref. formel 4.	74
Tabell 21: Viser vannmengde Q i feltene med avrenningskoeffisient 1.	74
Tabell 22: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) i delfelt 1 ved avrenningskoeffisient 0,30. .	77
Tabell 23: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) i delfelt 1 ved avrenningskoeffisient 1.	78
Tabell 24: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) i delfelt 2 ved avrenningskoeffisient 0,33. .	78
Tabell 25: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) i delfelt 2 ved avrenningskoeffisient 1.	79
Tabell 26: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) i delfelt 1 og 2 ved avrenningskoeffisient 0,33.....	80
Tabell 27: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) i delfelt 1 og 2 ved avrenningskoeffisient 0,33.....	80
Tabell 28: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) i delfelt 3 ved avrenningskoeffisient 0,34. .	81
Tabell 29: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) i delfelt 3 ved avrenningskoeffisient 1,0. ...	82
Tabell 30: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) for alle 3 delfeltene ved avrenningskoeffisient 0,32.....	82
Tabell 31: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) for alle 3 delfeltene ved avrenningskoeffisient 0,7.....	83

Tabell 32: Viser delfelt 1 etter tiltak men med avrenningskoeffisient 1	84
Tabell 33: Viser delfelt 1 og 2 etter tiltak men med avrenningskoeffisient 0,8	85
Tabell 34: Viser delfelt 1, 2 og 3 etter tiltak men med avrenningskoeffisient 0,7	87
Tabell 35: Viser en kostnadsoversikt på problemområder over bakken	90
Tabell 36: Viser nåverdiutregningen av forslåtte tiltak for rør.....	91
Tabell 37: Viser nåverdiutregningen av forslåtte tiltak over bakken.....	92
Tabell 38: Viser nåverdiutregningen av forslåtte tiltak for rør og tiltak over bakken.	92

Formelsider

Formel 1: Viser hydraulisk kalkulasjon av eggformede rør.(Hausberg J. 2012b)	38
Formel 2: Midlere avrenningskoeffisient ved flere delfelt	71
Formel 3: Dimensjonerende regnvarighet	71
Formel 4: Den rasjonelle metoden	72
Formel 5: Viser formel for arealbehov ved en gitt væskemengde og en gitt fart.	72
Formel 6: Areal til en sirkel	72
Formel 7: Viser hvordan man beregner tilløpsvolumet	75
Formel 8: Viser hvordan man beregner utløpsmengden.....	75
Formel 9: Viser hvordan man beregner nødvendig fordrøyningsvolum (magasin).....	75
Formel 10: Viser formelen for nåverdien	91

Sammendrag

Veumfeltet er et område i Fredrikstad med svært store problemer med hensyn til overvann, hvilket skjedde så sent som i både 2008 og 2009. De forventede klimaendringene gjør ikke denne situasjonen noe bedre.

I denne oppgaven skal jeg komme med forslag til å løse overvannsutfordringer. Jeg skal se på både de rørtekniske utfordringene samt problemene som skjer direkte over bakken. Oppgaven er en del av Exflood-prosjektet og vil bli brukt i resultatrapporteringen til Norges forskningsråd. Exflood står for Extreme weather in small catchments: new method for flood protection.

Verktøyet som er brukt på rørnettanalysene heter ROSIE. Det er et modelleringsprogram for vann- og avløpsnett basert på ArcGIS-plattformen. Programmet påviser hvor det vil oppstå problemer og hvilke kjellere som kan bli fylt med kloakk og overvann.

I tillegg til kjellerskader blir det også skader på veier, gangveier, rekreasjonsanlegg, strømbrudd, VA-ledninger som skades og mange andre ulemper. Jeg vil derfor også se på tiltak som vil løse denne delen av problemet.

Begge tiltakene skal kostnadsberegnes og det skal gjøres nåverdi-vurderinger.

Ved å investere kr 39,8 millioner i 2013 sparer man i nominelle kroner 518,7 mill. hvis man legger til grunn 5 skadetilfeller i løpet av en 90-årsperiode regnet fra 2008. Dette gir en akkumulert nåverdi på kr 94,3 mill, og en internrente på 9,1 %.

De vil også unngå oversvømte kjeller ved et 50 års regn med 50 % klimatillegg.

Videre vil de få kontroll på de enorme vannmassene over bakken slik situasjonen var i 2008 og 2009. De foreslåtte tiltak over bakke vil tåle et 100 års vinterregn med 40 % klimatillegg selv med is på jordene.

English summary

The Veum field is an area in Fredrikstad having extensive problems with storm water challenges, and the last problems occurred as recent as in 2008 and 2009. The expected climate changes make this matter even more challenging.

This research paper will discuss solutions solving the storm water challenges. I will look at both the pipe technology challenges as well as what happens directly above ground. This paper is part of the Exflood-project, and will be included in the report of to the Norwegian Research council. Exflood stands for Extreme weather in small catchments: new method for flood protection.

The tool used to analyze the pipework is named ROSIE. ROSIE is a modeling program for water and sewer system based on the ArcGIS platform.

This program detects where problems are likely to occur, which can then lead to basements being filled with sewage and storm water.

In addition to basement damages, it is also proved to destruct roads, pavements, recreational facilities, power outage, pipelines, as well as a numerous of other disadvantages. Therefore, I will also examine measures to solve this part of the problem.

Both measures will be cost calculated and a present value valuation.

By investing NOK 39.8 million in 2013, saving in nominal NOK 518.7 million, if one considers 5 damage cases during a 90-year period from 2008. This gives a cumulative present value NOK 94.3 million, giving an internal rate of return of 9.1%.

They will also avoid the flooded basement of a 50-year rain with 50% climatic addition.

Moreover, they will gain control of the vast waters above the ground that situation in 2008 and 2009. The measures proposed above ground will withstand a 100 year winter rain with 40 % climatic addition, even with ice on the fields.

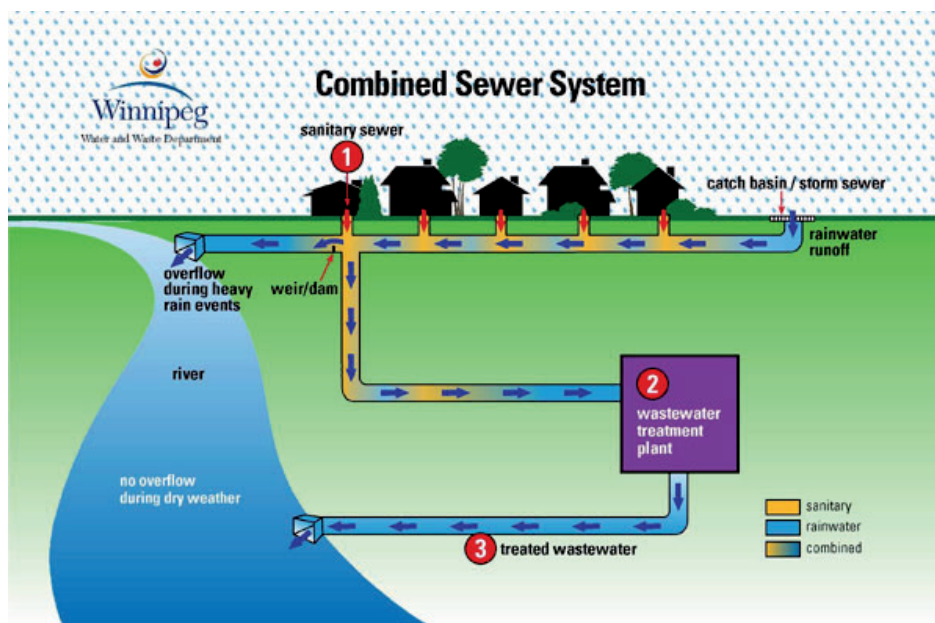
Kapittel 1. Innledning

1.1 Overvanns- og VA-historie i Fredrikstad

Overvannsløsningene i Fredrikstad har i likhet med de fleste andre norske kommuner vært basert på å lede vannet rasket mulig bort i lukkede ledningssystemer til nærmeste resipient. Den voksende urbaniseringen samt klimaendringene har ført til at overflateavrenningen har økt betydelig. Dette har medført at det eksisterende ledningsnett ikke har stor nok kapasitet til å ta unna det aktuelle spill- og overvannet som kommer under ekstreme forhold.

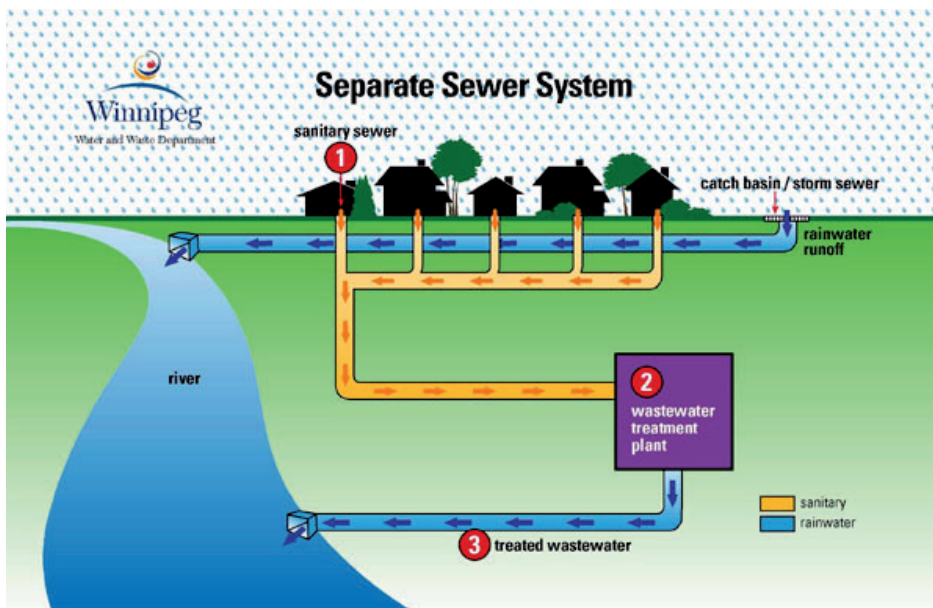
En stor del av den eksisterende VA-strukturen i Fredrikstad er basert på felles systemer. Kloakk, drens- og overvann føres i det samme røret, hvilket betyr at alt føres til rensanlegget. Det andre konvensjonelle systemet er separatsystem hvor kloakk føres i et rør mens drens- og overvann føres i et annet rør. Dette vannet kan da føres rett til resipienten utenom rensanlegget.

Fellessystem var en vanlig løsning før det på 1970-tallet ble begynte å bygge rensanlegg for å rens kloakk.

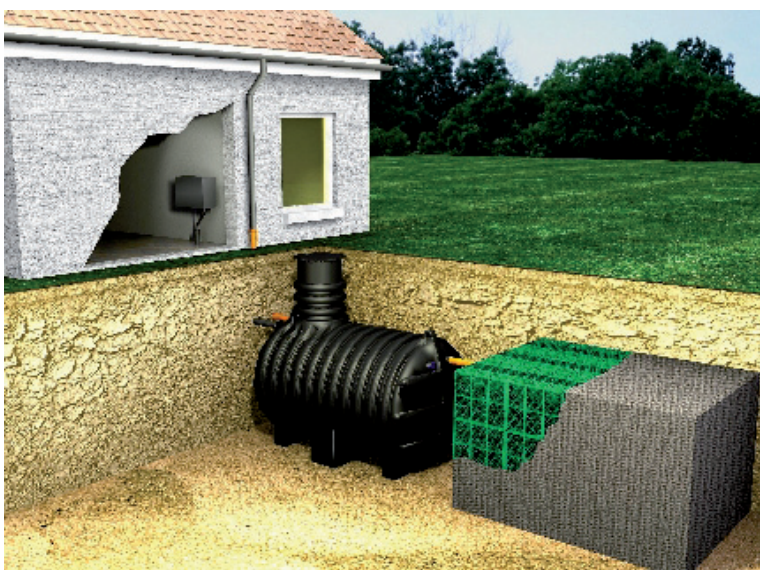


Figur 1: Viser en skisse av et fellessystem (Winnipeg 1996-2012a)

I dag hvor det stilles krav til rensing av kloakken er ikke denne løsningen særlig god da rensanlegget må overdimensjoneres. Videre vil ikke rensanleggene ha tilstrekkelig kapasitet ved store nedbørsmengder. Dette innebærer at hele "blandingen" går i overløp, noe som er svært uheldig, blant annet av hygieniske årsaker. Regnvannsoverløp medfører at kloakken går rett i resipientene urensset. Overløpet er ofte i nærheten av badestrender og andre sårbare områder. Hovedresipienten i Fredrikstad kommune er Glomma. Det finnes også noen mindre resipienter som Seutelva, Veumbekken og Oldenborgbekken.



Figur 2: Viser en skisse av et separatsystem (Winnipeg 1996-2012b)



Figur 3: Viser en enkel skisse på lokal overvannshåndtering. (Makeover 2012)

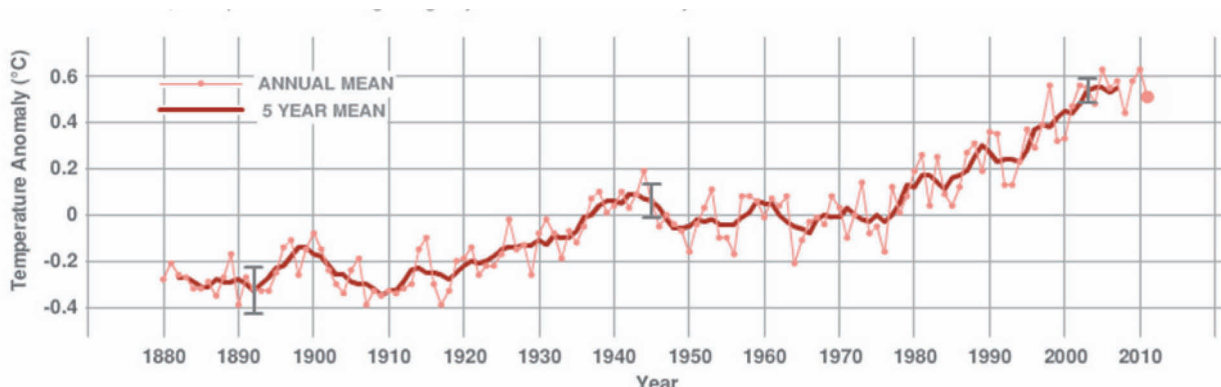
1.2 Bakgrunn og tema for oppgaven

Beboerne i Veumfeltet har i de siste årene vært utsatt for ekstremt store nedbørsmengder i løpet av meget kort tid. Dette har ført til at store områder har stått under vann og mange har fått sine kjellere fylt med overvann og kloakk. Hele Veumfeltet er av kommunen beskrevet som et område med omfattende overvannsproblemer.

Jeg vil komme med forslag til ulike tiltak som kan bedre denne situasjonen, og beregne kostnadene som er forbundet med dette.

1.3 Klimaeffekten

Den globale lufttemperaturen ved klodens overflate økte med 0,56- 0,92 °C de siste 100 årene, dette slår FNs klimapanel fast i sin fjerde hovedrapport. De hevder videre med mer enn 66 % sikkerhet at temperaturen vil øke med mellom 1,1°C til 6,4 °C i løpet av de neste 100 årene.(FN-Sambandet 2012)



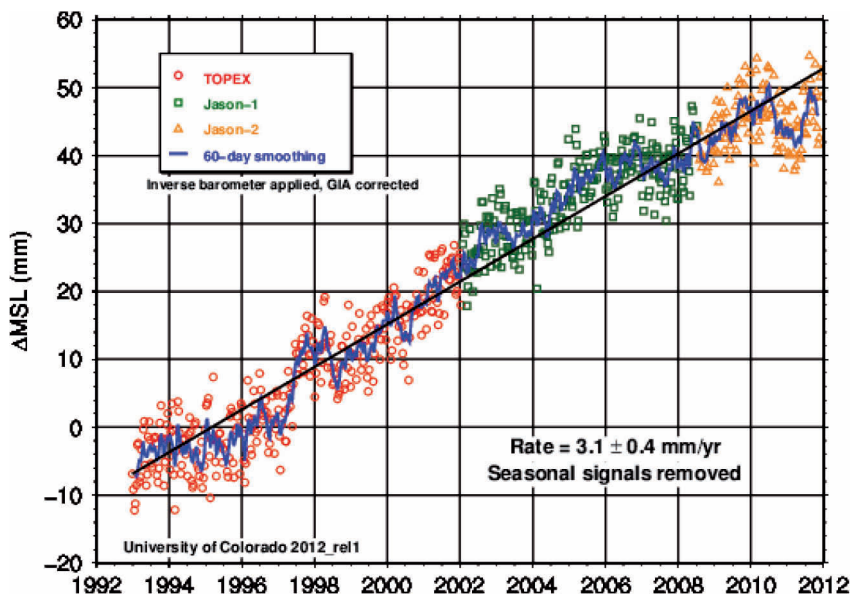
Figur 4: Viser endringen av den globale gjennomsnittstemperaturen siden 1880 (NASA 2012)

1.3.1 Høyere havnivå

Økning i den globale temperaturen vil ha en rekke konsekvenser. Dette vil blant annet føre til høyere havnivå og endringer i klodens nedbørsmønster, herunder trolig utvidete områder med subtropisk ørken. Oppvarmingen forventes å være størst i Arktis, noe som vil gi reduksjon i sjøis, breis og permafrost.

I løpet av 1900-tallet har havet steget med 17 cm, ifølge forskere i FNs klimapanel. Havet vil stige 19-58 cm fram til år 2100, hevder de samme forskerne.

Klimaforsker Eystein Jansen, som er professor og direktør ved Bjerknes senteret i Bergen, tror klimaendringene fører til at havet utenfor Sør- og Vest-Norge vil stige med 0,8 meter i dette århundret. Havnivået kommer til å stige ulikt på forskjellige steder rundt om i verden. I norske farvann kommer havet til å stige aller mest fra Agder i sør til Stad i nord. (Øyene 2007)



Figur 5: Viser nye tall for global havstigning.(University of Colorado 2012)

1.3.2 Landheving

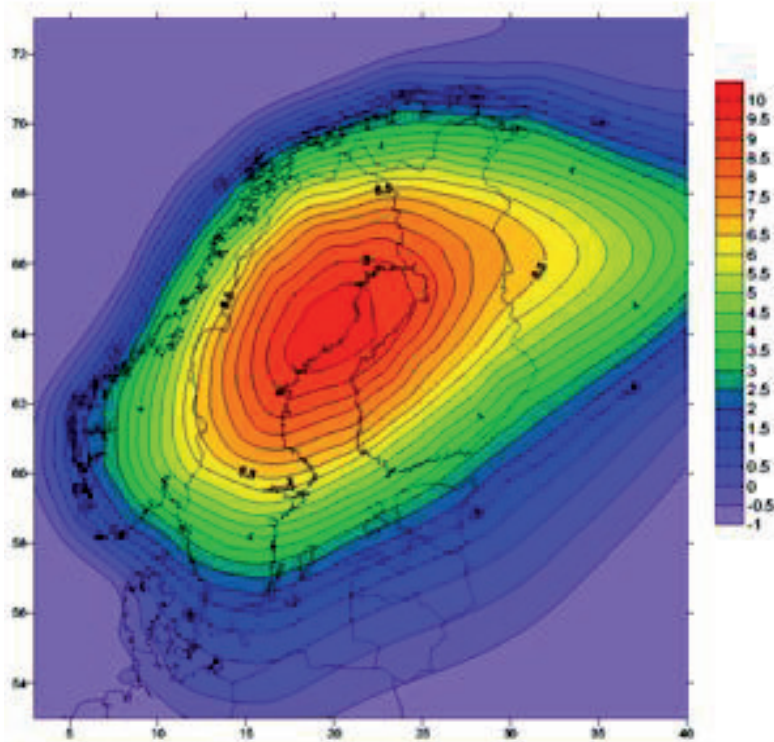
“Den viktigste årsaken til landheving i Skandinavia er såkalt "Post Glacial Rebound". Under siste istid dekket store ismasser både Skandinavia og Nord- Amerika, noe som presset landmassene ned. Da isen forsvant begynte landet å stige. I Skandinavia er denne landhevingen størst innerst i Bottenviken med over 10 millimeter per år. I Norge er den høyeste landhevingen i Trysilområdet med ca 6,5 millimeter i året. Innerst i Oslofjorden og Trondheimsfjorden er den opptil 5 millimeter i året. Enkelte steder langs vestlandskysten er landhevingen nesten fraværende.

Dette er landheving målt i forhold til jordens sentrum. Mange tenker på landheving som landheving i forhold til kysten. I mange sammenhenger, spesielt i forbindelse med klima og havnivåendringer er det viktig å forstå denne forskjellen. Forskjellen på landheving i forhold til jordens sentrum og landheving i forhold til kysten er omtrent

1.5 millimeter per år. Dette skyldes at i den periode vi bruker for å beregne havnivå i forhold til kysten har også havnivået økt med litt over 1.5 millimeter per år.

Det viktigste redskapet vi har for å måle jordskorpebevegelse er GPS. Et globalt nettverk av kontinuerlig målende GPS-mottakere bestemmer jordens bevegelser med en nøyaktighet bedre enn 1 millimeter i året. Statens kartverk har i dag et nettverk av over 100 slike GPS-stasjoner. Disse sammen med det globale nettverket gjør oss i stand til en nøyaktig beskrivelse av landhevingen i Norge.

Til nå har vi bare sett på landheving som skyldes isen som smeltet på slutten av forrige istid, men også andre årsaker kan være til stede. For eksempel vil smelting av isbreer og is kapper i dag føre til en lokal landheving, mens for eksempel sedimentasjon og utpumping av grunnvann kan føre til innsynking av land og i enkelte områder forsterke effekten av havnivå endringer.” (Sitat: Statens Kartverk, Halfdan Pascal Kierulf, 15.12.2009)



Figur 6: Viser landheving i nordvestre hjørne av Europa i mm per år.(Havnivå 2009)

1.4 Miljø

Det overordnede ansvaret for regjeringens miljøpolitikk ligger hos Miljøverndepartementet. Departementet har satt opp fire hovedsatsningsområder som framtidsbyene skal bruke som rettesnor i sitt arbeid med å bli mer miljøvennlige.

- Arealbruk og transport
- Stasjonær energibruk i bygg
- Forbruksmønster og avfall
- Tilpasning til klimaendringer

De 13 største byene i Norge har inngått et samarbeid med staten for å redusere klimautslippene – og gjøre byen bedre å bo i. Programmet startet i 2008 og skal vare frem til 2014.

De 13 byene er:

Fredrikstad, Oslo, Sarpsborg, Bærum, Drammen, Porsgrunn, Skien, Kristiansand, Stavanger, Bergen, Trondheim, Tromsø og Sandnes



Figur 7: Viser et eksempel på regjeringens ønske om fremtidens byer. (Foto: Svein M. Fredriksen)

Tabell 1: Viser en oversikt over landhevning vs havstigning, men det er store usikkerheter for Norge(Lindholm O. et al. 2009)

By	År 2050				År 2100			
	Land- hevning (cm)	Midlere havstigning (cm)			Land- hevning (cm)	Midlere havstigning (cm)		
		A2	A1B	B1		A2	A1B	B1
Arendal	12	19	21	19	24	66	64	52
Bergen	8	23	25	23	17	73	72	60
Bodø	18	14	15	13	36	54	53	41
Drammen	22	10	11	9	43	46	45	33
Drøbak	22	9	11	9	44	46	44	32
Eigersund	5	27	28	26	10	80	79	67
Florø	10	22	23	21	20	70	68	56
Fredrikstad	19	13	14	12	38	52	50	38
Grimstad	11	21	22	20	22	68	66	54
Haugesund	5	27	28	26	9	80	79	67
Høyanger	12	20	21	19	23	67	65	53
Kirkenes	15	16	18	16	30	60	58	46
Kristiansand	8	23	25	23	16	74	72	60
Kristiansund	13	18	20	18	27	63	62	50
Larvik	16	16	17	15	32	58	57	45
Måløy	9	22	24	22	19	71	70	57
Mandal	6	25	27	25	13	77	76	64
Molde	12	20	21	19	23	67	65	53
Mosjøen	23	9	10	8	46	44	42	30
Moss	19	12	14	12	39	51	50	38
Namsos	23	9	10	8	46	44	43	30
Narvik	23	8	10	8	47	43	42	30
Ørsta	9	22	24	22	19	71	70	58
Oslo	24	7	9	7	49	41	40	27
Øvre Årdal	15	17	18	16	30	60	59	47
Porsgrunn	16	16	17	15	32	58	57	44
Sandefjord	17	15	16	14	34	56	55	42
Sandnessjøen	22	9	11	9	44	45	44	32
Sarpsborg	21	11	12	10	42	48	47	35
Sogndal	8	24	25	23	16	74	72	60
Stavanger	6	26	27	25	12	78	77	65
Svolvær	13	18	20	18	27	63	62	50
Tønsberg	19	13	14	12	37	53	51	39
Tromsø	13	18	20	18	27	63	62	50
Trondheim	24	7	9	7	48	41	40	28
Vadsø	13	19	20	18	26	64	63	50
Ålesund	9	22	24	22	19	71	70	58
Åndalsnes	13	18	20	18	26	64	62	50

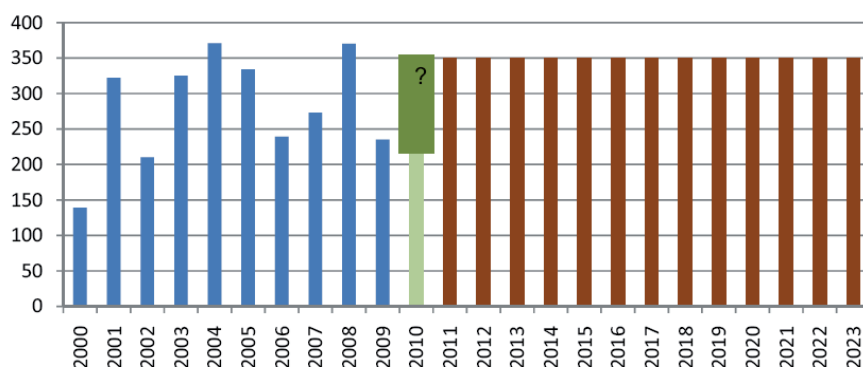
Tabell 2: Viser en oversikt over landhevning vs havstigning, men det er store usikkerheter spesielt for Fredrikstad (Fredrikstad Kommune Plan 2011-2023 2011)

Relativt år 2000	2050	2050	2050	2100	2100	2100
Kommune	Landhevning (cm)	Beregnet havstigning i cm (usikkerhet -8 /+14cm)	100 års stormflo (usikkerhet -8 /+14cm)	Landhevning (cm)	Beregnet havstigning i cm (usikkerhet -20 /+35cm)	100 års stormflo (usikkerhet -20 /+35cm)
Fredrikstad	19	12 (4 – 26)	172 (164 – 186)	38	52 (32 – 87)	217 (197 – 252)

Elementene høyere havnivå og endringer i klodens nedbørsmønster er meget sentrale for denne oppgaven. For at oppgaven ikke skal bli for omfattende har jeg valgt å se bort fra høyere havnivå. Jeg har derfor vurdert det dithen at denne effekten settes til null i mine beregninger.

1.4.1 Dagens boligbygging og forventninger

Tabell 3: Viser en oversikt over boligbygging 2000-2009 samt forventninger frem til 2023 i Fredrikstad kommune. (Fredrikstad Kommune Plan 2011-2023 2011)



Tabell 4: Viser en oversikt over dagens befolkning og forventninger frem til 2023 i Veumfeltet.

Soner	KRETSNAVN	Sum-ANTPER 2012	Under regulering	Sum-ANTPER 2023
1	Evenrød	34	0	34
2	Veum	308	0	308
3	Oredalen	685	0	685
4	Ambjørnrød/krabberød	877	0	877
5	Ambjørnrød/krabberød Syd	1031	190	1221
6	Brønnerød	121	0	121
7	Skrellen/Lia	522	0	522
8	Sandbæk	1226	0	1226
9	Trosvik	488	8	496
10	Christianslund	923	0	923
11	Kniple	964	0	964
12	Seut/Fjellberg	230	0	230
13	Trosvikberget	374	0	374
14	Holmen øst	784	0	784
15	St. Hans Fjellet	544	0	544
16	Holmen Vest	376	0	376
17	Torvet	250	0	250
		9737	198	9935

Man ser at det i hovedsak er sone 5 som får befolkningsøkning i de nærmeste årene.

Det er også planlagt en skoleutvidelse på Ambjørnrød på 19 000 m² tilleggsareal. Den har jeg ikke tatt med i mine Rosie-analyser da den ligger utenfor området til datamodellen som jeg har fått låne.

1.5 Problemstilling

Klimaendringene vil få svært stor betydning for dagens og fremtidens avløpssystem. I Danmark har myndighetene innført anbefalinger om at all dimensjonering av avløpssystemet mht. overvann skal oppdimensjoneres med minst 30 % med tanke på klimaeffekten. Da det ikke er slike retningslinjer eller anbefalinger i Norge har jeg valgt å legge på 50 % i mitt fremtidige scenario. Eksisterende rør og bekker klarer ikke å ta unna disse store vannmengdene. Mange av Norges bekker er lagt i rør eller kulverter. De er også veldig ofte lagt i nye traséer. Dette har også skjedd i Fredrikstad; se figur 15. Fra det opprinnelige bekkeutløpet som mest sannsynlig var vesentlig større enn dagens kulvert som er 2,5x1,5 meter. Sommeren 2008 og 2009 fikk Fredrikstad kommune (som figur 8 og 9 viser) erfare hvilken effekt det nye klimaet har på dagens overvannsystemer.



Figur 8: Viser et bilde fra Fredrikstad 2008. (Foto: Geir A. Carlsson ,FB)

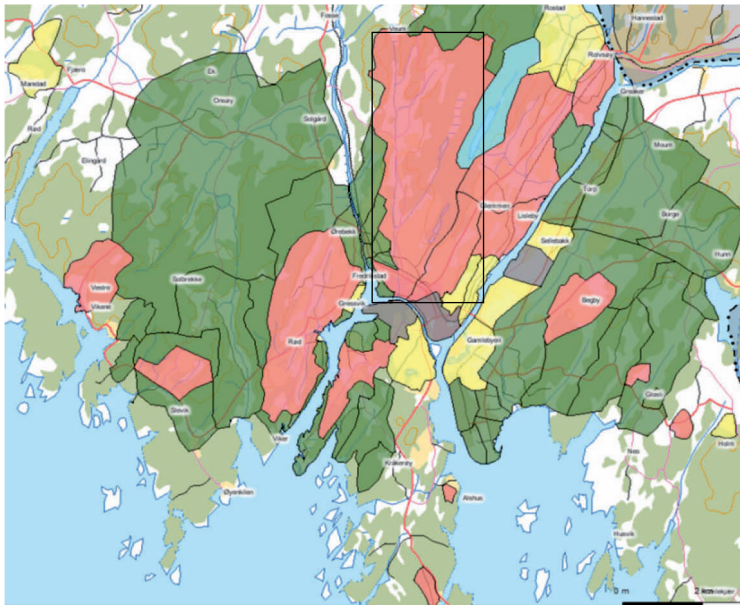


Figur 9: Viser et bilde fra Fredrikstad sentrum 31. juli 2009. (Foto: Fredrikstad Blad)

Kapittel 2. Beskrivelse av området

2.1 Type område

Veumfeltet ligger innenfor det sorte rektangelet som er avmerket på figur nr. 10. Som det fremgår er hele feltet klassifisert rødt, hvilket betyr at det det er omfattende problemer med overvann.



Figur 10: Områdeklassifisering (Fredrikstad kommune 2012)

Midt i feltet går det en bekk som heter Veumbekken. Den ble tidligere kalt Evja, og nedre del av denne bekken, fra jernbanelinjen ved Frydenberg videregående skole og ut til Glomma, er nå lagt i rør og kulvert. Bekken ble gradvis lukket frem til 1939 fordi den var svært forurenset og luktet forferdelig



Figur 11: Evja, den tidligere Veumbekken er merket blått. (Fredrikstad Blad 2009)

Fredrikstad kommune har et areal på 290 km². Antall innbyggere er 74 579 personer. (Norges kommunekalender). Veumfeltet har befolkning på 9 737 per februar 2012 ref. tabell 4.

Basert på grovstudie på Google Earth samt egen observasjon på feltet den 10. januar 2012 vil jeg gi følgende karakteristik av veiene i feltet. Det er totalt ca. 50 km asfaltert vei. RV 110 går rett gjennom feltet. Mange av veiene hadde tidligere grøfter for drenering, men trolig på grunn av et større behov for parkeringsplasser går nå veier og hager i ett. Dette betyr at en har liten kontroll på hvor vannet renner ved nedbør og snøsmelting.



Figur 12: Viser et maleri av Evja slik det var før den ble lagt i kulvert. (Maleri: Arne Orme)

2.2 Grunnforhold

Veumfeltet er av Østfold fylkeskommune beskrevet som følger. "Noe skog og fjellgrunn med liten vegetasjon. 300- 400 mål dyrket mark. Stabile grunnforhold. Stort sett flat mark, lite kupert. Stor fleksibilitet for arkitektoniske løsninger." (Ostfold.no)

Veumbekken renner gjennom feltet. Feltet har en høydeforskjell fra 0 til 103 meter over havet. I følge Skallebakke i Fredrikstad kommune finnes det også noe kvikkleire i feltet.

Dagens situasjon byr på store utfordringer fordi de naturlige flomveiene er bygd ned. Som tidligere nevnt ble nedre del av Veumbekken lagt i rør og kulvert frem til 1939. Basert på dagens klima har bekken altfor liten kapasitet. Videre er det en kombinasjon av separat- og fellessystem. Dette fører regelmessig til at kjellere fylles med overvann og kloakk, samt at mange områder blir stående under vann.

Kapittel 3. Teori

3.1 Exflood

Denne masteroppgaven er en del av Exflood-prosjektet og vil bli brukt i resultatrapporteringen til Norges forskningsråd.

Exflood står for “Extreme weather in small catchments: new method for flood protection”. (www.bioforsk.no/exflood, 2012)

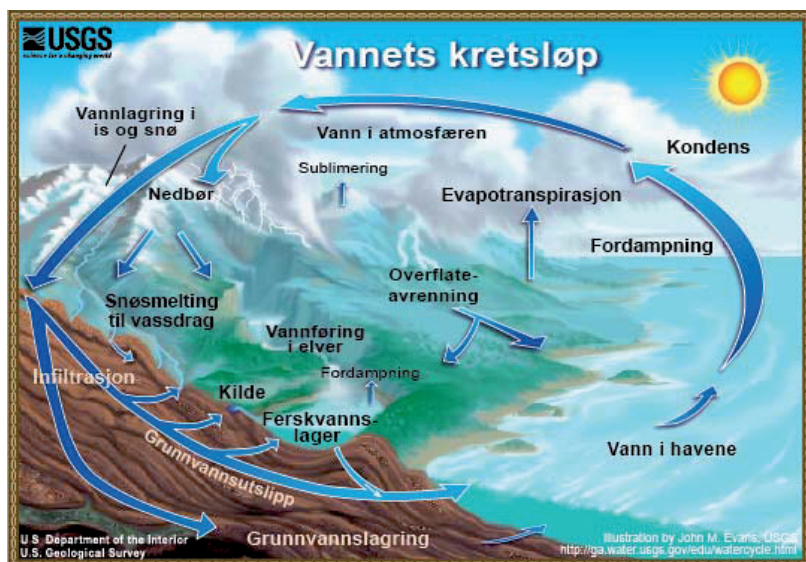
Prosjektets viktigste mål er å definere og analysere tiltak for å bekjempe den negative effekten ekstremvær har på infrastruktur i små vannskiller i Norge samt og innlemme dette i et arealplanleggingsverktøy.

De spesifikke målsettinger er følgende:

1. Klassifisere og vurdere eksisterende tilnærminger som blir brukt i dag, ved ekstreme værforhold som er identifisert av de ulike interessenter (samarbeidspartnerne).
2. Identifisere og utvikle modelleringsteknikker for å kvantifisere utslipp fra multifunksjonelle nedbørsfelt (det vil si urban, landbruk, natur, infrastrukturelementer etc.)
3. Utvikle og analysere arealbruk strategier og lokale tiltak basert på samspill med identifiserte interessenter.
4. Produsere et planleggingsverktøy som skal brukes for arealplanlegging i nedbørsfeltet for å takle ekstremvær.

Følgende er med i prosjektet: (For mer informasjon, se vedlegg 1)

- Bioforsk Jord og miljø
- UMB, (Universitetet for Miljø- og Biovitenskap)
- NVE, (Norsk vassdrags- og energidirektorat)
- Sandnes kommune, Trondheim kommune, Fredrikstad kommune
- FNH (Norsk Finansnæringens Hovedorganisasjon)
- Statens Vegvesen
- KTH (Royal Institute of Technology)
- UMN (University of Minnesota)
- NTNU (Norsk teknisk-naturvitenskapelige universitet NTNU)



Figur 13: Viser en prinsippsskisse av vannets kretslop.(USGS 2012)

3.2 Avrenningskoeffisienter

Avrenningskoeffisienter er meget sentrale med hensyn til analysene som gjøres for å beregne oversvømmelser. Noen data om dette er vist i de følgende tabellene.

Tabell 5: Viser avrenningskoeffisienter for forskjellige områdetyper(Lindholm O. et al. 2012)

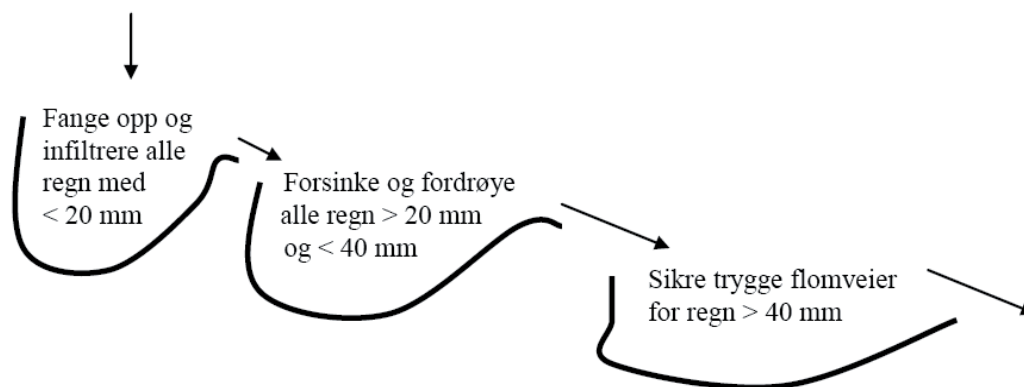
Områdetype	Flate områder	Kuperte områder
Tett bebyggelse og ingen vegetasjon	0,7	0,9
Tett bebyggelse med noe vegetasjon, industriområder	0,5	0,7
Flerfamiliehus med åpne områder i mellom husene	0,4	0,6
Rekkehus og kjedehus	0,4	0,4
Villaer med tomter < 1000 m ²	0,25	0,35
Villaer med tomter > 1000 m ²	0,15	0,25

Tabell 6: Avrenningskoeffisienter for telefri grunn i naturlige områder.(SVV 2005)

Type område	Gjentaksintervall i år							
	10		25		50		100	
	Nedbørens varighet i timer							
	<1	>3	<1	>3	<1	>3	<1	>3
Bart fjell	0,6	0,9	0,66	0,95	0,72	0,95	0,75	0,95
Dyrket mark og parkområder	0,2	0,4	0,22	0,44	0,24	0,48	0,25	0,5
Skogsområder	0,2	0,5	0,22	0,55	0,24	0,6	0,25	0,63

Tabell 7: Maksimale avrenningskoeffisienter for noen flate typer(Lindholm O. et al. 2012)

Type flater	Φ_{spiss}
Tak	0,8-0,9
Asfalterte veger og gater	0,7-0,8
Grusveger	0,4-0,6
Plen	0,05-0,1



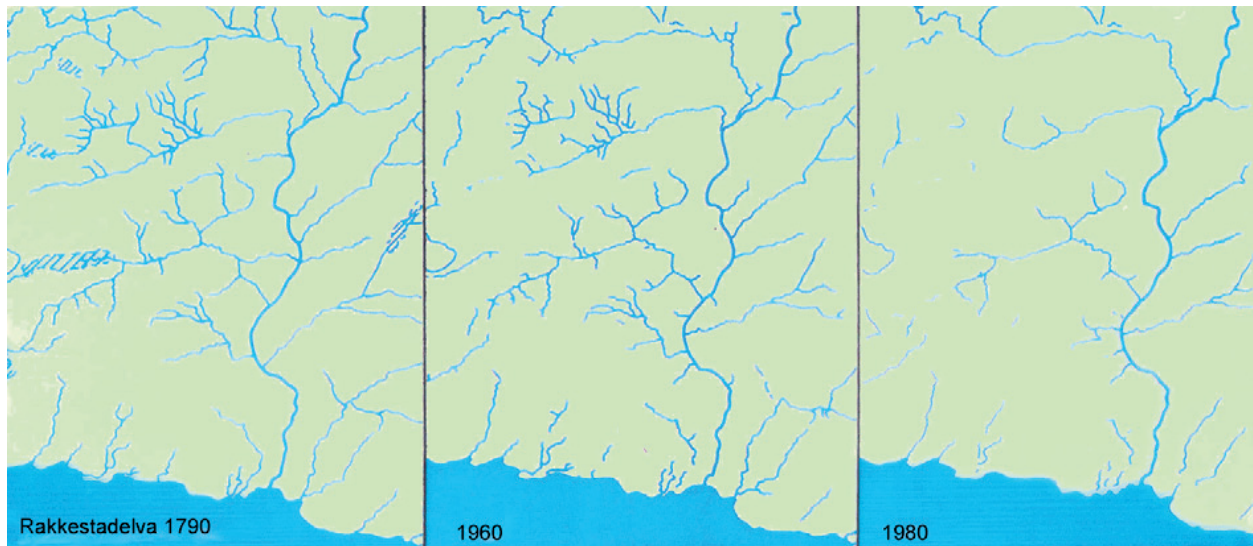
Figur - Treleddsstrategi, illustrasjon for håndtering av nedbør. (NORVAR 144/2005)

Figur 14: Viser treleddsstrategi for håndtering av nedbør.(Lindholm O. et al. 2009)

Treleddsstrategien er et prinsipp man forsøker å bruke i moderne overvannshåndtering og benyttes ved utforming av nye overvannssystemer.

3.3 Flomveier

Klimaendringene vil også medføre at det blir større og hyppigere flommer i mindre vassdrag over hele landet. På Vestlandet og i Nordland forventes også flommene å øke betydelig i større vassdrag. Det er veldig viktig at dette tas hensyn til ved arealplanlegging og videre utbygging. Eksisterende bruer og kulverter kan være ekstremt kritiske punkter under flom da de kan ha alt for liten kapasitet samt at de kan tilstoppes.



Figur 15: Viser et eksempel på hva som har skjedd med bekkene i Østfold fra 1790 til 1980. (Hauge A. et al. 2006)

Man ser at flere og flere bekker blir lukket i kulverter og lagt i rør.

3.4 Plantevalg og vegetasjonstype

Her følger et sitat fra bioforsk som jeg synes det var riktig å ta med, fordi plantevalg og vegetasjonstyper er en meget viktig del av overvannshåndteringen og ikke minst for det estetiske. Det sier litt om de forskjellige plantenes egenskaper når det gjelder vann - og næringsopptak.

“Trær og busker øker infiltrasjonsevnen og bidrar til armoring av ustabil jord, samt fører til et større potensielt næringsopptak over lengre tid. Tett markvegetasjon med

gras bidrar til økt bunnfelling av partikler og næringsstoffer. Det anbefales derfor å etablere spredt planting av trær og busker i kombinasjon med tett markvegetasjon av gras og urter. I områder hvor det er behov for armering av jorda for å hindre utrasing, bør det plantes noe tettere med trær samtidig som sideskråningene gjøres slakere (1:2). Vanlig planteavstand kan være 3-4 meter (70-110 planter per dekar). Det anbefales å plante lys åpne og busker, slik at de ikke skygger for graset, og en kan få et tett marksjikt i tillegg til trærne. Bartrær skygger, og anbefales ikke. Løvtrær med stort vann- og næringsopptak som vier, selje og osp anbefales. Rogn, bjørk, ask og hassel kan også være aktuelle. Rogn, hegg og hyll er verdifulle pga. blomstring og bær ansetning. Or er ikke optimalt for renseeffekt. Or har egenproduksjon av nitrogen og feller grønne, næringsrike blad om høsten. Or kan imidlertid vokse på områder som er for fuktige for andre treslag, og kan derfor være aktuelt å bruke på områder med permanent høy grunnvannstand. I områder med grasdyrking, er det aktuelt å anlegge en u gjødsle sone mot vassdraget i istedenfor, eller i tillegg til vegetasjonssonen. Bredden av gras sonen bør muliggjøre maskinell høsting. Etablering ved naturlig tilgroing kan ta lang tid. Dette er aktuelt i områder med liten fare for utvasking og erosjon.

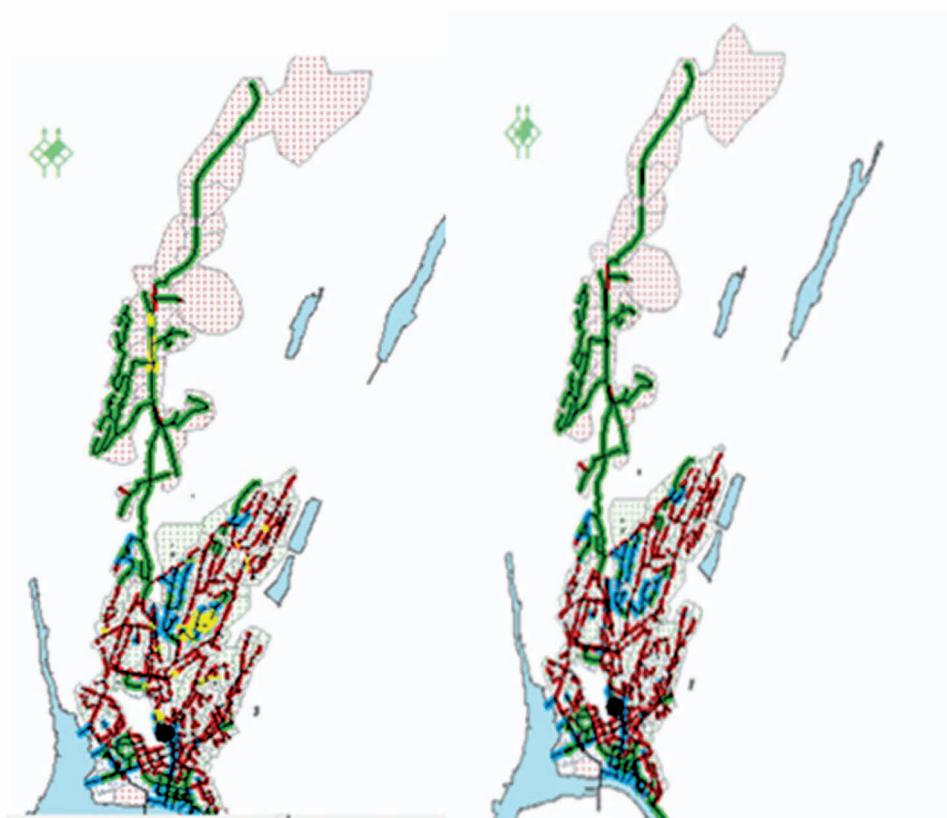
Grasarter med stive strå, tett vekst, og som er næringskrevende er å foretrekke. Grasblandinger som inneholder følgende arter kan anbefales: Engrapp, rødsvingel, timotei, engsvingel og kveinarter.” Sitat bioforsk.

Da denne oppgaven tar for seg et allerede bebyggt område, har jeg valgt og ikke ta hensyn til beplantning og vegetasjon videre i oppgaven. Jeg har vurdert andre tiltak som bedre løsninger, men det er derimot meget viktig å ta hensyn til ved fremtidig arealplanlegging.

Kapittel 4. Metoder

4.1 Kapasitetsanalyse basert på dagens løsninger

Jeg har brukt dataprogrammet Rosie for å simulere hvor det blir problemer. Dette vises i figur 16. Områdene merket med gult har mer enn 50 cm oppstuvning over topp innvendig i rørene. Jeg har brukt 50 års regnet, hvor det også er lagt til en klimafaktor på 50 %.



Figur 16: Viser oversikt over hele Veumfeltet før og etter tiltak. Problemområdene er merket i gult.

4.2 Kjøring av regn

I denne oppgaven er det gjort simuleringer basert på 50 års regn med 50 % klimatillegg. Videre er det tatt hensyn til ny bebyggelse i de aktuelle områdene i feltet. Det er foretatt kartlegging av område for område i feltet for å finne ut hvor det oppstår problemer.

4.3 Klimascenarier

Det er mange forskjellige scenarier mht. klimaendringene. Jeg har valgt å konsentrere meg om problemene som oppstår ved 50 % klimatillegg. Det er gjort beregninger hvor jeg ser på kostnader for å kompensere for klimaendringene.

Her er noen eksempler på tiltak som kan gjøres:

- Større rørdimensjoner
- LOD
 - Grønne tak
 - Regnbed
 - Fordrøyningsmagasiner
 - Kunstige dammer
 - Koplek vekk taknedløp i hus for hus

4.4 ROSIE

ROSIE er et modelleringsprogram for vann- og avløpsnett basert på ArcGIS plattformen. Programmet ble lansert i det norske VA-markedet i februar 2009.

Programmet er en tilleggsmodul til ArcGis og inkluderer beregningsmotorer for både vann- og avløpssystemer spesielt tilpasset norske forhold. Det tar utgangspunkt i kommunenes Gemini VA-database og sammen med andre data etableres det en teoretisk nettmodell. ROSIE baserer seg på beregningsmotorene på Mouse for avløp og Epanet for vann.

ROSIE er utviklet av firmaet Rosim AS. Rosim er en teknologibedrift som har spesialisert seg på programvare og tjenester innen VA. De tilbyr løsninger for VA-GIS (geografisk informasjonssystem), modellering, måleteknikk og rørinspeksjon. Foruten Rosie har firmaet to andre hovedprodukter, WinCan og NIVUS.

WinCan er et rapporteringsverktøy for rørinspeksjoner. Dette verktøyet ble lansert i oktober 2008 og benyttes av mange kommuner og rørinspeksjonsfirmaer.

NIVUS er en væskemengdemåler for presise målinger. Det benytter Doppler teknikk. Rosim både selger og leier ut målere over hele landet.



Figur 17: Viser en prinsippsskisse for NIVUS måler.(Nivus 2012)

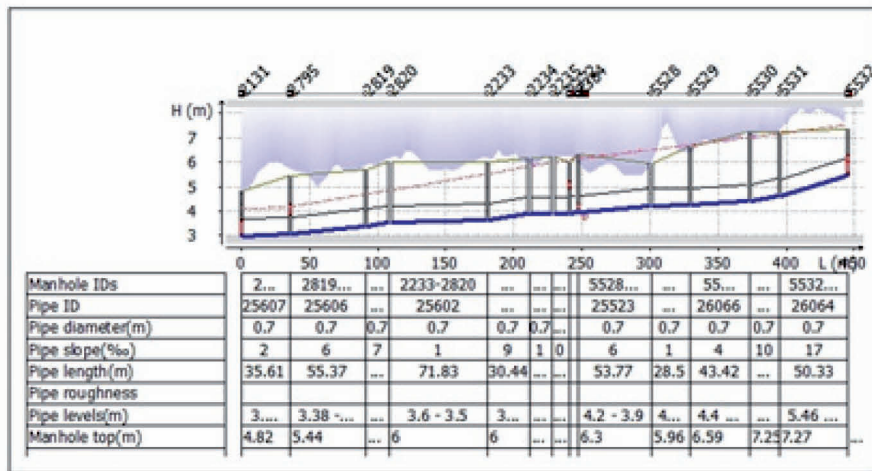
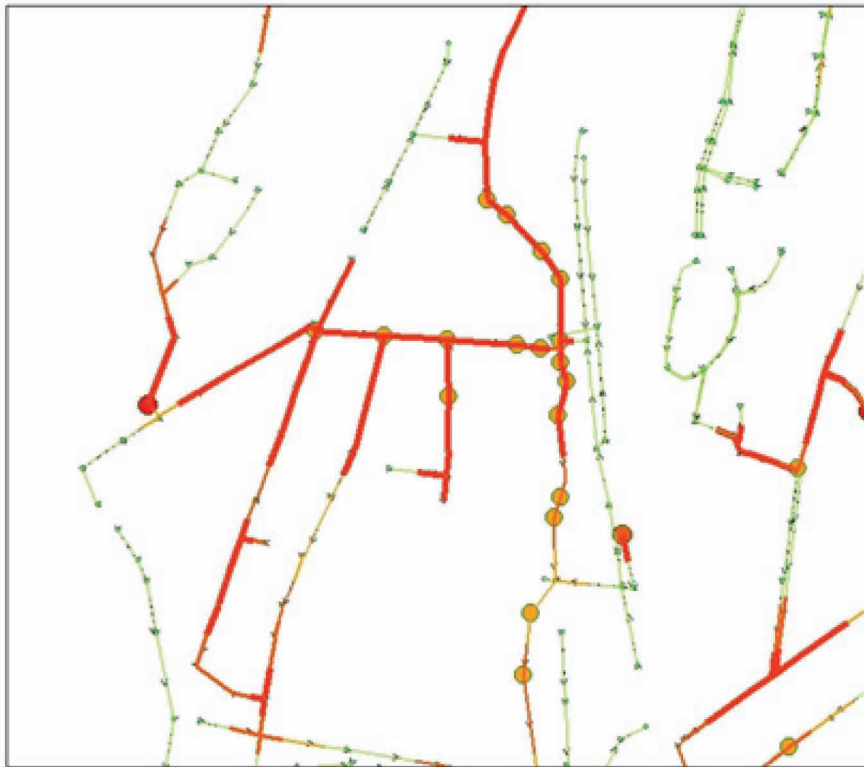
ArcGis (Måling og beskrivelse av jord informasjonssystem) ble på slutten av 1900-tallet utviklet av det amerikanske selskapet ESRI. De omarbeidet ESRI/ARC INFO til en modulbasert og skalerbar GIS plattform.

ESRI (Environmental Systems Research Institute Inc.) ble grunnlagt i 1969 av Jack og Laura Dangermond. Målet var å organisere og analysere geografisk informasjon for å hjelpe arealplanleggere og tomteeiere til å foreta miljømessige beslutninger basert på riktig geografisk informasjon. På midten av 1970-tallet valgte selskapet å utvikle en polygonteknikk. En teknikk for å legge datainformasjon over en videosekvens. Dette ble selskapets første steg i å skape et geografisk informasjonssystem.

Mouse (modell for urban kloakk og overvann innsamlingsystem) er et hydraulisk beregningsprogram som er et av Mike Urban's mange numeriske modelleringsprogrammer. Mike Urbans siste programmer er utviklet av det danske selskapet DHI Water & Environment. Mouse er den første mikro-PC-baserte programvaren som ble utviklet i 1983.

Mouse består av følgende moduler:

- Beregne ustabile strømmer i rør og kanal nettverk. (HD-Pipe Flow)
- Kontinuerlig modellering av avrenningsprosessen, nedbørvhengig tilsig/ infiltrering (RDII- Rainfall Dependent)
- Definerer og simulerer sanntidskontroll ordninger for urban drenering og kloakkanlegg (RTC – Real Time Control)
- Beregner automatisk hva rørdiametre skal være designet basert på brukerdefinerte kriterier (PD-Pipe Design)
- Kontinuerlige simuleringer av lange tidsserier, blant annet vått og tørt vær. (LTS – Long Term Simulations and Statistics)
- Simulerer sediment transport, erosjon og avsetning for ensartede eller gradert sedimenter i rørene. (ST-Sediment Transport)
- Simulerer transport og lineære forfallet av oppløste miljøgifter. (AD, Advection-Dispersion)
- Simulerer en rekke vannkvalitetsprosesser, herunder nedbrytning av BOD / COD i biofilm og i vannfasen, hydrolyse av suspendert stoff, vekst av biomasse(WQ - Water Quality)
- Analyser av kombinert kloakkrenner og eliminere kloakkrenner (CSO og SSO)

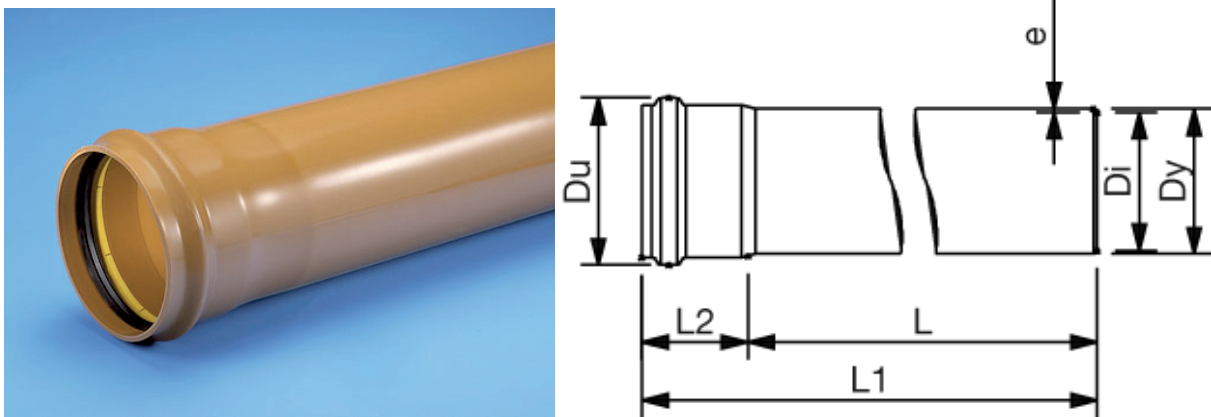


Figur 18: Viser et eksempel på utskrift fra en analyse foretatt med ROSIE.

Kapittel 5. Produkter og produktløsninger

Her følger en generell beskrivelse av de produktene og noen egne forslag til produktløsninger som jeg har beskrevet i mine tiltak under kapittel 6. Det er viktig å merke at de sirkulære plast rørene er beskrevet med innvendig og utvendig diameter mens de sirkulære betong er innvendige diameter. For de eggformede rørene er det oppgitt største og minste innvendig diameter.

5.1 Sirkulære rør



Figur 19: Viser et bilde og skisse av det sirkulære røret jeg har foreslått (Wavin)

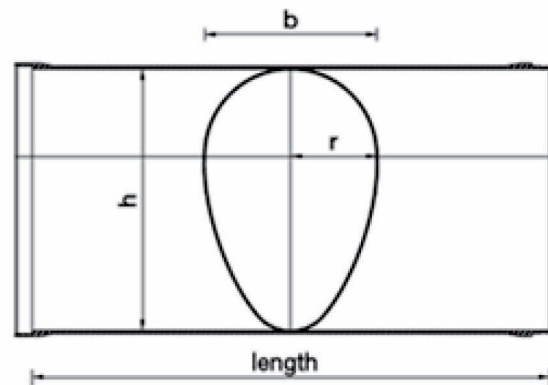
Tabell 8: Viser dimensjoner og teknisk info sirkulære rør.(Wavin 2005)

	Glatt PVC-U	Glatt PVC-U
Dimensjon	110, 160, 200	250, 315, 400, 500
Muffeutførelse	Sewerlock	Powerlock
Materiale i pakninger	TPE*	EPDM/NBR*
Ringstivhet	SN 8	SN 8
Standard	NS-EN 1401**	NS-EN 1401**
Farge på rør	Rødbrun eller sort	Rødbrun eller sort

Tabell 9: Viser en dimensjonsoversikt på de sirkulære rørene som er valgt (Wavin 2005)

Dy	Wavin nr	NRF nr	Di	Du	e	L	L1	L2
75	8059253	2251019	68,6	90	3,2	6000	6053	53
110	8058115	2251059	103,6	131	3,2	6000	6085	85
125	8059246	2251079	117,6	148	3,7	6000	6090	90
160	8058214	2251119	150,6	190	4,7	6000	6100	100
200	8058313	2251159	188,2	230	5,9	6000	6115	115
250	8058412	2251199	235,4	293	7,3	6000	6120	120
315	0510324	2251239	296,6	366	9,2	6000	6200	200
400	0510329	2251279	376,6	465	11,7	6000	6240	240
500	0510334	2251319	470,8	581	14,6	6000	6290	290

5.2 Eggformede rør



Figur 20: Viser et eksempel på eggformede rør i GRP.(Amiantit 2011)

Fordelen med eggformede rør er at det ikke blir sedimenteringer ved normal vannføring samtidig som det har den ekstra kapasiteten ved ekstra stor vannføring.

Tabell 10: Viser en dimensjonsoversikt på de eggformede rørene som er valgt. (Amiantit 2011)

Egg shaped profiles 2/3

Internal diameter	Radius	Cross-sectional area	Theoretical ID of round pipe
b/h [mm]	r [m]	A [m ²]	Ø [m]
400/600	0.200	0.184	0.484
470/705	0.235	0.254	0.568
500/750	0.250	0.287	0.605
580/760	0.290	0.386	0.701
600/900	0.300	0.413	0.726
700/1050	0.350	0.563	0.846
760/1140	0.380	0.663	0.919
800/1200	0.400	0.735	0.967
840/1260	0.420	0.810	1.016
900/1350	0.450	0.930	1.088
1000/1500	0.500	1.149	1.209
1100/1650	0.550	1.390	1.330
1200/1800	0.600	1.654	1.451
1300/1950	0.650	1.941	1.572
1400/2100	0.700	2.251	1.693
1600/2400	0.800	2.940	1.935

Formel 1: Viser hydraulisk kalkulasjon av eggformede rør.(Hausberg J. 2012b)

Input:

- GRP AMIREN egg profile 500/750 [mm]
- Shape radius r=0,250 [m]
- Roughness factor (Colebrook) k=0,03 [mm]
- Temperature of medium – 10 [°C]
- Cross section area A=0,2871 [m²]
- Slope 5,0 [‰]

Flow rate acc. Prandtl'a – Colebrook'a formula for non circular shapes:

$$Q = A \times \left[-2 \log \left(\frac{2,51 \times \nu}{4Rh \times \sqrt{8g \times Rh \times i}} + \frac{k}{14,84 \times Rh} \right) \times \sqrt{8g \times Rh \times i} \right]$$

Where:

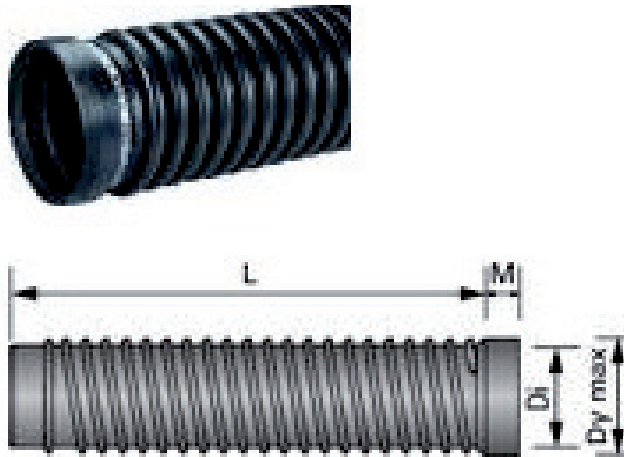
- ν – kinematic viscosity of the fluid [m²/s] – 1,31 E-06 for water at 10 degrees C
- k – roughness factor [mm]
- Rh – hydraulic radius [m]
- g - gravitational constant - 9.81 [m/s²]
- i – slope [‰]

$$Rh = 0,579 \times r$$

(for egg shape 2:3)

r = shape radius [m]

$$Rh = 0,145 [m]$$



Figur 21: Viser et bilde av et profilrør.(Uponor 2012)

Tabell 11: Viser en dimensjonsoversikt på sirkulære profilrør.(Uponor 2012)

- Detaljer							
Uponor nr.	NRF nr.	Dimensjon ND mm	L mm	M mm	Dy maks. mm	Stivhet SN klasse	Vekt kg/m
1051791		800	6000	160	940	SN4	
1051788	301 25 42	800	3000	160	940	SN8	
759391		800	4000	160	940	SN8	
1051789	301 25 24	800	6000	160	940	SN8	
1055432		1000	3000	160	1170	SN2	
1055433		1000	6000	160	1170	SN2	
1051792		1000	3000	160	1170	SN4	
1051793		1000	6000	160	1170	SN4	
1051794	301 25 43	1000	3000	160	1170	SN8	
1055454		1000	4000	160	1170	SN8	
1051795	301 25 29	1000	6000	160	1170	SN8	
1055434		1200	3000	160	1370	SN2	

Rør med varenummer. 1051795 – 301 25 29, med 1000 mm innvendig diameter, lengde 6 meter og med en ringstivhet i klasse SN8 er foreslått brukt som stikkrenner under Evenrødveien.

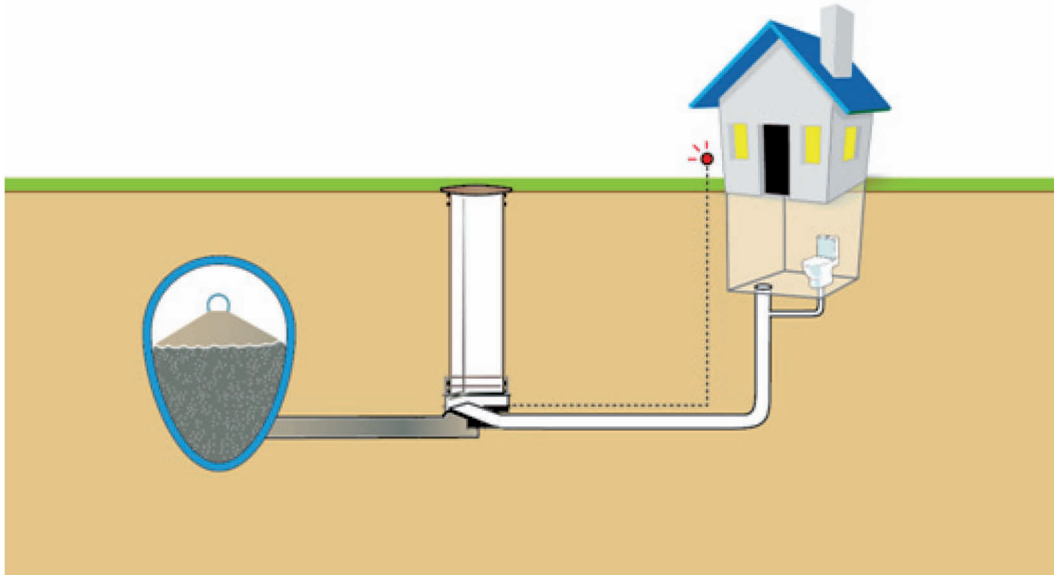
5.3 Kummer med tilbakeslag



Figur 22: Viser bilde av kum med tilbakeslagsventil, Type WaBack WS.(MFT 2012)

Denne kummen har full gjennomstrømning ved normal vannføring, men vil stenge helt hvis det er oppstuvning i den kommunale avløpsledningen. Tilbakeslagsventilen forhindrer at vannet går motstrøms og hindrer dermed at kloakk og overvann kommer inn i kjellerne.

5.4 Produktløsninger



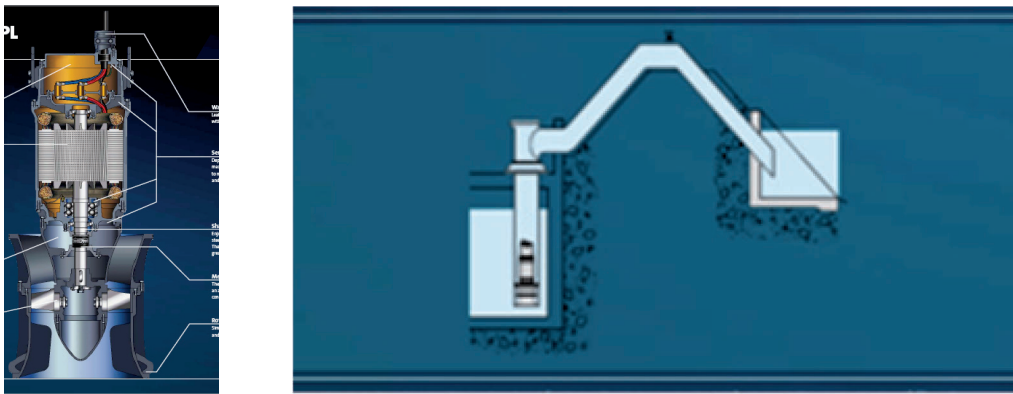
Figur 23: Viser løsning med eggformede rør og WaBack-kummen med alarm
(ill.: Torbjørn L. Vik)

Figuren over viser en kombinasjon av eggformet rør og Waback-kum som vil sørge for at det ikke kommer kloakk og/eller overvann inn i kjellere. Videre har jeg foreslått å montere en alarm, som vil gi beskjed til huseieren om at de ikke må benytte husets

avløpsfasiliteter. Denne løsningen kan kommunen benytte uavhengig av om de legger nye rør. På enkelte strekk vil noen av de nederste husene være i faresonen selv om det blir større kapasitet i rørene. Dette skyldes lite fall, og her kan løsningen som vist på figur 23 være et alternativ.

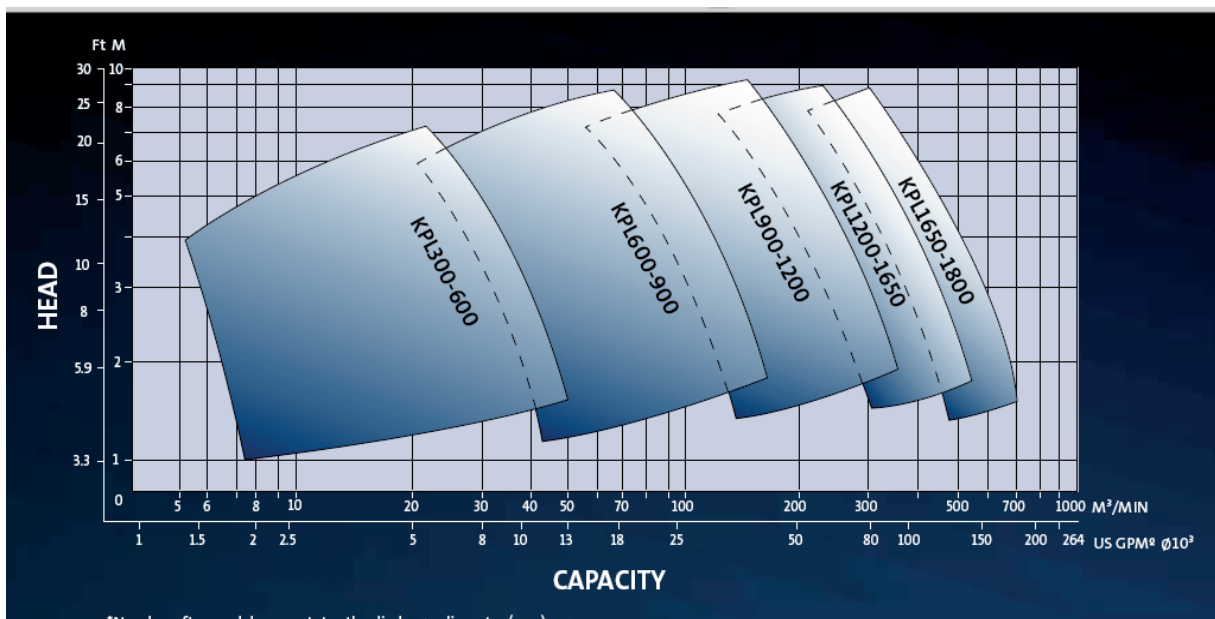
5.5 Pumper

Figur 24 viser en gjennomskåret pumpe og forslag til løsning. Dette er pumper med lav løftehøyde, men kan pumpe enorme vannmengder. Det er pumpetypen KPL1000 fra Grundfos som jeg har foreslått i et av mine tiltak.

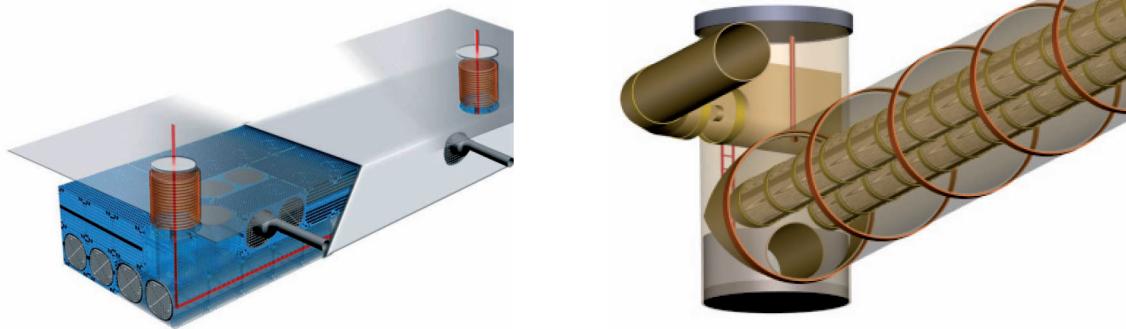


Figur 24: Viser en Grundfos KPL-pumpe samt en løsning.(Grundfos)

Tabell 12. Viser en oversikt over kapasitet og løftehøyder til Grundfos sine KPL pumper.(Grundfos)



5.6 Fordrøyningsmagasiner



Figur 25: Viser to forskjellige fordrøyningsmagasiner.(Wavin 2007) og (Hausberg J. 2012a)

Til venstre i figuren over ser vi et fordrøyningsmagasin for rent overvann. Dette heter Q-Bic og leveres av Wavin. For mer informasjon, se vedlegg 2. Det finnes også mange andre tilsvarende løsninger på markedet. Til høyre i figuren vises et kombinert fordrøyningsmagasin for spillvann og overvann. Dette produktet ble lansert på IFAT-messen i München, mai 2012.

5.7 Grønne tak

Løsninger hvor man benytter seg av grønne tak kan være en effektiv måte å dempe avrenning ved kraftig nedbør. Ved det mulige tilbygget på 19 000 m² ved Ambjørnrød skole, vil jeg foreslå en kombinasjon av grønne tak og fordrøyningsmagasiner. For mer informasjon om dette se vedlegg 2 og 3.



Figur 26: Viser et tenkt eksempel på grønne tak.(Worldchanging 2009)

Kapittel 6. Tiltak og kostnader for overvannshåndtering

6.1 Begrensinger

I denne oppgaven har jeg gjort følgende begrensinger;

- Det er mange forskjellige scenarioer på hvordan havet vil stige samt at landet vil heve seg. Jeg har beskrevet noen alternativer i oppgaven. Når det gjelder mine beregninger har jeg valgt å forutsette at området i Fredrikstad Veumfeltet hever seg like mye som havet stiger slik at det ikke blir noen differanse. Ref. tabell 1 kolonne B1.
- Videre har jeg kjørt forskjellige typer regn og med alternative klimatillegg. Tiltak jeg foreslår har jeg forutsatt skal klare belastninger fra et 50 års regn, med en klimafaktor på 50 %.
- Rosie (dataprogrammet som er brukt) markerer forskjellige oppstuvingsnivåer i rørsystemet over topp innvendig rør.
 - Ingen
 - 0-50 cm
 - 50-75 cm
 - 75-100 cm
 - > 100 cm.
- Jeg har foreslått tiltak slik at det ikke blir noe oversvømmelse ved 50 års regn ved en tilleggsfaktor for klima på 50 %. Da det er en del gammel bebyggelse i feltet har jeg sett på samtlige områder med gjennomsnittlig oppstuvning på > 50 cm over topp innvendig rør. Ref. tabell 12.

Tabell 12: Viser en oversikt over minimumskrav til høyde mellom åpent sluk og kjellergulv i perioden 1909 og frem til i dag. (Lindholm O. et al. 2009)

Alle kommuner har kunnet stille egne krav, men i praksis har de fleste brukt en felles ingeniørpraksis basert dels på lærebøker og lignende og dels på veiledende retningslinjer utgitt av sentrale organer.

Minimumskrav til høyde mellom åpent sluk i kjellergulv og topp av avløpsrør i tilknytningspunktet:

Høydekravene er foreslått dels av Kommunalteknisk forening og dels av Kommunenes sentralforbund via forslag til sanitærreglement. Dette har opp gjennom tidene vært:

1909–1946: 30 cm

1946–1972: 120 cm (50 cm dersom sluket kunne stenges med ventil)

1972–1980: 50 cm

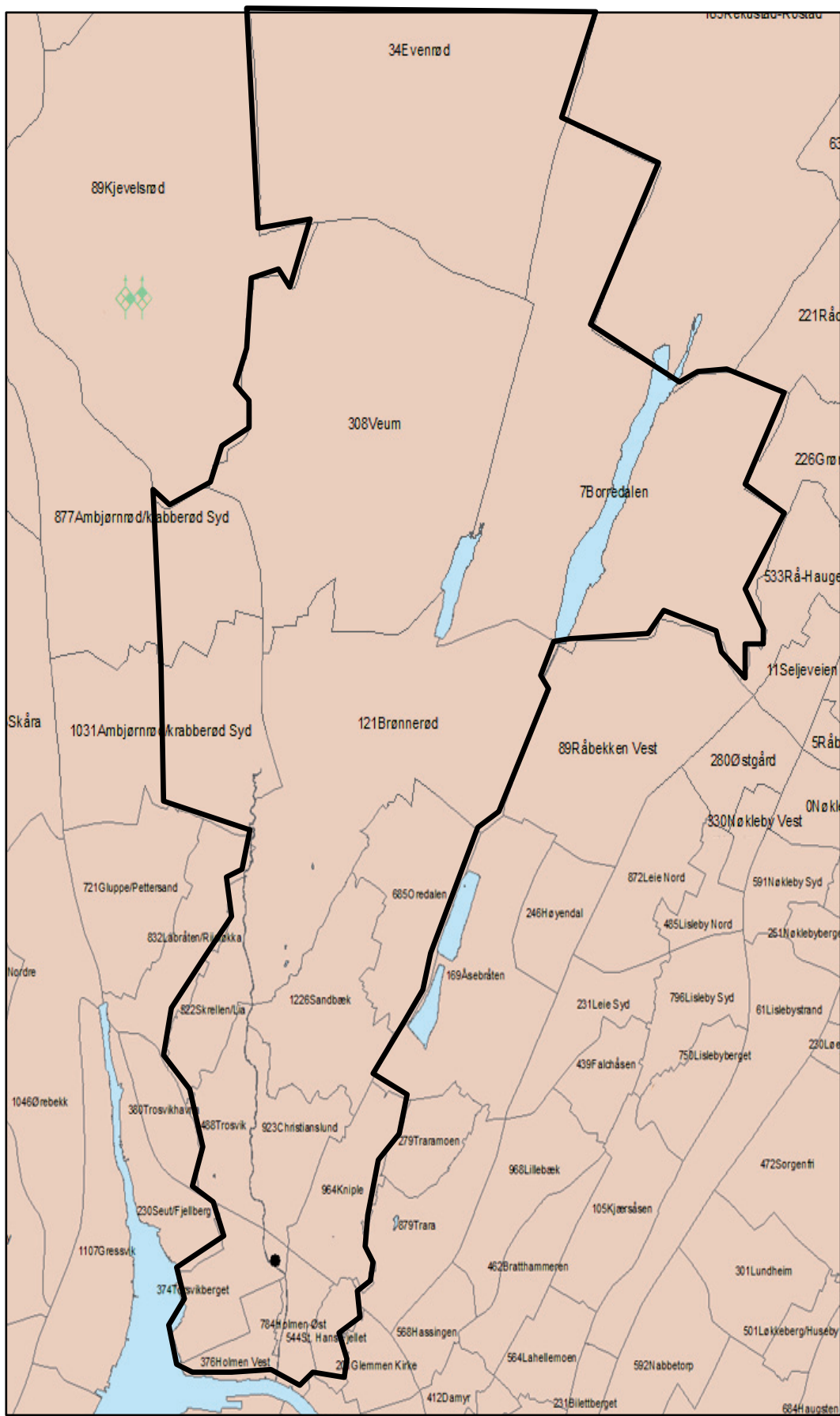
1980 - : 90 cm

I de nye "Standard abonnementsvilkår for vann og avløp" er det krav om 90 cm, med tilbakevirkende kraft.

I følge Rosie bor det i Veumfeltet 9737 personer per februar 2012. Jeg har sett på status i år 2023 hvor jeg har lagt til 198 personer. Grunnlaget for denne vurderingen er Fredrikstads kommuneplan 2011–2023 som ble vedtatt i bystyret 8. september 2011. Etter forslag fra Geir Lindholm i Rosim er dette gjort ved at jeg har justert faktorene i de to aktuelle nedbørsfeltene (kretsene). Siden det ikke foreligger planer lengre frem i tid, har jeg antatt at i mine beregninger at dette befolkningsantallet vil være det samme til år 2100.

6.2 Tiltak per problemområde i rørsystemet

Det er totalt 17 områder som vil få problemer. Det er nå gjort analyser på samtlige steder. Jeg har kjørt ca. 2000 analyser i dataprogrammet ROSIE for å komme frem til den mest optimale løsningen. Jeg vil nå i det følgende beskrive hvert tiltak som vil løse problemene sted for sted. Områdene er systematisk listet opp fra nord til sør. De rørene i områdene som er merket gult vil det bli minst 50 cm oppstuvning i rørene før tiltak. Når det gjelder de forskjellige problemområdene har jeg valgt å vise et bilde fra datamodellen ROSIE uten veier før tiltak. Etter at det er gjort tiltak har jeg lagt veiene inn i bildet slik at rørtraséens omgivelser fremkommer. Dette fordi det er meget interessant å vite hvor de eksisterende rørene går med hensyn til kostnader og hensyn en må ta ved en eventuelt senere utbedrelse. Når det gjelder de nye rørene, har jeg optimalisert rørdimensjonene samtidig som det ikke oppstår problemer. Mer informasjon om de nye løsningene som er valgt fremgår av kapittel 5.

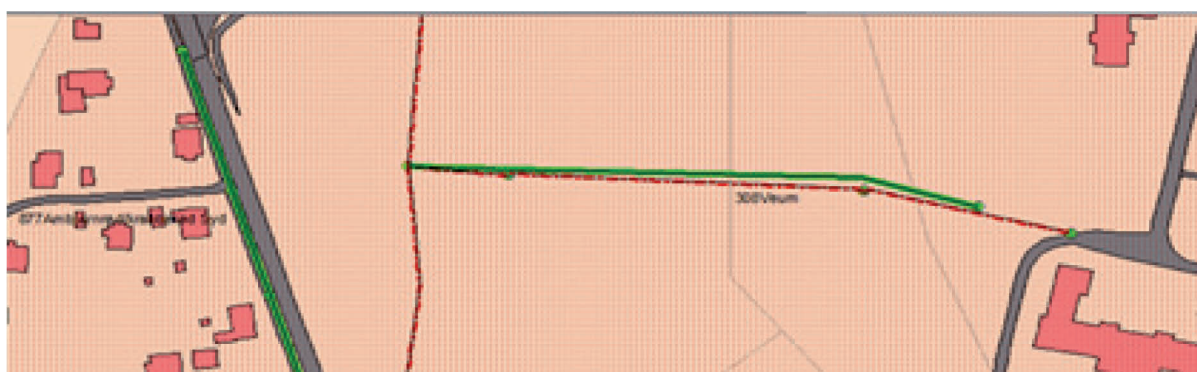


Figur 27: Viser Veumfeltet og de forskjellige grunnkretsene.

Figur 27 viser Veumfeltet inndelt i grunnkretser med navn. Videre i oppgaven vil jeg referere til de ulike grunnkretsene når det gjelder de forskjellige problemområdene. Figur 27 og samtlige figurer som viser tiltak er hentet fra dataprogrammet ROSIE. De grønne strekene er spillvann, de røde er felles ledning for overvann og spillvann. De blå strekene er rent overvann.



Figur 28: Viser problemområde 1 i grunnkrets Veum øverst i feltet før tiltak.



Figur 29: Viser problemområde 1 i grunnkrets Veum øverst i feltet etter tiltak.

Tre rørstrekker er skiftet ut til en større dimensjon. Oversikten under viser eksisterende rør og nye rør. Her går rørstrekket på et åpent jorde, så det bør være enkelt å gjøre tiltak.

Pipe ID	Lengde	Rør eks.	Type	Nytt rør	Type
	meter	Innv (mm)		Utv/Innv (mm)	
35658	74	230AF	Betong	315/296,6	Plast PVC SN8,sirkulært
35657	122	225AF	Betong	315/296,6	Plast PVC SN8,sirkulært
67496	36	230AF	Betong	315/296,6	Plast PVC SN8,sirkulært



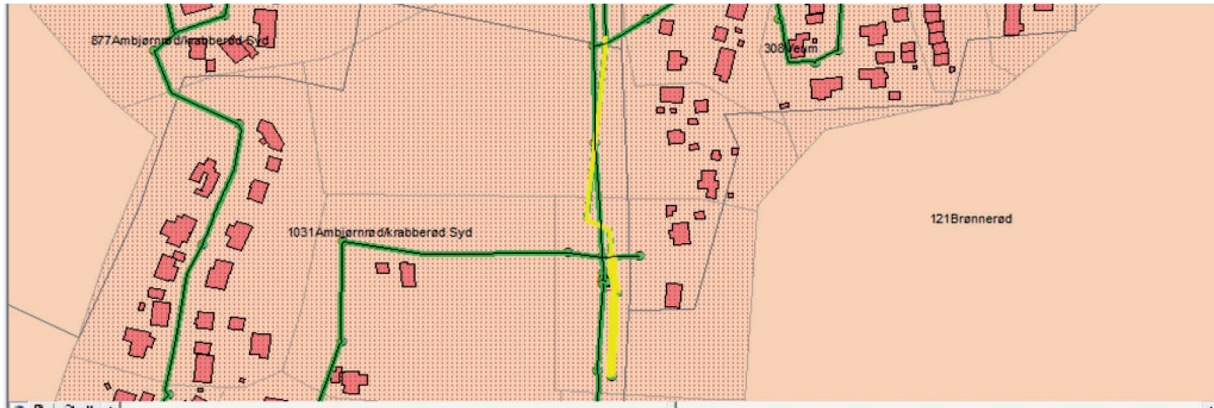
Figur 30: Viser problemområde 2 i grunnkrets Ambjørnrød/Krabberød før tiltak.



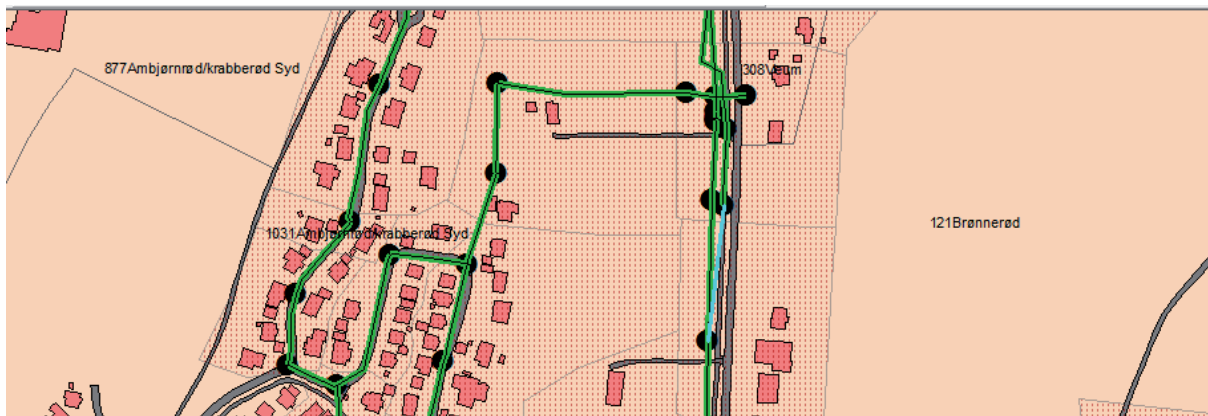
Figur 31: Viser problemområde 2 i grunnkrets Ambjørnrød/Krabberød etter tiltak.

De gamle rørene skiftes ut til en større dimensjon. Oversikten under viser eksisterende rør og nye rør. Her har jeg valgt eggformede rør som er mye brukt i utlandet. Dette fordi de har selvrensing ved normale forhold samtidig som de har den ekstra kapasiteten som trengs ved ekstremvær.

Pipe ID	Lengde	Rør eks.	Type	Nytt rør	Type
	meter	Innv (mm)		Innv (mm)	
56695	28	150	Betong	188,2	Plast PVC SN8,sirkulært
56689	71	188	Betong	470/705	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør
56687	83	188	Betong	470/705	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør



Figur 32: Viser problemområde 3-4 i grunnkrets Ambjørnrød -Krabberød Syd-Grønnerød før tiltak.

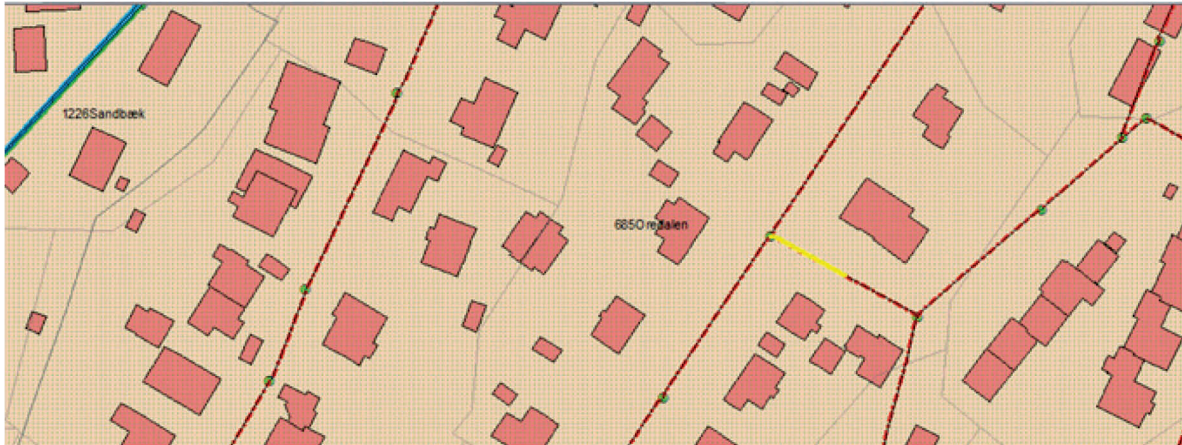


Figur 33: Viser problemområde 3- 4 i grunnkrets Ambjørnrød-Krabberød Syd-Brønnerød etter tiltak.

I dette problemområdet er det i tillegg til at det er skiftet ut to rørstrekninger (Pipe ID Dec_13) er det lagt til et nytt rørstrek mellom kum (Node ID Des_55 og Node ID 1761). Node ID Dec_55 har top level 18 med lowest level 14,7 og Node ID 1761 har top level 16,47 lowest level 14,24. Det nye røret er merket med turkis i figuren over.

I det nye rørstrekket brukes det eggformede rør, og det byttes også til eggformede rør i den eksisterende rørtraseen.

Pipe ID	Lengde	Rør eks.	Type	Nytt rør	Type
	meter	Innv (mm)			
Dec_13	96	Nytt rør	Nytt rør	470/705	Plast GRP Profil 2/3 Eggformede rør
59832	73	150	Betong	470/705	Plast GRP Profil 2/3 Eggformede rør
59833	71	150	Betong	470/705	Plast GRP Profil 2/3 Eggformede rør



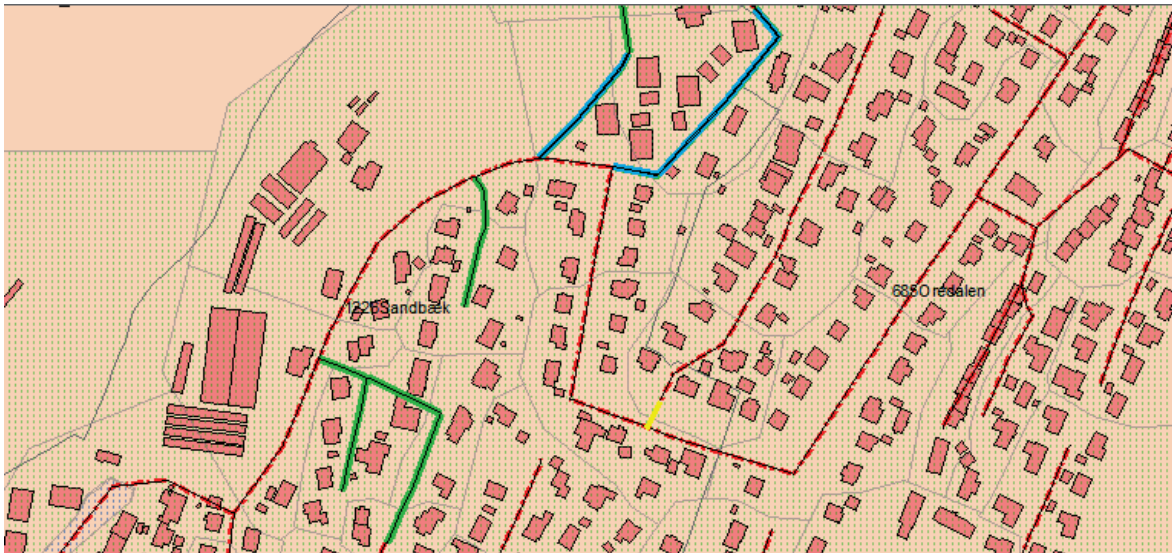
Figur 34: Viser problemområde 5 i grunnkrets Oredalen før tiltak.



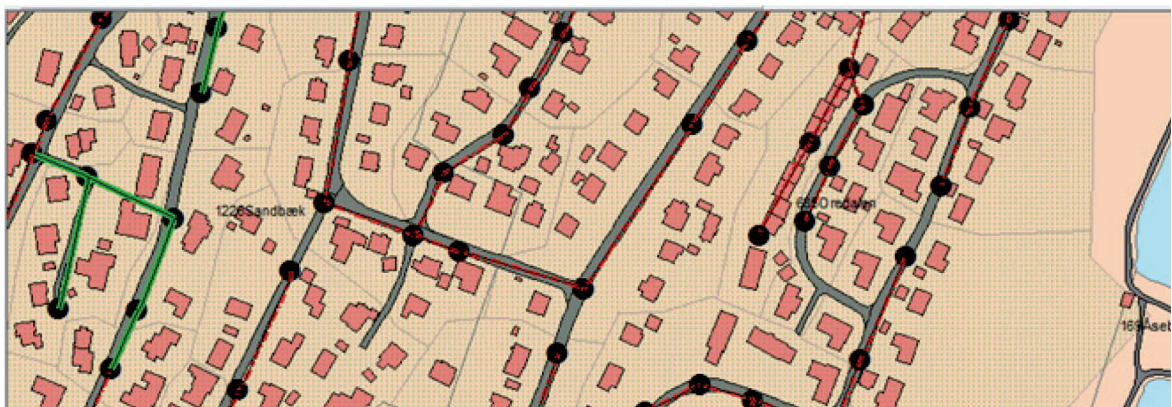
Figur 35: Viser problemområde 5 i grunnkrets Oredalen etter tiltak.

Et rørstrek er skiftet ut til en større dimensjon. Oversikten under viser eksisterende rør og nye rør. Vi ser at rørstrekket med oppstuvingsproblemer ligger i vei. Dette gjelder nesten samtlige problemområder.

Pipe ID	Lengde	Rør eksisterende	Type	Nytt rør	Type
	meter	Innv (mm)		Innv (mm)	
26447	43	230AF	Betong	400/376,6	Plast PVC SN8,sirkulært



Figur 36: Viser problemområde 6 i grunnkrets Sandbæk før tiltak.



Figur 37: Viser problemområde 6 i grunnkrets Sandbæk etter tiltak.

Et rørstrekk er skiftet ut til en større dimensjon. Oversikten under viser eksisterende rør, nye rør samt kostnaden for utskiftingen. Det en ser er at en må opp i vesentlige større dimensjoner. Det bør her vurderes andre løsninger for å få til den nødvendige fordrøynings/magasineringskapasiteten. Det bør en ta stilling til når en har åpnet den eksisterende grøften. Forslag til alternative løsninger har jeg vist i kapittel 5.

Pipe ID	Lengde	Rør eksisterer	Type	Nytt rør	Type
	meter	Innv (mm)		Innv (mm)	
26482	38	230	Betong	600/900	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør



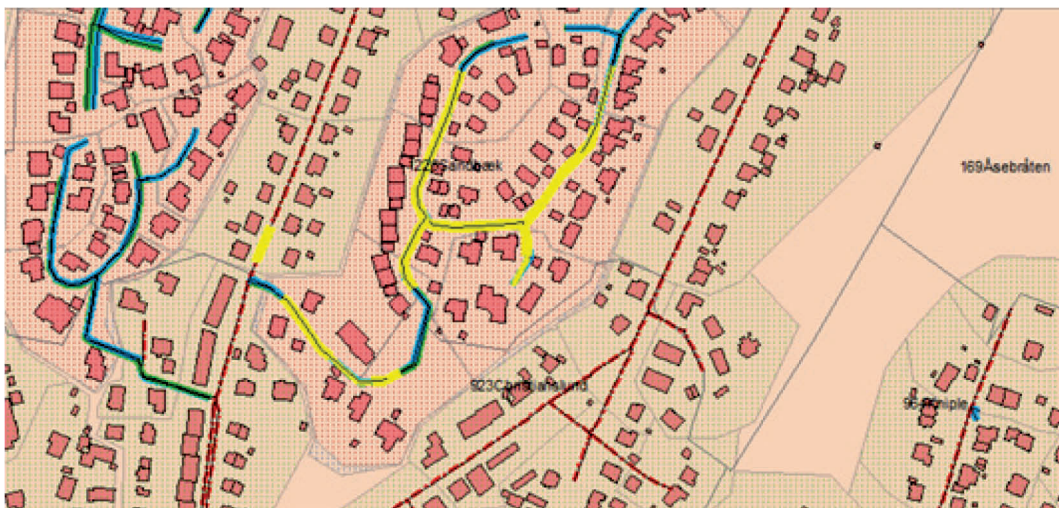
Figur 38: Viser problemområde 7 i grunnkrets Oredalen før tiltak.



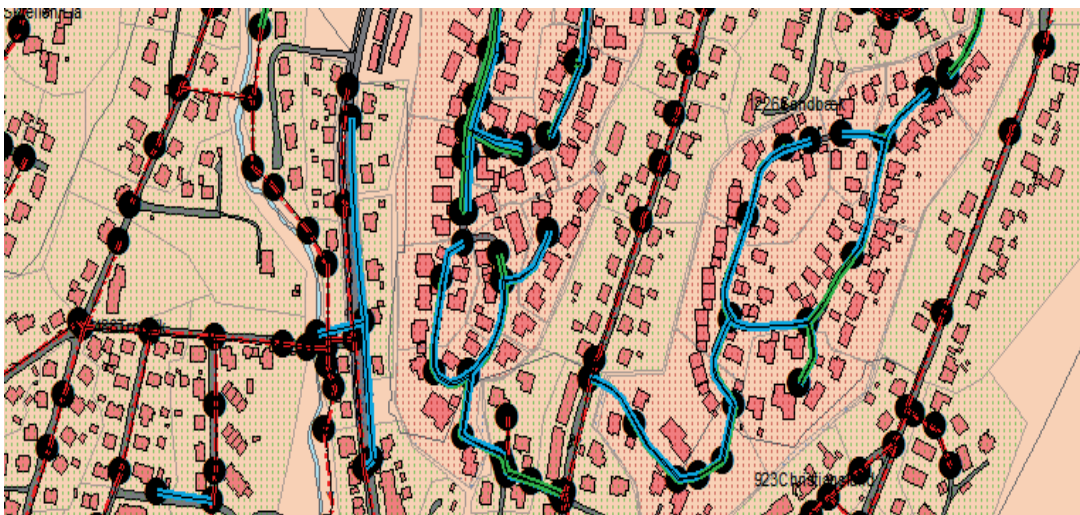
Figur 39: Viser problemområde 7 i grunnkrets Oredalen etter tiltak.

To rørstrekk er skiftet ut til en større dimensjon. Her har jeg benyttet sirkulære rør. Oversikten under viser eksisterende rør og nye rør.

Pipe ID	Lengde	Rør eksisterende	Type	Nytt rør	Type
	meter	Innv (mm)		Utv/Innv (mm)	
26258	19	230AF	Betong	315/296,6	Plast PVC SN8,sirkulært
59735	25	150AF	Betong	315/296,6	Plast PVC SN8,sirkulært



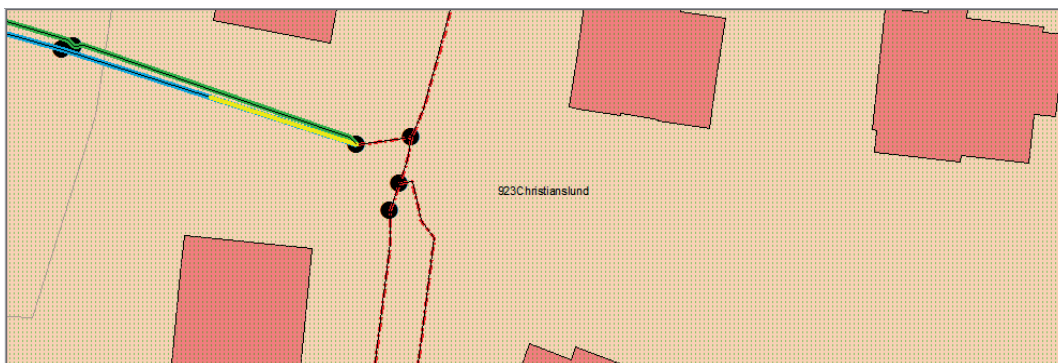
Figur 40: Viser problemområde 8 i grunnkrets Sandbæk/Christianslund før tiltak



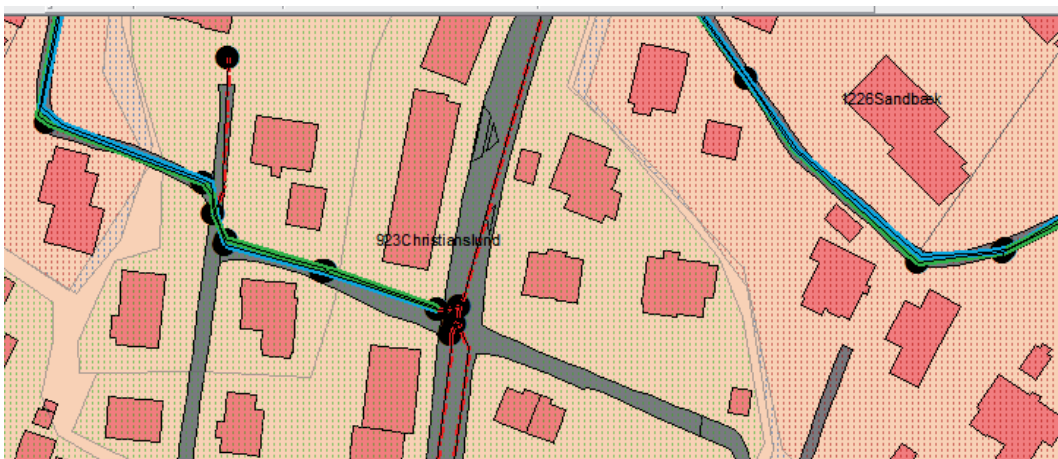
Figur 41: Viser problem område 8 i grunnkrets Sandbæk/Christianslund etter tiltak.

De gamle rørene skiftes ut til en større dimensjon. Oversikten på neste side viser eksisterende rør og nye rør. Her har jeg brukt primært sirkulære rør, men på den siste strekningen eggformede rør. Det en ser er at en må opp i vesentlige større dimensjoner. Det bør her vurderes andre løsninger for å få til den nødvendige forrøynings/ magasineringskapasiteten. Det er et behov for et magasin på 122m^3 . Dette bør en ta stilling til når en har åpnet den eksisterende grøften. Forslag til alternative løsninger har jeg vist i kapittel 5.

Pipe ID	Lengde	Rør eks.	Type	Nytt rør	Type
	meter	Innv (mm)		Innv (mm)	
48947	71	150 SP	Betong	296,6	Plast PVC SN8,sirkulært
48973	41	150 SP	Betong	188,2	Plast PVC SN8,sirkulært
48977	24	150 SP	Betong	188,2	Plast PVC SN8,sirkulært
48978	18	150 SP	Betong	188,2	Plast PVC SN8,sirkulært
48981	55	150 SP	Betong	188,2	Plast PVC SN8,sirkulært
48983	53	150 SP	Betong	188,2	Plast PVC SN8,sirkulært
48898	84	230AF	Betong	376,6	Plast PVC SN8,sirkulært
25495	108	300 AF	Betong	1200/1800	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør



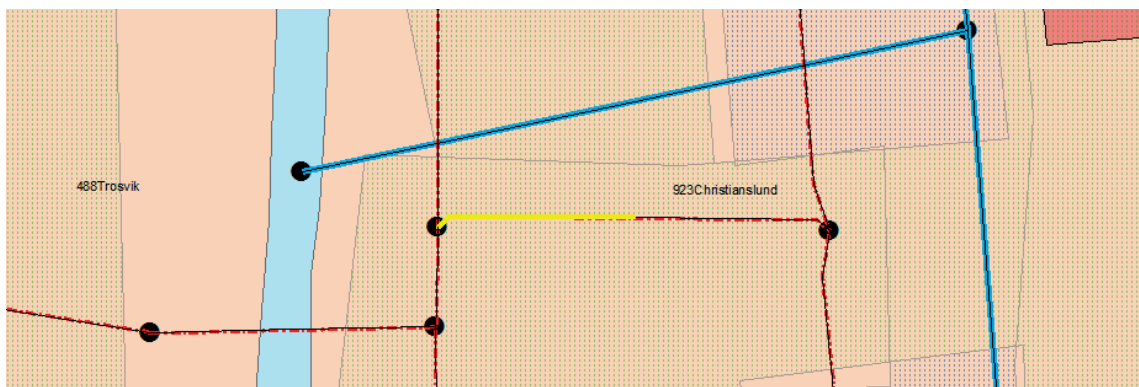
Figur 42: Viser problemområde 9 i grunnkrets Christianslund 1 før tiltak.



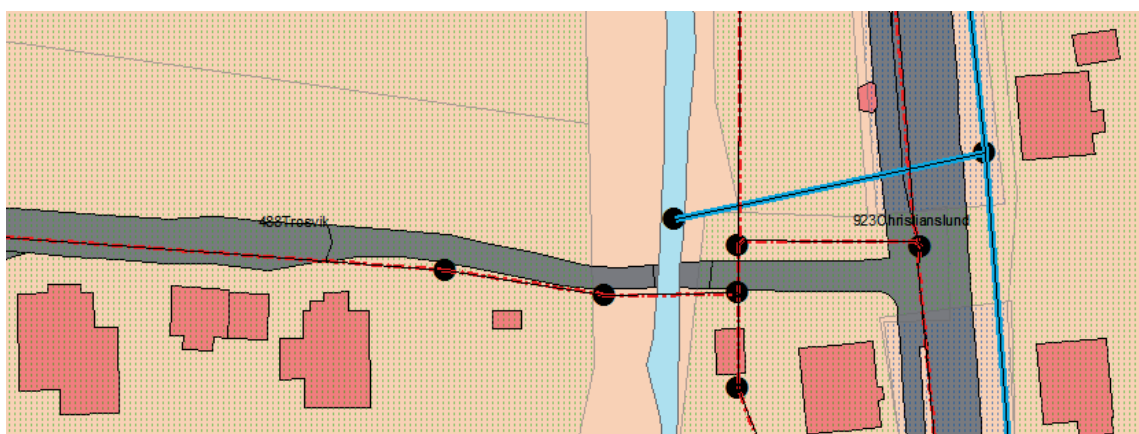
Figur 43: Viser problemområde 9 i grunnkrets Christianslund 1 etter tiltak.

Et rørstrek er skiftet ut til en større dimensjon. Oversikten under viser eksisterende rør og nye rørdimensjoner som vil løse oppstuvingsproblemene.

Pipe ID	Lengde	Type	Rør eksisterende	Type	Nytt rør	Type
	meter		Innv (mm)		Ut/Innv (mm)	
59789	6	Betong	188AF	Betong	315/296,6	Plast PVC SN8,sirkulært



Figur 44: Viser problemområde 10 i grunnkrets Christianslund 2 før tiltak.



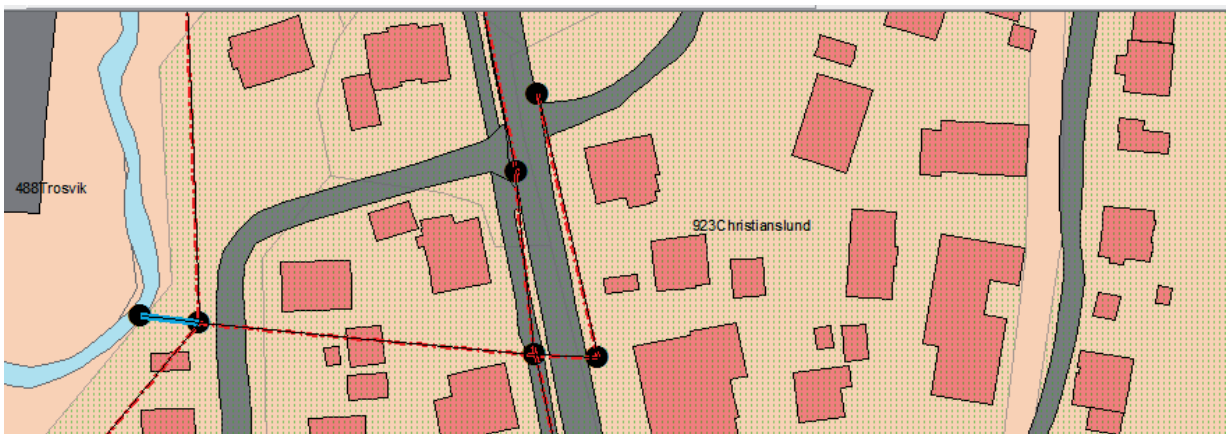
Figur 45: Viser problemområde 10 i grunnkrets Christianslund 2 etter tiltak.

Et rør strekk er skiftes ut til en større dimensjon. Oversikten under viser eksisterende rør og nye rør som behøves.

Pipe ID	Lengde	Rør eksisterende	Type	Nytt rør	Type
	meter	Innv (mm)		Innv(mm)	
25540	25	230AF	Betong	470/705	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør



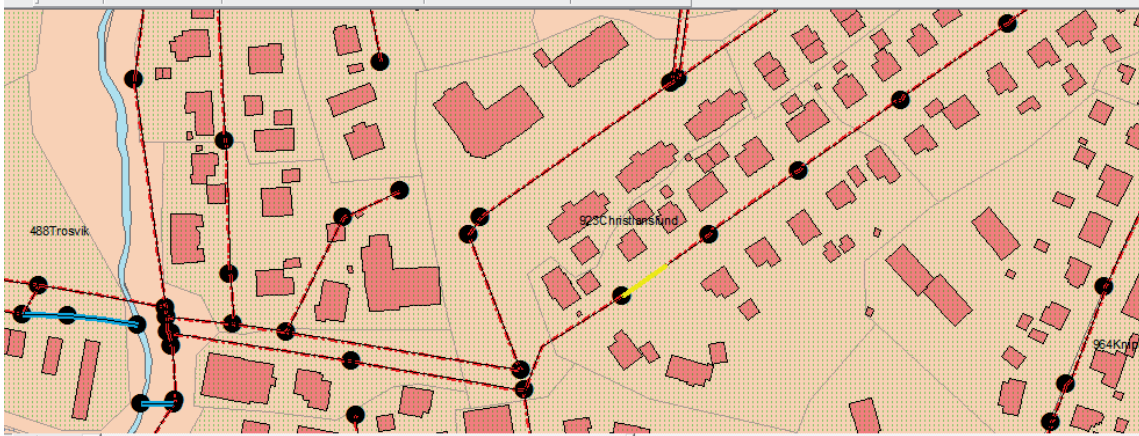
Figur 46: Viser problemområde 11 i grunnkrets Trosvik før tiltak.



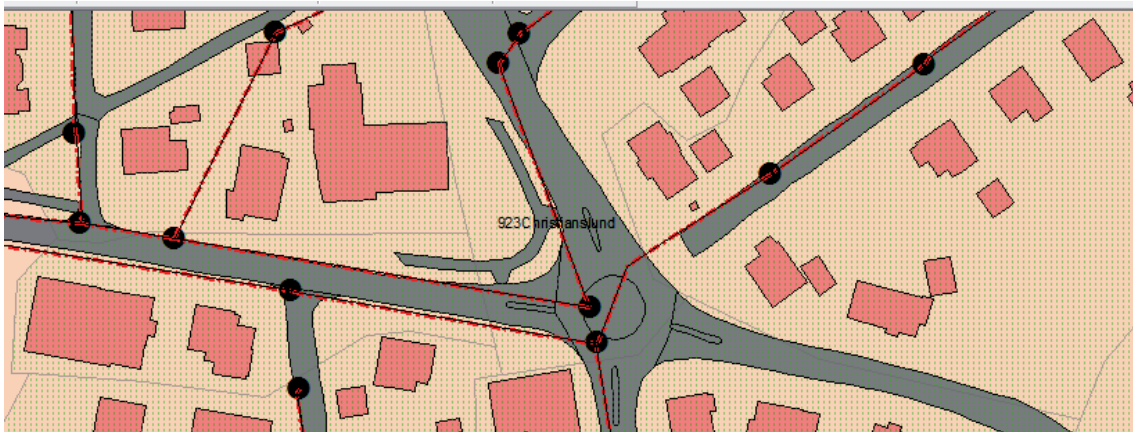
Figur 47: Viser problemområde 11 i grunnkrets Trosvik etter tiltak.

Et rørstreck er skiftet ut til en større dimensjon. Oversikten under viser eksisterende rør og nye nødvendige rørdimensjoner.

Pipe ID	Lengde	Rør eksisterende	Type	Nytt rør	Type
	meter	Innv (mm)		Utv/Innv (mm)	
25535	46	110 AF	Betong	160/150,6	Plast PVC SN8,sirkulært



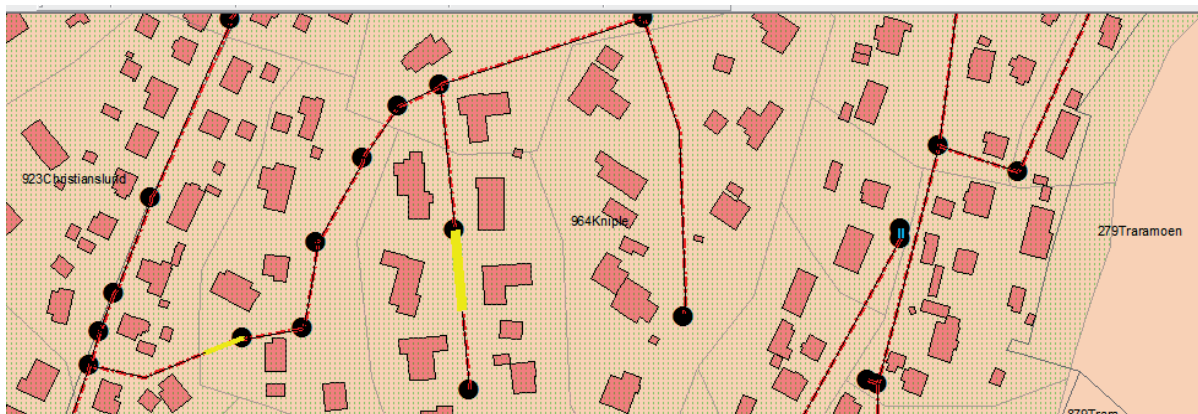
Figur 48: Viser problemområde 12 i grunnkrets Christianslund 3 før tiltak.



Figur 49: Viser problemområde 12 i grunnkrets Christianslund 3 etter tiltak.

Et rør strekk er skiftes ut til en større dimensjon. Oversikten under viser eksisterende rør og nye rør.

Pipe ID	Lengde	Rør eksisterende	Type	Nytt rør	Type
	meter	Innv (mm)		Innv (mm)	
25577	7	230AF	Betong	470/705	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør



Figur 50: Viser problemområde 13 i grunnkrets Kniple før tiltak.



Figur 51: Viser problemområde 13 i grunnkrets Kniple etter tiltak.

De gamle rørene skiftes ut til en større dimensjon. Oversikten under viser eksisterende rør og nye rør. Det en ser er at en må opp i vesentlige dimensjon er i strekning Pipe ID. 25646. Det bør her vurderes andre løsninger for å få til den nødvendige fordrøynings/ magasineringskapasiteten. Dette bør en ta stilling til når en har åpnet den eksisterende grøften. Forslag til alternative løsninger har jeg vist i kapittel 5.

Pipe ID	Lengde	Rør eksisterende	Type	Nytt rør	Type
	meter	Innv (mm)		Innv (mm)	
25646	67	230AF	Betong	800/1200	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør
25586	69	230AF	Betong	296,6	Plast PVC SN8,sirkulært



Figur 52: Viser problemområde 14 i grunnkrets Skrellen/Lia før tiltak.



Figur 53: Viser problemområde 14 i grunnkrets Skrellen/Lia etter tiltak.

Et rørstrek er skiftet ut til en større dimensjon. Oversikten under viser eksisterende rør og nye rør.

Pipe ID	Lengde	Rør eksisterende	Type	Nytt rør	Type
	meter	Innv (mm)		Utv/Innv (mm)	
26776	15	188AF	Betong	315/296,6	Plast PVC SN8,sirkulært



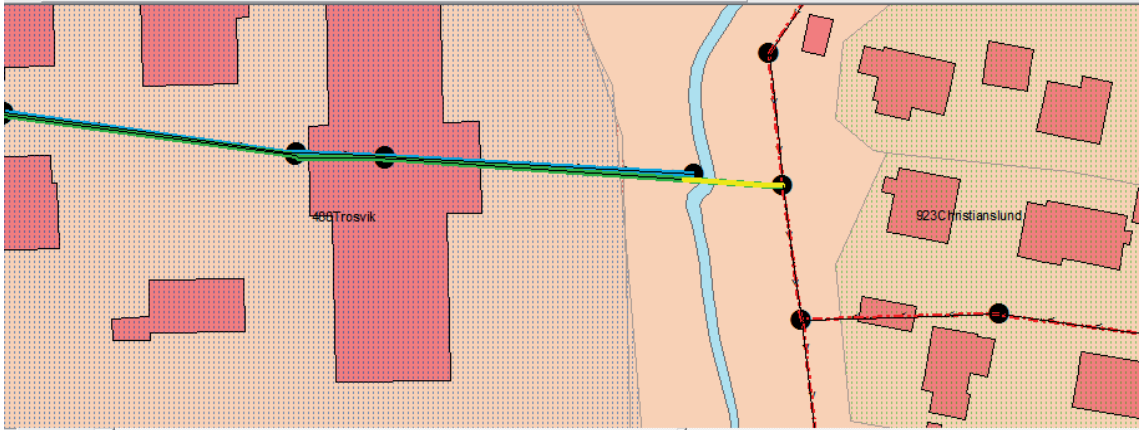
Figur 54: Viser problemområde 15 i grunnkrets Sandbæk før tiltak.



Figur 55: Viser problemområde 15 i grunnkrets Sandbæk etter tiltak.

De gamle rørene skiftes ut til en større dimensjon. Oversikten under viser eksisterende rør og nye rør. Det en ser er at en må opp i vesentlige dimensjoner. Det bør her vurderes andre løsninger for å få til den samme fordrøynings/ magasineringskapasiteten. Det er behov for et magasin på 27 m³. Dette bør en ta stilling til når en har åpnet den eksisterende grøften. Det er også en utfordring at det er meget lavt fall i det eksisterende rørstrekket. Forslag til alternative løsninger har jeg beskrevet i kapittel 5.

Pipe ID	Lengde	Rør eksisterende	Type	Nytt rør	Type
	meter	Innv (mm)		Innv (mm)	
26196	20	230OV	Betong	1300/1950	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør



Figur 56: Viser problemområde 16 i grunnkrets Trosvik-Christianslund før tiltak.



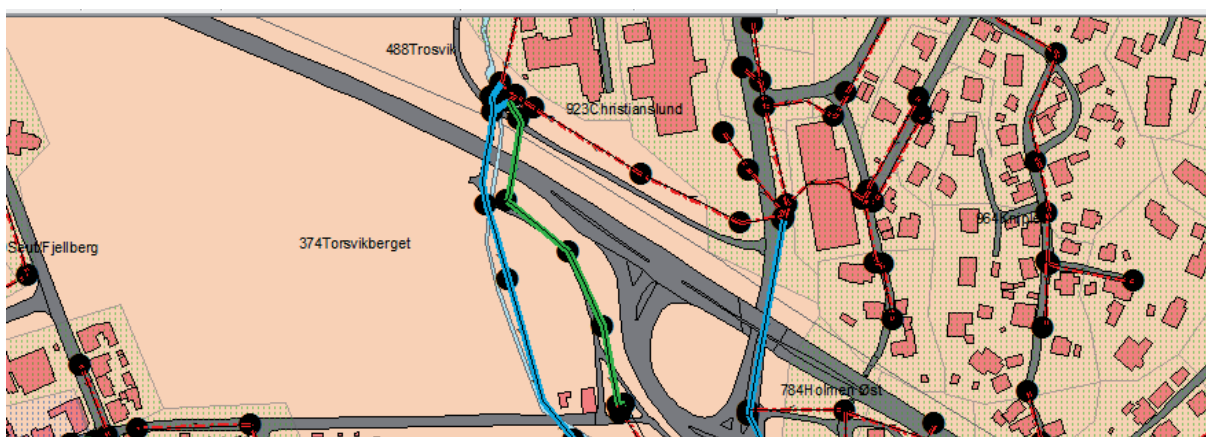
Figur 57: Viser problemområde 16 i grunnkrets Trosvik-Christianslund etter tiltak.

Et rørstrek er skiftet ut til en større dimensjon. Oversikten under viser eksisterende rør og nye rør.

Pipe ID	Lengde	Rør eksisterende	Type	Nytt rør	Type
	meter	Innv (mm)		Utv/Innv (mm)	
26922	70	230SP	Betong	400/376,6	Plast PVC SN8,sirkulært



Figur 58: Viser problemområde 17 i grunnkrets Trosvik-Christianslund før tiltak.



Figur 59: Viser problemområde 17 i grunnkrets Trosvik-Christianslund etter tiltak.

De gamle rørene skiftes ut til en større dimensjon. Følgende oversikt viser eksisterende rør og nye rør. Det en ser er at en må opp i vesentlige dimensjoner. Det bør her vurderes andre løsninger på enkelte strekninger for å få til den samme fordrøynings/magasineringskapasitet. Dette bør en ta stilling til når en har åpnet den eksisterende grøften. Det er også en utfordring at det er meget lavt fall i det eksisterende rørstrekket. Jeg prøvde også å skifte til større pumper i pumpestasjon Node ID 19463, men da oppsto det problemer på Holmen øst. Forslag til alternative løsninger har jeg beskrevet i kapittel 5. Det kan nevnes at disse rørstrekkeene var en meget stor utfordring å få løst.

Pipe ID	Lengde	Rør eksisterende	Type	Nytt rør	Type
	meter	Innv (mm)		Innv (mm)	
25787	11	296AF	Betong	500/750	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør
25789	6	296AF	Betong	600/900	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør
25791	12	235AF	Betong	700/1050	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør
25792	44	600SP	Betong	800/1200	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør
25772	42	296SP/AF	Betong	800/1200	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør
25773	44	296SP/AF	Betong	700/1050	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør
25764	43	296SP/AF	Betong	600/900	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør
59953	4	230 SP	Betong	600/900	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør

6.3 Kostnader for tiltak per problemområde og totalt i rørsystemet

Når det gjelder kostnadene har jeg brukt Fredrikstad kommunes grunnlag for anleggskostnader per 7.august 2010, med et påslag på 10 %. Videre har jeg innhentet priser på de eggformede rørene fra produsent.

Tabell 13: Viser kostnader per tiltak 1 til 6.

Tiltak 1						
Lengde	Nytt rør	Type	Trase	Kost. 1	Kost. 2	Tot. Kost.
meter	Utv/Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
74	315/296,6	Plast PVC SN8,sirkulært	Jorde	850	400	92 500
122	315/296,6	Plast PVC SN8,sirkulært	Jorde	850	400	152 500
36	315/296,6	Plast PVC SN8,sirkulært	Jorde	850	400	45 000
						290 000

Tiltak 2						
Lengde	Nytt rør	Type	Trase	Kost. 1	Kost. 2	Tot. Kost.
meter	Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
28	188,2	Plast PVC SN8,sirkulært	Terreng	850	300	32 200
71	470/705	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør	Terreng	1400	5850	514 750
83	470/705	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør	Terreng	1400	5850	601 750
						1 148 700

Tiltak 3						
Antall	Nytt rør	Type	Trase	Kostn. 1	Kostn. 2	Tot. Kost.
meter	Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
96	470/705	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør	Vei	1400	5850	696 000

Tiltak 4						
Lengde	Nytt rør	Type	Trase	Kostn. 1	Kostn. 2	Tot. Kost.
meter	Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
73	470/705	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør	Vei	1400	5850	529 250
71	470/705	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør	Vei	1400	5850	514 750
144						1 044 000

Tiltak 5						
Lengde	Nytt rør	Type	Trase	Kostn. 1	Kostn. 2	Tot. Kost.
meter	Utv/Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
43	400/376,6	Plast PVC SN8,sirkulært	Vei	1 100	650	75 250

Tiltak 6						
Lengde	Nytt rør	Type	Trase	Kostn. 1	Kostn. 2	Tot. Kost.
meter	Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
38	600/900	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør	Vei	2 600	6 300	338 200

Tabell 14: Viser kostnader per tiltak 7 til 12.

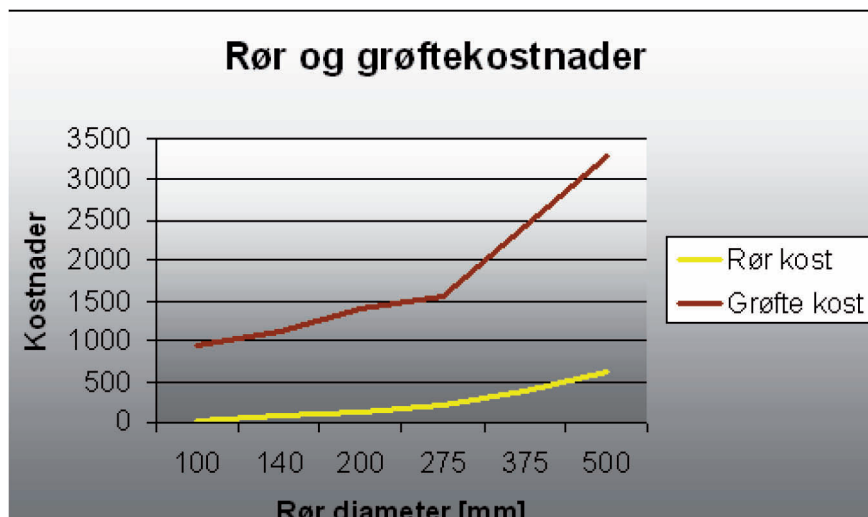
Tiltak 7						
Lengde	Nytt rør	Type	Trase	Kostn. 1	Kostn. 2	Tot. Kost.
meter	Utv/Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
19	315/296,6	Plast PVC SN8,sirkulært	Vei	850	400	23 750
25	315/296,6	Plast PVC SN8,sirkulært	Vei	850	400	31 250
44						55 000
Tiltak 8						
Lengde	Nytt rør	Type	Trase	Kostn. 1	Kostn. 2	Tot. Kost.
meter	Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
71	296,6	Plast PVC SN8,sirkulært	Vei	850	400	88 750
41	188,2	Plast PVC SN8,sirkulært	Vei	850	300	47 150
24	188,2	Plast PVC SN8,sirkulært	Vei	850	300	27 600
18	188,2	Plast PVC SN8,sirkulært	Vei	850	300	20 700
55	188,2	Plast PVC SN8,sirkulært	Vei	850	300	63 250
53	188,2	Plast PVC SN8,sirkulært	Vei	850	300	60 950
84	376,6	Plast PVC SN8,sirkulært	Vei	1 100	650	147 000
108	1200/1800	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør	Vei	7 500	16 575	2 600 100
454						3 055 500
Tiltak 9						
Lengde	Nytt rør	Type	Trase	Kostn. 1	Kostn. 2	Tot. Kost.
meter	Utv/Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
6	315/296,6	Plast PVC SN8,sirkulært	Vei	850	400	7 500
Tiltak 10						
Lengde	Nytt rør	Type	Trase	Kostn. 1	Kostn. 2	Tot. Kost.
meter	Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
25	470/705	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør	Langs vei	1400	5850	181 250
Tiltak 11						
Lengde	Nytt rør	Type	Trase	Kostn. 1	Kostn. 2	Tot. Kost.
meter	Utv/Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
46	160/150,6	Plast PVC SN8,sirkulært	Langs vei	850	300	52 900
Tiltak 12						
Lengde	Nytt rør	Type	Trase	Kostn. 1	Kostn. 2	Tot. Kost.
meter	Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
7	470/705	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør	Vei	1400	5850	50 750

Tabell 13 og 14 viser kostnadene for tiltak 1 t.o.m. 12. Vi ser at tiltak 9 er det rimeligste, og at tiltak 8 er det dyreste. I tiltak 8 er det spesielt det siste rørstrekket som utgjør den største delen av kostnadene.

Tabell 15: Viser kostnader per tiltak 13 til 17.

Tiltak 13						
Lengde	Nytt rør	Type	Trase	Kostn. 1	Kostn. 2	Tot. Kost.
meter	Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
67	800/1200	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør	Vei	2 100	8 920	738 340
69	297	Plast PVC SN8,sirkulært	Vei	850	400	86 250
136						824 590
Tiltak 14						
Lengde	Nytt rør	Type	Trase	Kostn. 1	Kostn. 2	Tot. Kost.
meter	Utv/Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
15	315/296,6	Plast PVC SN8,sirkulært	Vei	850	400	18 750
Tiltak 15						
Lengde	Nytt rør	Type	Trase	Kostn. 1	Kostn. 2	Tot. Kost.
meter	Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
20	1300/1950	Plast GRP Profil 2/3 Eggformed rør	Vei	8 000	16 575	491 500
Tiltak 16						
Lengde	Nytt rør	Type	Trase	Kostn. 1	Kostn. 2	Tot. Kost.
meter	Utv/Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
70	400/376,6	Plast PVC SN8,sirkulært	Terreng	1 100	650	122 500
Tiltak 17						
Lengde	Nytt rør	Type	Trase	Kostn. 1	Kostn. 2	Tot. Kost.
meter	Innv (mm)			Arbeid	Rør	Totalt
11	500/750	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør	Terreng	1 400	6 100	82 500
6	600/900	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør	Terreng	1 400	6 300	46 200
12	700/1050	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør	Terreng kryss vei	2 100	6 720	105 840
44	800/1200	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør	Terreng undervei/bane	2 100	8 970	487 080
42	800/1200	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør	Vei/	2 100	8 970	464 940
44	700/1050	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør	Vei/Terreng	2 100	6 720	388 080
43	600/900	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør	Vei/Terreng	1 400	6 300	331 100
4	600/900	Plast GRP Profil2/3 Eggformed rør	Vei/Terreng	1 400	6 300	30 800
206						1 936 540

Tabell 15 viser kostnadene for tiltak 13 t.o.m. 17. Her ser vi at tiltak 14 er det rimeligste, og at tiltak 17 er det dyreste.

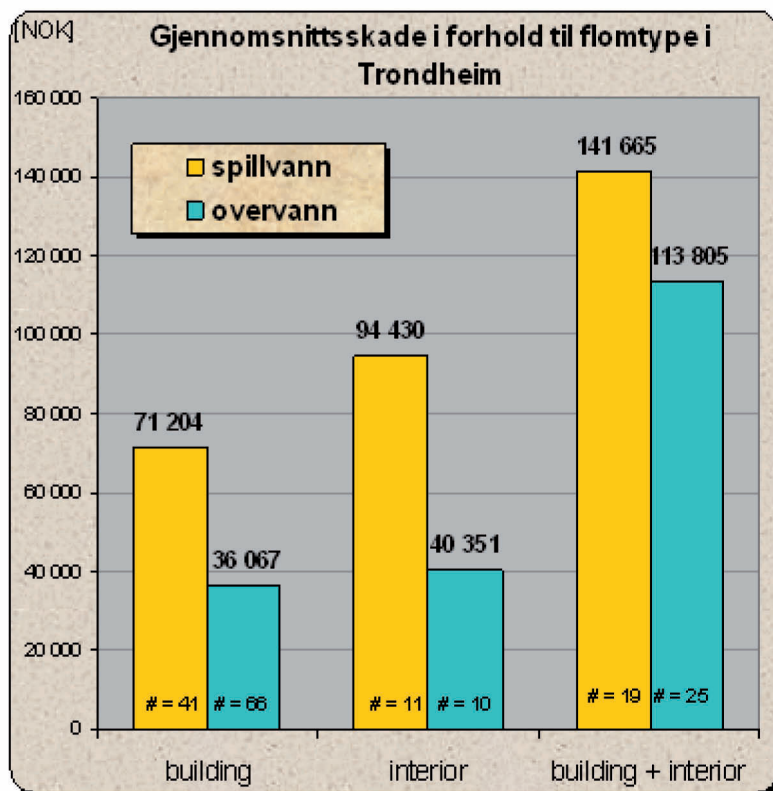


Figur 60: Viser en oversikt over rør og grøftekostnader.(Thorolfsson S. 2007)

Denne figuren viser en oversikt over rørkostnad vs. grøftekostnad. Vi ser at rørprisen er vesentlig lavere enn grøftekostnadene. Videre at de stiger jevnt fra 100 mm opptil ca. 300 mm, der hvor det er rørdiameter over 300 millimeter stiger grøftekostnaden signifikant mer enn rørkostnadene.

Tabell 16: Viser de totale kostnadene samt berørte hus.

Tiltak	Problemområder og type kostnader	Kostnader	Berørte hus
1	Veum	290 000	7
2	Ambjørnrud/Krabberød	1 148 700	6
3	Ambjørnrud/Krabberød/Brønnerud	696 000	5
4	Ambjørnrud/Krabberød/Brønnerud	1 044 000	17
5	Oredalen	75 250	10
6	Sandbæk	338 200	10
7	Oredalen	181 250	10
8	Sandbæk/Christianslund	3 055 500	70
9	Christianslund	7 500	10
10	Christianslund	181 250	4
11	Trosvik	52 900	3
12	Christianslund	50 750	20
13	Kniple	824 590	5
14	Skrellen/Lia	18 750	5
15	Sandbæk	491 500	9
16	TrosvikChristianslund	122 500	5
17	Trosvik/Trosvikberget/Christianslund	1 936 540	4
	Ekstra kostnader grøft	600 000	0
	Spunting	1 200 000	0
	Ny asfalt	3 537 000	0
	Totalt tiltak	15 852 180	0
	Diverse kostnader totalt 50%	7 926 090	0
	Pristigning fra 7/8-2010 +10%	2 377 827	0
	TOTAL kostnader tiltak eks. mva	26 156 097	0
	Kostnad per berørte hus (NORVAR rapport 2004) +2% inflasjon.	166 000	200
	TOTAL kostnader oversvømte kjellere eks. mva	33 200 000	



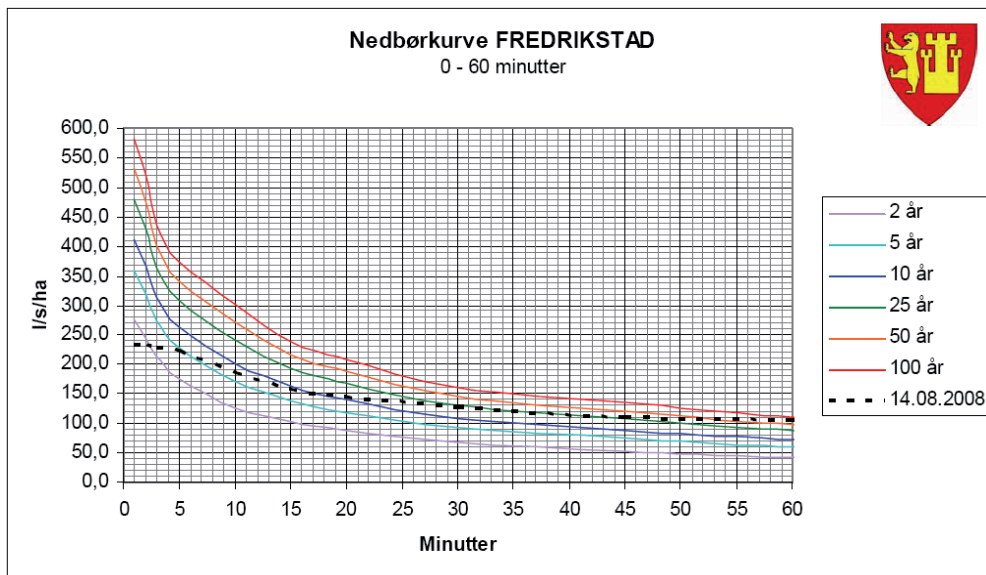
Figur 61: Erstatningsutbetaling for spillvann vs. overvann. (Schilling W. et al. 2004)

Når det gjelder de totale kostnadene, har jeg brukt Fredrikstad kommunes grunnlag for anleggskostnader per 7. august 2010 og innhentet priser på de eggformede rørene fra produsent. Jeg har lagt til diverse 50 % på kostnader som dekker rigg, planlegging, byggeledelse og uforutsatte hendelser. I område 1 ligger det et sykehus og en barnehage som kan bli berørt. I område 17 ligger det en videregående skole.

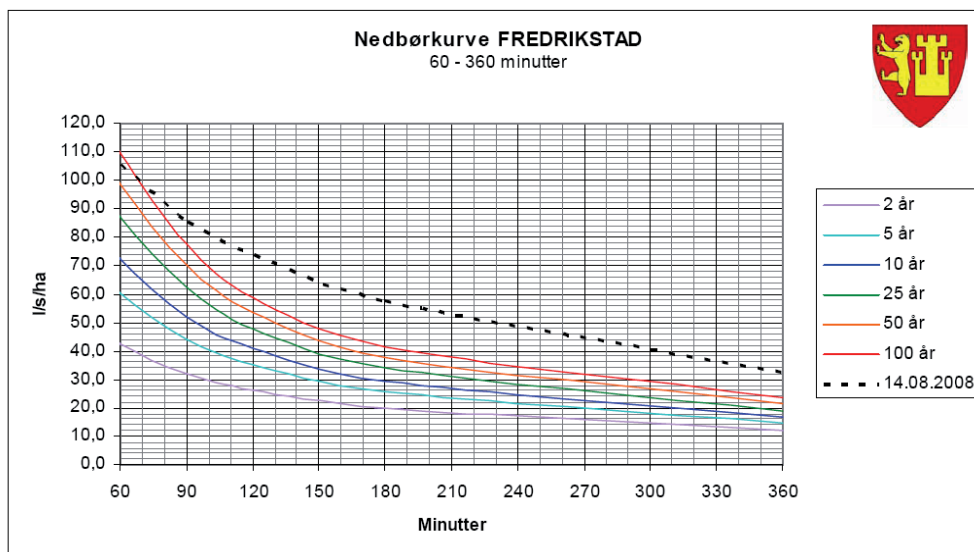
6.4 Tiltak mot overvannproblemene over bakken

I denne andre delen av oppgaven vil jeg studere problemet med flommer i Veumbekken og medfølgende problem med kapasitetsproblemer i kulverten nederst i bekken. Dette er et stort problem som gir store skader ved ekstremregn. Da ingen delfelt i avrenningsarealet er større en 5 km² har jeg brukt en arealreduksjonsfaktor (ARF) på 1,0. Dette betyr at regnintensitetene på IVF-kurvene ikke blir redusert pga. stort nedslagsfelt. ARF er en funksjon av arealet, gjentaksintervallet og regnvarigheten. Jeg vil beskrive de forskjellige avrenningskoeffisienter senere i

oppgaven. Når det gjelder mine beregninger har jeg lagt til grunn koeffisientene fra Fredrikstad kommune overvannsrammeplan av 8. november 2007.



Figur 62: Viser en nedbørskurve for Fredrikstad 0 til 60 min.(Fredrikstad kommune 2008)



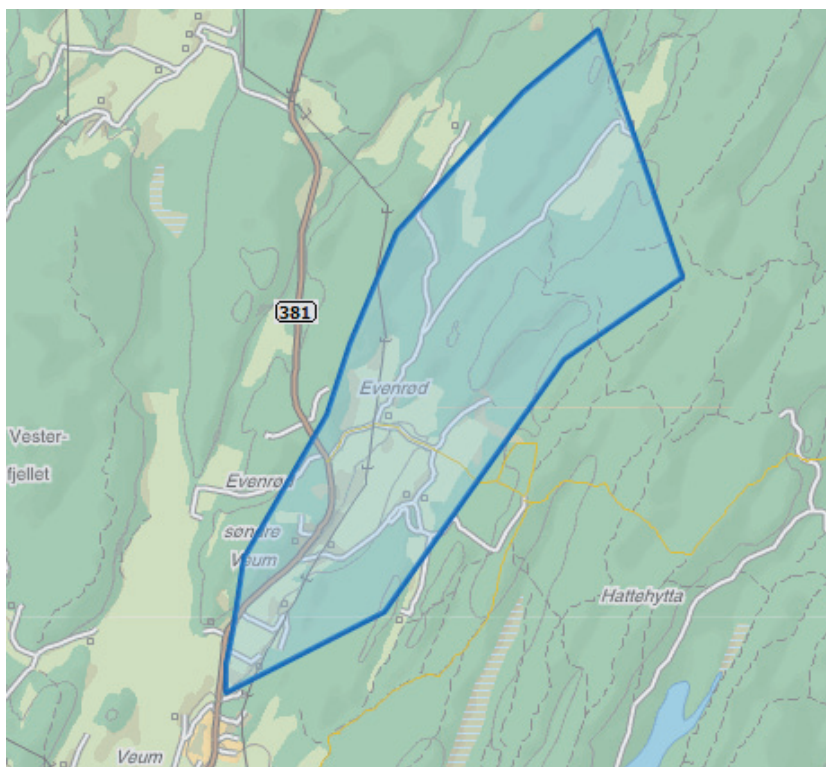
Figur 63: Viser en nedbørskurve for Fredrikstad 60 til 360 min. (Fredrikstad kommune 2008)

Jeg har på de følgende sidene skissert nedbørsfeltene i Veumfeltet over kulverten. Jeg har delt området opp i tre delfelt. Videre har jeg sett på tiltak for hvert delfelt, og deretter delfeltene samlet. Jeg har arbeidet meg systematisk fra nord til sør, og gjort en vurdering av hvor vannet vil renne ved nedbør ut fra de aktuelle kotehøydene. Når det gjelder disse tiltakene, har jeg sett på et 100 års regn med klima faktor 40 %. Jeg har også gjort beregninger med islagte jorder og vinterregn.

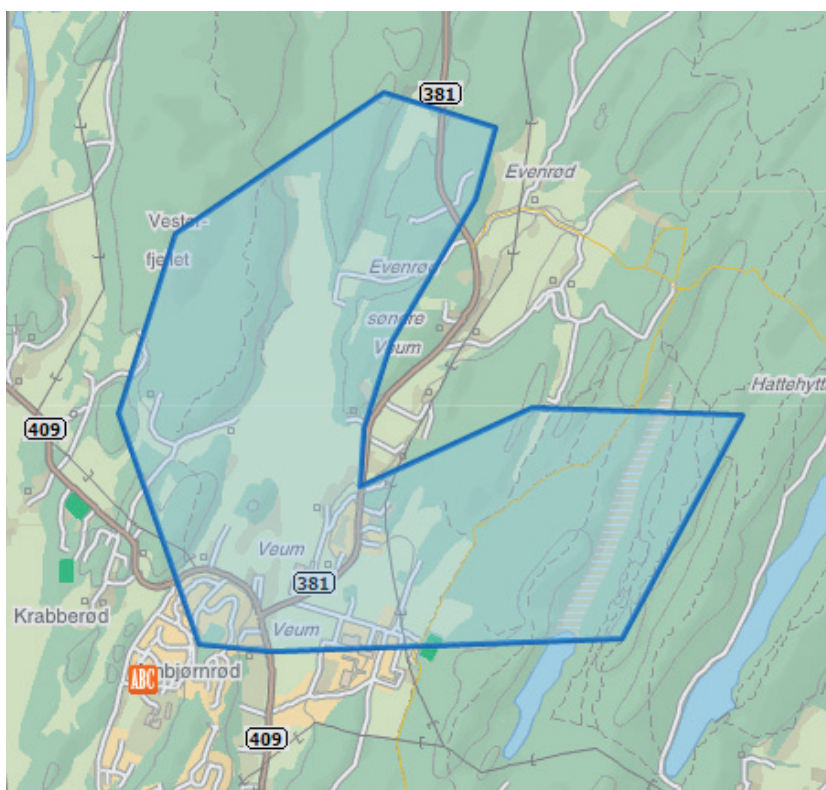


Figur 64: Viser et bilde av øvre dei i Veumfeltet sett mot syd. (Foto: Torbjørn Lothe Vik)

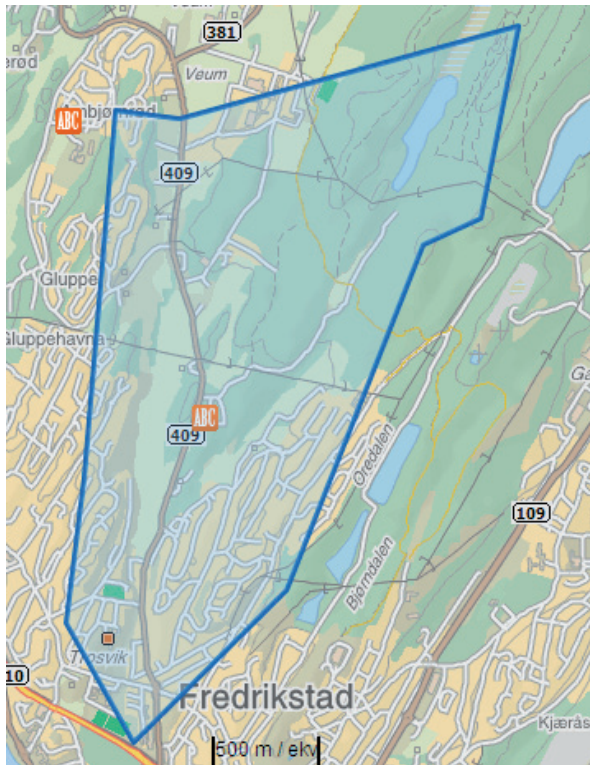
Bildet over ble tatt den 10. januar 2012. Dette var mitt første møte med Veumfeltet og Ole Petter Skallebakke, Fredrikstad kommune.



Figur 65: Viser en oversikt over øvre del i Veumfeltet, delfelt 1.(Finn kart 2012)



Figur 66: Viser en oversikt over nest øvre del i Veumfeltet delfelt 2.(Finn kart 2012)



Figur 67: Viser en oversikt nedre del av Veumfeltet delfelt 3. (Finn kart 2012)

De tre foregående figurene viser de tre forskjellige delfeltene. Jeg vil nå vise de forskjellige formlene som jeg har brukt ved mine beregninger.

Formel 2: Midlere avrenningskoeffisient ved flere delfelt

$$\varphi \text{ midl.} = \frac{\varphi_1 A_1 + \varphi_2 A_2 + \dots + \varphi_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Formel 3: Dimensjonerende regnvarighet

$$t = 0,6 \cdot L \cdot H^{-0,5} + 3000 \cdot Ase$$

Her er:

t = konsentrasjonstid. Minutter

L = lengde av feltet, m

H = høydeforskjellen i feltet, m

Ase = andel innsjø i feltet

Formel 4: Den rasjonelle metoden

$$Q = \varphi \cdot i \cdot A \cdot K$$

Her er:

φ : Ubenevnt avrenningskoeffisient som angir hvor stor del av nedbøren som renner av på overflaten

i: Dimensjonerende nedbørintensitet i l/s•ha. For valgt gjentaksintervall fås dimensjonerende nedbørintensitet fra Meteorologisk institutt (www.eklima.no)

A: Nedbørfeltet i hektar (ha)

K: Ubenevnt klimafaktor som angir hvor høy fremtidig nedbørintensitet antas å bli

i : Forhold til prognosen fra eklima.

Formel 5: Viser formel for arealbehov ved en gitt væskemengde og en gitt fart.

$$Q=A \cdot v$$

Her er:

A=areal

V= hastighet

Formel 6: Areal til en sirkel

$$A= \pi \cdot r^2$$

Her er:

π =Pi

r= radien

Tabell 17: Viser de forskjellige delfeltene med splittet areal.

Felt	KRETSNAVN	Areal totalt	Tak flater	Asfalt/harde	Gress/hage
Del felt 1		Hektar	Hektar	Hektar	Hektar
1	Evenrød	232	0,1	0,1	231,8
Del felt 2		232	0,1224	0,085	231,7926
2	Veum		1,1	0,8	
2	Oredalen		2,5	1,7	
2	Ambjørnrød/krabberød		5,1	2,2	
2	Ambjørnrød/krabberød Syd		4,4	3,1	
2	Brønnerød		0,4	0,3	
Del felt 3		361	13,5	8,0	339,5
3	Skrellen/Lia		1,9	1,3	
3	Sandbæk		4,4	3,1	
3	Trosvik		1,8	1,2	
3	Christianslund		3,3	2,3	
3	Kniple		3,5	2,4	
		404	14,9	10,3	378,8

Kretsene Seut/Fjellberg, Trosvikberget, Holmen øst, St. Hans Fjellet, Holmen Vest og Torvet er ikke med da de ligger syd for kulvertåpningen.

Tabell 18: Viser de midlere avrenningskoeffisienter ϕ per delfelt ref. formel 3.

Felt	ϕ_{mid}	Areal Tak	A real Asfalt	Areal Gress	ϕ_{Tak}	ϕ_{Asfalt}	ϕ_{Gress}
		Hektar	Hektar	Hektar			
Delfelt 1	0,30002	0,1224	0,085	231,8	0,9	0,8	0,3
Delfelt 2	0,33352	13,5	8	339,5	0,9	0,8	0,3
Delfelt 3	0,33488	14,9	10,3	378,8	0,9	0,8	0,3

Jeg har også gjort en beregning hvor jeg har satt avrenningskoeffisienten ϕ til 1 på alle delfeltene. Dette skal representere den situasjonen hvor alle flater er frosset og ikke noe kan infiltrere ned i flatene, eller en situasjon hvor det har regnet så lenge og så mye at grunnvannet står helt opp i markoverflaten.

Tabell 19: Viser tiden for dimensjonerende regnvarighet ref. formel 4.

Felt	t	Konstant	L	H	H1	H2
	minutter		meter	meter	meter	meter
Delfelt 1	206	0,6	2200	41	77	36
Delfelt 2	233	0,6	3100	64	87	23
Delfelt 3	253	0,6	3700	77	87	10

Tabell 20: Viser vannmengden Q i feltet ref. formel 4.

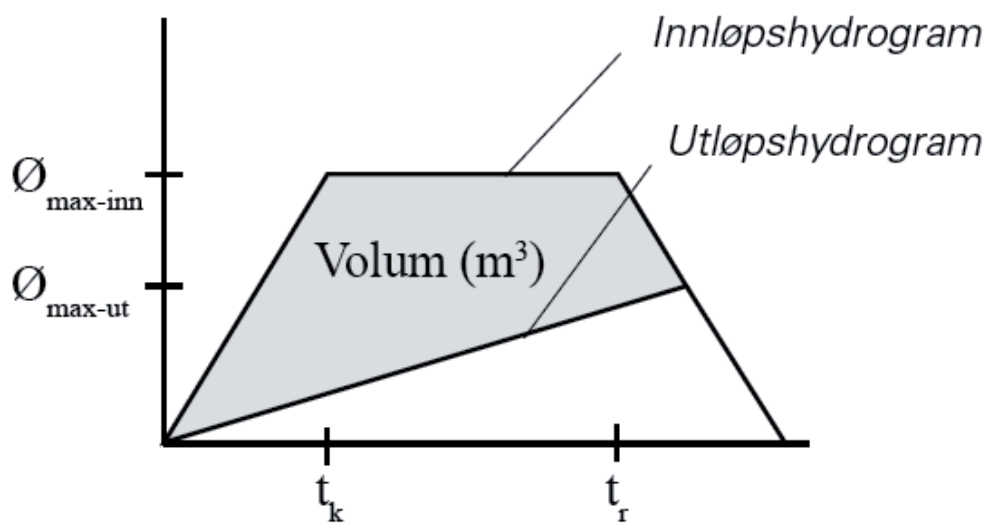
Type felt	Q	φ	i	Areal
	l/s		l/s/Ha	Hektar
Delfelt 1	2784	0,30	40	232
Delfelt 2	4289	0,33	36	361
Delfelt 3	4670	0,34	34	404

Basert på minuttene fra tabell 18 har jeg hentet vannmengden (i) ut fra IVF-kurven i figur 62.

Tabell 21: Viser vannmengde Q i feltene med avrenningskoeffisient 1.

Type felt	Q	φ	i	Areal
	l/s		l/s/Ha	Hektar
Delfelt 1	9280	1,00	40	232
Delfelt 2	12996	1,00	36	361
Delfelt 3	13736	1,00	34	404

Jeg velger å beregne fordrøyningsvolum med den såkalte "Aron & Kiblers metode". Fordelen med denne er at man tar hensyn til varierende vannføring ut av fordrøyningsvolumene.



Figur 68: Viser et eksempel på innløpshydrogram og utløpshydrogram etter Aron og Kibler. (Lindholm O. 2006)

Formel 7: Viser hvordan man beregner tilløpsvolumet

$$V_{\text{inn}} = i_{z,\text{tr}} \cdot t_r \cdot A \cdot \varphi$$

Formel 8: Viser hvordan man beregner utløpsmengden

$$V_{\text{ut}} = Q_{\text{ut}} \cdot ((t_r + t_k)/2)$$

Formel 9: Viser hvordan man beregner nødvendig fordrøyningsvolum (magasin)

$$V_{\text{fordrøyning}} = V_{\text{inn}} - V_{\text{ut}}$$

6.4.1 Beregninger av fordrøyningsmagasiner

Jeg har i de følgende tabellene brukt avrenningskoeffisient ϕ_{mid} og ϕ_1 . Jeg har lagt til grunn 100 års regn med 40 % klimatillegg.

Når det gjelder beregningene ved bruk av avrenningskoeffisient ϕ_1 har jeg brukt sommer IVF kurvene for 100 års regnet og redusert med 50 % iht. avtale med min veileder. Dette er gjort fordi vinterregn er vesentlig mindre enn sommerregn og det finnes ikke IVF kurver for vinterregn.

I 2008 og/eller 2009 kom det nedbør før isen hadde gått fra jordene, ref. figur 69.



Figur 69: Viser bilde av Evenrødveien RV 381 i 2008 sett mot nord. (Foto: Fredrikstad Blad)

Videre har jeg lagt inn en faktor fra 0,7-0,8 da jeg har sett på flere felt samlet. Dette har jeg gjort da jeg anser det som lite sannsynlig at ekstreme isforhold er likt på alle delfeltene samtidig. Videre vil det også være noe infiltrasjon enkelte steder, og noe fordamping.

Tabell 22: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) i delfelt 1 ved avrenningskoeffisient 0,30.

Areal	232 ha
Avrenningskoeffisient ϕ	0,30
Konsentrasjonstid t	206 minutter

Varighet min	Intensitet l/s.ha	Q maks innløp l/sek	Q utløp l/sek	Volum innløp m ³	Volum utløp m ³	Volum fordrøyn. m ³
10	300	20880	1571	12528	10180	2348
15	240	16704	1571	15034	10416	4618
20	220	15312	1571	18374	10651	7723
30	170	11832	1571	21298	11123	10175
40	150	10440	1571	25056	11594	13462
50	120	8352	1571	25056	12065	12991
60	110	7656	1571	27562	12537	15025
70	100	6960	1571	29232	13008	16224
80	88	6125	1571	29399	13479	15920
90	76	5290	1571	28564	13950	14613
100	70	4872	1571	29232	14422	14810
120	60	4176	1571	30067	15364	14703

Tabell 22 viser delfelt 1 med avrenningskoeffisient på 0,30. Det største fordrøyningsvolumet får vi ved 70 minutter. Når det gjelder Q utløp har jeg tatt hensyn til det eksisterende røret som er et 1000 millimeter betongrør.

Tabell 23: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) i delfelt 1 ved avrenningskoeffisient 1.

Areal	232 ha
Avrenningskoeffisient ϕ	1
Konsentrasjonstid t	206 minutter

Varighet min	Intensitet l/s.ha	Q maks innløp l/sek	Q utløp l/sek	Volum innløp m3	Volum utløp m3	Volum fordrøyn. m3
10	150	34800	1571	20880	10180	10700
15	120	27840	1571	25056	10416	14640
20	110	25520	1571	30624	10651	19973
30	85	19720	1571	35496	11123	24373
40	75	17400	1571	41760	11594	30166
50	60	13920	1571	41760	12065	29695
60	55	12760	1571	45936	12537	33399
70	50	11600	1571	48720	13008	35712
80	44	10208	1571	48998	13479	35519
90	38	8816	1571	47606	13950	33656
100	35	8120	1571	48720	14422	34298
120	30	6960	1571	50112	15364	34748

Tabell 24: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) i delfelt 2 ved avrenningskoeffisient 0,33.

Areal	361 ha
Avrenningskoeffisient ϕ	0,33
Konsentrasjonstid t	233 minutter

Varighet min	Intensitet l/s.ha	Q maks innløp l/sek	Q utløp l/sek	Volum innløp m3	Volum utløp m3	Volum fordrøyn. m3
10	300	35739	2160	21443	15746	5 697
15	240	28591	2160	25732	16070	9 662
20	220	26209	2160	31450	16394	15 056
30	170	20252	2160	36454	17042	19 411
40	150	17870	2160	42887	17690	25 196
50	120	14296	2160	42887	18338	24 548
60	110	13104	2160	47175	18986	28 189
70	100	11913	2160	50035	19634	30 400
80	88	10483	2160	50321	20282	30 038
90	76	9054	2160	48891	20930	27 961
100	70	8339	2160	50035	21578	28 456
120	60	7148	2160	51464	22874	28 590

Tabell 25: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) i delfelt 2 ved avrenningskoeffisient 1.

Areal	361 ha
Avrenningskoeffisient ϕ	1
Konsentrasjonstid t	233 minutter

Varighet min	Intensitet l/s.ha	Q maks innløp l/sek	Q utløp l/sek	Volum innløp m3	Volum utløp m3	Volum fordrøyn. m3
10	150	32490	2160	19494	15746	3 748
15	120	25992	2160	23393	16070	7 322
20	110	23826	2160	28591	16394	12 197
30	85	18411	2160	33140	17042	16 097
40	75	16245	2160	38988	17690	21 298
50	60	12996	2160	38988	18338	20 650
60	55	11913	2160	42887	18986	23 900
70	50	10830	2160	45486	19634	25 852
80	44	9530	2160	45746	20282	25 464
90	38	8231	2160	44446	20930	23 516
100	35	7581	2160	45486	21578	23 908
120	30	6498	2160	46786	22874	23 911

Tabell 23 viser delfelt 1 med avrenningskoeffisient 1.

Tabell 24 viser delfelt 2 med avrenningskoeffisient på 0,33.

Tabell 25 viser delfelt 2 med avrenningskoeffisient 1.

Jeg har i tabell 23 og 25 brukt sommer IVF kurvene for 100 års regnet og redusert med 50 % som beskrevet tidligere.

For alle tre tabellene ser vi at vi får det største fordrøyningsvolumet ved 70 minutter.

Tabell 26: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) i delfelt 1 og 2 ved avrenningskoeffisient 0,33.

Areal	593 ha
Avrenningskoeffisient ϕ	0,33
Konsentrasjonstid t	233 minutter

Varighet min	Intensitet l/s.ha	Q maks innløp l/sek	Q utløp l/sek	Volum innløp m3	Volum utløp m3	Volum fordrøyn. m3
10	300	58707	2160	35224	15746	19478
15	240	46966	2160	42269	16070	26199
20	220	43052	2160	51662	16394	35268
30	170	33267	2160	59881	17042	42839
40	150	29354	2160	70448	17690	52758
50	120	23483	2160	70448	18338	52110
60	110	21526	2160	77493	18986	58507
70	100	19569	2160	82190	19634	62555
80	88	17221	2160	82659	20282	62377
90	76	14872	2160	80311	20930	59381
100	70	13698	2160	82190	21578	60611
120	60	11741	2160	84538	22874	61664

Tabell 27: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) i delfelt 1 og 2 ved avrenningskoeffisient 0,33.

Areal	593 ha
Avrenningskoeffisient ϕ	1
Konsentrasjonstid t	233 minutter

Varighet min	Intensitet l/s.ha	Q maks innløp l/sek	Q utløp l/sek	Volum innløp m3	Volum utløp m3	Volum fordrøyn. m3
10	150	53370	2160	32022	15746	16 276
15	120	42696	2160	38426	16070	22 356
20	110	39138	2160	46966	16394	30 571
30	85	30243	2160	54437	17042	37 395
40	75	26685	2160	64044	17690	46 354
50	60	21348	2160	64044	18338	45 706
60	55	19569	2160	70448	18986	51 462
70	50	17790	2160	74718	19634	55 084
80	44	15655	2160	75145	20282	54 863
90	38	13520	2160	73010	20930	52 080
100	35	12453	2160	74718	21578	53 140
120	30	10674	2160	76853	22874	53 978

Tabell 28: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) i delfelt 3 ved avrenningskoeffisient 0,34.

Areal	404 ha
Avrenningskoeffisient ϕ	0,34
Konsentrasjonstid t	253 minutter

Varighet min	Intensitet l/s.ha	Q maks innløp l/sek	Q utløp l/sek	Volum innløp m ³	Volum utløp m ³	Volum fordrøyn. m ³
10	300	41208	7500	24725	59175	-34450
15	240	32966	7500	29670	60300	-30630
20	220	30219	7500	36263	61425	-25162
30	170	23351	7500	42032	63675	-21643
40	150	20604	7500	49450	65925	-16475
50	120	16483	7500	49450	68175	-18725
60	110	15110	7500	54395	70425	-16030
70	100	13736	7500	57691	72675	-14984
80	88	12088	7500	58021	74925	-16904
90	76	10439	7500	56373	77175	-20802
100	70	9615	7500	57691	79425	-21734
120	60	8242	7500	59340	83925	-24585

Tabell 26 og 27 viser delfelt 1 og 2 med avrenningskoeffisient på hhv. 0,33 og 1. Vi ser at ved begge tilfeller er det størst fordrøyningsbehov ved 70 minutter.

Tabell 28 viser delfelt 3 med avrenningskoeffisient på 0,34. Når vi ser på delfelt 3 isolert, får vi ikke behov for fordrøyningsmagasin.

Tabell 29: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) i delfelt 3 ved avrenningskoeffisient 1,0.

Areal	404 ha
Avrenningskoeffisient ϕ	1
Konsentrasjonstid t	253 minutter

Varighet min	Intensitet l/s.ha	Q maks innløp l/sek	Q utløp l/sek	Volum innløp m3	Volum utløp m3	Volum fordrøyn. m3
10	150	60600	7500	36360	59175	-22815
15	120	48480	7500	43632	60300	-16668
20	110	44440	7500	53328	61425	-8097
30	85	34340	7500	61812	63675	-1863
40	75	30300	7500	72720	65925	6795
50	60	24240	7500	72720	68175	4545
60	55	22220	7500	79992	70425	9567
70	50	20200	7500	84840	72675	12165
80	44	17776	7500	85325	74925	10400
90	38	15352	7500	82901	77175	5726
100	35	14140	7500	84840	79425	5415
120	30	12120	7500	87264	83925	3339

Tabell 30: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) for alle 3 delfeltene ved avrenningskoeffisient 0,32.

Areal	997 ha
Avrenningskoeffisient ϕ	0,32
Konsentrasjonstid t	337 minutter

Varighet min	Intensitet l/s.ha	Q maks innløp l/sek	Q utløp l/sek	Volum innløp m3	Volum utløp m3	Volum fordrøyn. m3
10	300	95712	7500	57427	78075	-20 648
15	240	76570	7500	68913	79200	-10 287
20	220	70189	7500	84227	80325	3 902
30	170	54237	7500	97626	82575	15 051
40	150	47856	7500	114854	84825	30 029
50	120	38285	7500	114854	87075	27 779
60	110	35094	7500	126340	89325	37 015
70	100	31904	7500	133997	91575	42 422
80	88	28076	7500	134762	93825	40 937
90	76	24247	7500	130934	96075	34 859
100	70	22333	7500	133997	98325	35 672
120	60	19142	7500	137825	102825	35 000

Tabell 31: Viser nødvendig fordrøyningsvolum (magasin) for alle 3 delfeltene ved avrenningskoeffisient 0,7.

Areal	997 ha
Avrenningskoeffisient ϕ	0,7
Konsentrasjonstid t	337 minutter

Varighet min	Intensitet l/s.ha	Q maks innløp l/sek	Q utløp l/sek	Volum innløp m3	Volum utløp m3	Volum fordrøyn. m3
10	150	104685	7500	62811	78075	-15 264
15	120	83748	7500	75373	79200	-3 827
20	110	76769	7500	92123	80325	11 798
30	85	59322	7500	106779	82575	24 204
40	75	52343	7500	125622	84825	40 797
50	60	41874	7500	125622	87075	38 547
60	55	38385	7500	138184	89325	48 859
70	50	34895	7500	146559	91575	54 984
80	44	30708	7500	147396	93825	53 571
90	38	26520	7500	143209	96075	47 134
100	35	24427	7500	146559	98325	48 234
120	30	20937	7500	150746	102825	47 921

Tabell 29 viser delfelt 3 med avrenningskoeffisient 1.

Tabell 30 viser alle delfeltene med avrennings koeffisient på 0,32.

Tabell 31 viser alle delfeltene med avrenningskoeffisient på 0,7. Jeg har her brukt avrenningskoeffisient 0,7 da jeg anser det som lite sannsynlighet at ekstreme isforhold er likt på alle delfeltene samtidig.

Jeg har i tabell 29 og 31 brukt sommer IVF kurvene for 100 års regnet og redusert med 50 % som beskrevet tidligere.

Vi ser også her at det største fordrøyningsvolumet fås ved 70 minutter i samtlige tabeller.

6.4.2 Tiltak for alle delfeltene

I delfelt 1 går bekken rett inn i Evenrødveien. Bekken blir her lagt i et 1000 millimeter sirkulært rør av betong. (Målt den 28.04.2012)

Tabell 32: Viser delfelt 1 etter tiltak men med avrenningskoeffisient 1.

Areal	232 ha
Avrenningskoeffisient ϕ	1
Konsentrasjonstid t	206 minutter

Varighet min	Intensitet l/s.ha	Q maks innløp l/sek	Q utløp l/sek	Volum innløp m ³	Volum utløp m ³	Volum fordrøyn. m ³
10	150	34800	5884	20880	38128	-17248
15	120	27840	5884	25056	39011	-13955
20	110	25520	5884	30624	39894	-9270
30	85	19720	5884	35496	41659	-6163
40	75	17400	5884	41760	43424	-1664
50	60	13920	5884	41760	45189	-3429
60	55	12760	5884	45936	46954	-1018
70	50	11600	5884	48720	48720	0
80	44	10208	5884	48998	50485	-1486
90	38	8816	5884	47606	52250	-4644
100	35	8120	5884	48720	54015	-5295
120	30	6960	5884	50112	57546	-7434

For at dette feltet ikke skal ha problemer øker jeg Q utløp til 5884 l/s. Det er da et areal behov på 6,6 m². Jeg har tatt utgangspunkt i nytt areal minus eksistrenede rør. Dette gjøres ved at det lages en åpen løsning for vann med bru eller lignende. Det kan også legges stikkrenner. Det er da behov for 4 nye rør med minimum innvendig diameter 1000 millimeter under Evenrødveien. Det er nå ikke behov for fordrøyning ved et 100 års regn med klima faktor 40 % og islagte jorder. Jeg har her brukt sommer IVF kurvene for 100 års regnet og redusert med 50 % iht. avtale med min veileder, Oddvar Lindholm. Dette er gjort fordi vinter regn er vesentlige mindre enn sommerregn og det finnes ikke IVF kurver for vinterregn.

Tabell 33: Viser delfelt 1 og 2 etter tiltak men med avrenningskoeffisient 0,8.

Areal	593 ha
Avrenningskoeffisient ϕ	0,8
Konsentrasjonstid t	233 minutter

Varighet min	Intensitet l/s.ha	Q maks innløp l/sek	Q utløp l/sek	Volum innløp m ³	Volum utløp m ³	Volum fordrøyn. m ³
10	150	71160	10960	42696	79898	-37 202
15	120	56928	10960	51235	81542	-30 307
20	110	52184	10960	62621	83186	-20 566
30	85	40324	10960	72583	86474	-13 891
40	75	35580	10960	85392	89762	-4 370
50	60	28464	10960	85392	93050	-7 658
60	55	26092	10960	93931	96338	-2 407
70	50	23720	10960	99624	99626	-2
80	44	20874	10960	100193	102914	-2 721
90	38	18027	10960	97347	106202	-8 856
100	35	16604	10960	99624	109490	-9 866
120	30	14232	10960	102470	116066	-13 596

Jeg har her brukt avrenningskoeffisient 0,8 da jeg anser det som lite sannsynlighet at ekstreme isforhold er likt på begge delfelte samtidig. For at delfelt 1 og 2 samlet ikke skal ha problemer øker jeg Q utløp til 10 960 l/s. Dette gjøres ved at Veumbekken må øke sitt tverrsnitts areal til 5,48 m². Bekken må gjøres bredere og dypere fra Evenrødveien og ned til kulverten ved Merkur-banene. Dette må tilpasses terrenget. Det tilsvarer et rør på 2,6 meter med en vannhastighet på 2 m/s. Velges det å utvide bekken bør ikke vannhastigheten være mer enn maks 2 m /s på grunn av utgravinger og lignende.



Figur 70: Viser hvor Veumbekken bør utvides.(Finn kart 2012)

Tabell 34: Viser delfelt 1, 2 og 3 etter tiltak men med avrenningskoeffisient 0,7.

Areal	997 ha
Avrenningskoeffisient ϕ	0,7
Konsentrasjonstid t	337 minutter

Varighet min	Intensitet l/s.ha	Q maks innløp l/sek	Q utløp l/sek	Volum innløp m3	Volum utløp m3	Volum fordrøyn. m3
10	150	104685	12050	62811	125441	-62 630
15	120	83748	12050	75373	127248	-51 875
20	110	76769	12050	92123	129056	-36 933
30	85	59322	12050	106779	132671	-25 892
40	75	52343	12050	125622	136286	-10 664
50	60	41874	12050	125622	139901	-14 279
60	55	38385	12050	138184	143516	-5 331
70	50	34895	12050	146559	147131	-572
80	44	30708	12050	147396	150746	-3 349
90	38	26520	12050	143209	154361	-11 151
100	35	24427	12050	146559	157976	-11 417
120	30	20937	12050	150746	165206	-14 459

Jeg har her brukt avrenningskoeffisient 0,7 da jeg anser at ekstreme isforhold er likt på alle 3 delfeltene samtidig som svært liten.

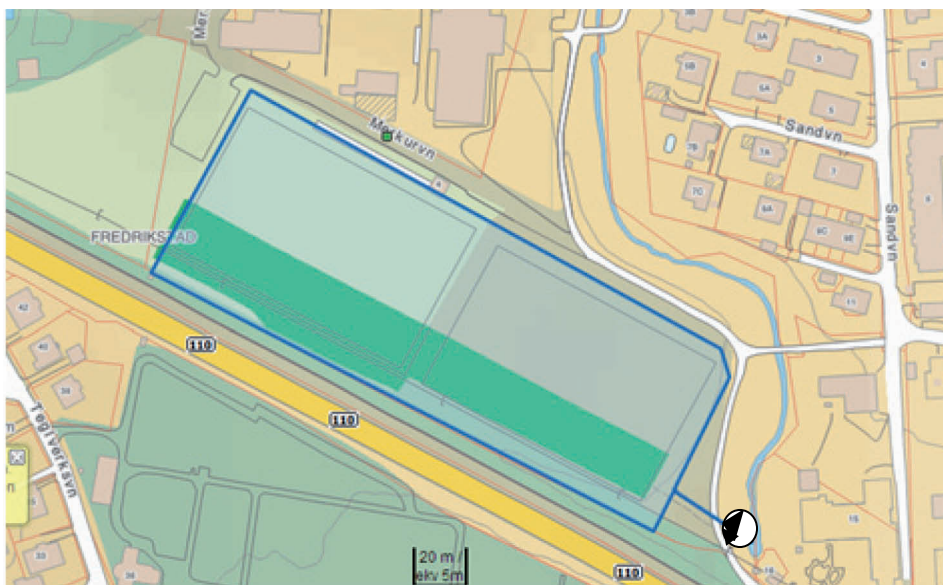
For at delfelt 1, 2 og 3 samlet ikke skal ha problemer øker jeg Q utløp fra 7500 til 12050 l/s. Dette gjøres ved at det monteres 2 stk. Grundfos pumper (eller tilsvarende) i parallell de har hver en kapasitet på 2,5 m³/s. Pumpene pumper da vann opp til Merkur-banene som må bygges inn med jordvoller eller lignende rundt. Jeg vil anta at jernbanetraséen med eventuelt litt forsterkninger kan brukes som voll på den ene siden. Dette forutsetter at Veumbekken er rensset for spillvann iht. mine tidligere tiltak på rørledningsnettet. Merkur-banene må da ha et fordrøyningsvolum på 19 110 m³.

$Q=4550 \text{ l/s (12050-7500)*70 min.} = 19\ 110 \text{ m}^3$. Arealet som kan brukes ved begge Merkur-banene tilsammen er på 14 513 m². Den østlige banen er 7 638 m² (114X67 meter) og den vestre inkl. et lite område mellom banene er på 7 921 m². Den østlige banen ligger 1 meter lavere en den vestlige. Totalt for å dekke volumet må det være en voll eller lignende på 1,5 meter rundt østre bane og rundt den vestlige bane må det være en voll på 1,1 meter. Banene ligger mot hverandre så det er kun behov for

å lage en voll eller lignende på tre sider. Viser til figur nr. 71. Jeg har ikke tatt hensyn til infiltrasjon eller fordampning.

Et annet alternativ er å åpne hele kulverten slik som Caroline Dilling, UMB 2012 har forslått se forslag i figur.73. Hennes løsning er beregnet ut fra en 50 års flom.

Eventuelt kan det gjøres et en kombinasjon av å åpne kulverten og mine beskrevne tiltak.



Figur 71: Viser plassering av fordrøyningsmagasin i nedre del av Veumfeltet i delfelt 3 med pumpestasjon.(Finn kart 2012)



Figur 72: Viser et bilde fra Veumbekken ved overgang fra åpen bekk til kulvert. (Foto: Torbjørn Lothe Vik 2012)



Figur 73: Viser et eksempel på Veumbekken gjenåpnet. (Dilling C. 2012)

6.5 Kostnader for tiltak per problemområder over bakken per sted og totalt

Når det gjelder kostnadene, har jeg brukt Fredrikstad kommunes grunnlag for anleggskostnader per 7. august 2010, med et påslag på 10 %. Videre har jeg innhentet priser på pumpene. Kostnader som ikke dekkes av ovennevnte antatt.

Tabell 35: Viser en kostnadsoversikt på problemområder over bakken

Tiltak	Antall	Type	Kostn. 1	Kostn. 2	Tot. Kost.	Merknader
	meter/stk//m2	Utv/Innv (mm)/m3/meter	Arbeid	Produkt	Totalt	
Felt 1	48	1170/1000 Profilrør SN 8	2100	2600	225 600	Legge ny 4 rør som stikk renner Eventuelt lage en annen løsning til samme pris
Felt 2	1900	3 m3 (5,48-2) Masse flytting	200	0	1 140 000	Eventuelt transport kommer i tillegg. Pris per m3 personlig meddelse fra Odd Lieng Norsk Rørsenter den 8.mai 2012. Utvide grøfte trase i 50 % av den totale lengden 3800.
Felt 3	181	1,5 meter	1000	1500	271 500	Bygge voll, vannt gjerde eller lignende vestre bane
	171	1,1 meter	1000	1000	256 500	Bygge voll, tett gjerde eller lignende Østre bane
	4	Vanntette porter			20 000	
	2	10000 KLP11112T3 Grundfos			2 000 000	Antatt i samarbeid med Grundfos Norge Arild Engh 11.05.2012.Prisen er inkl. montering.
	1	Pumpe hus			1 000 000	Inkl.montering
	1	Rørøplegg og ny støm tilførsel			100 000	
	Totalt	Uforutsette kostnader			1 500	Evt.lenger utvidelse av bekken(enn 50% av lengden.)
	50	Ny asfalt		3000	150 000	
		Totalt tiltak			5 165 100	
		Diverse kostnader totalt 50%			7 747 650	
		Pristigning fra 7/8-2010 +10%			774 765	
		TOTAL kostnader tiltak eks. mva			13 687 515	

6.6 Nåverdi

For å beregne lønnsomheten av en investering brukes nåverdimetoden. Dette er en metode for å beregne lønnsomheten basert på nåverdien av fremtidige diskonterte kontantstrømmer. Med en positiv nåverdi vil investeringen være lønnsom, med en negativ nåverdi vil investeringen være ulønnsom.

Formel 10: Viser formelen for nåverdien

$$NV = -\frac{CF_0}{(1+i)^0} + \frac{CF_1}{(1+i)^1} + \frac{CF_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+i)^n} = -CF_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

Her er:

CF_t - kontantoverskudd eller innbetalingsoverskuddet i år t.

CF_0 - investeringsutgiften

n-levetiden

i-kalkulasjonsrenten

Tabell 36: Viser nåverdiutregningen av forslåtte tiltak for rør.

1000 kroner	2013	2018	2028	2038	2048	2098	TOTALT
Total skade i 2013 kroner (rør)	33 200						
Kostnad per hus (166 i 2013-kroner). Inflasjon 2 %	166	183	223	272	332	894	
Antall hus rammet	0	200	200	200	200	200	
Øvrige skader							
Investering (rør)	-26 156	0	0	0	0	0	
Spart kostnad	0	36 655	44 683	54 468	66 396	178 712	380 914
Cash flow	-26 156	36 655	44 683	54 468	66 396	178 712	
År (90 år fra 2008)	0	5	15	25	35	85	
Rente	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %	
Diskonteringsfaktor	1,00	0,82	0,56	0,38	0,25	0,04	
Nåverdi	-26 156	30 128	24 811	20 432	16 826	6 373	98 569
Nåverdi akkumulert	-26 156	3 972	28 783	49 215	66 041	72 413	
Nåverdi (90 år)							72 413
Pay-back (år)		6	0	0	0	0	6
Internrente							10,4%

Tabell 37: Viser nåverdiutregningen av forslåtte tiltak over bakken.

1000 kroner	2013	2018	2028	2038	2048	2098	TOTALT
Total skade i 2013 kroner (over bakken)	12000						
Kostnad per person(2,4-kroner i 2013 kroner). Inflasjon 2%	2,4	2,7	3,3	4,0	4,8	13,0	
Antall personer som blir berørt(Antatt 50% av befolkningen i Veumfeltet)	0	4 968	4 968	4 968	4 968	4 968	
Øvrige skader							
Investering (over bakke)	-13 688	0	0	0	0	0	
Spart kostnad	0	13 274	16 181	19 724	24 044	64 716	137 939
Cash flow	-13 688	13 274	16 181	19 724	24 044	64 716	
År (90 år fra 2008)	0	5	15	25	35	85	
Rente	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %	
Diskonteringsfaktor	1,00	0,82	0,56	0,38	0,25	0,04	
Nåverdi	-13 688	10 910	8 985	7 399	6 093	2 308	35 694
Nåverdi akkumulert	-13 688	-2 778	6 207	13 606	19 699	22 006	
Nåverdi (90 år)							22 006
Pay-back (år)		0	15	0	0	0	15
Internrente							6,5%

Tabell 38: Viser nåverdiutregningen av forslåtte tiltak for rør og tiltak over bakken.

1000 kroner	2013	2018	2028	2038	2048	2098	TOTALT
Total skader i 2013 kroner (rør og overbakke)	45200						
Kostnad perperson (9,1 i 2013-kroner). Inflasjon 2%	9,1	10,0	12,2	14,9	18,2	49,0	
Antall personer som er rammet inkl. kjeller oversvømmelse	0	4 968	4 968	4 968	4 968	4 968	
Øvrige skader							
Investering (rør og over bakke)	-39 844	0	0	0	0	0	
Spart kostnad	0	49 914	60 845	74 170	90 413	243 353	518 695
Cash flow	-39 844	49 914	60 845	74 170	90 413	243 353	
År (90 år fra 2008)	0	5	15	25	35	85	
Rente	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %	
Diskonteringsfaktor	1,00	0,82	0,56	0,38	0,25	0,04	
Nåverdi	-39 844	41 026	33 785	27 822	22 912	8 678	134 223
Nåverdi akkumulert	-39 844	1 182	34 967	62 789	85 701	94 379	
Nåverdi (90 år)							94 379
Pay-back (år)		6	0	0	0	0	6,0
Internrente							9,1%

Tabell 37 viser nåverdibetraktning på rørene mens tabell 38 viser en nåverdibetraktning basert på tiltak over bakken. Tabell 39 viser en nåverdivurdering basert på at begge mine forslåtte tiltak blir gjennomført. Som det fremgår av tabellene så vil investeringen gjøres i 2013. Videre har jeg antatt at det vil komme ekstrem nedbør i 2018, 2028, 2038, 2049 og 2098. Jeg har tatt utgangspunkt i ekstremværet som var i 2008 og lagt til 10 og 10 år frem til 2048, samt en hendelse i

2008. Dette gjelder både utbedring av problemer i rørnett og tiltakene i felt 1, 2 og 3 som jeg har kalt over bakke.

Ved å investere kr 39,8 millioner i 2013 sparer man i nominelle kroner 518,7 mill. hvis man legger til grunn 5 skadetilfeller i løpet av en 90-årsperiode regnet fra 2008. Dette gir en akkumulert nåverdi på kr 94,3 mill, og en internrente på 9,1%.

Det er en meget gunstig investering. Når det gjelder skadeomfanget på de berørte husene, er det kr. 33,2 mill. I tillegg til kjellerskader blir det også skader på veier, gangveier, rekreasjonsanlegg, strømbrydd, VA-ledninger som skades, veier som raser ut og mange andre ulemper. I verste fall kan det føre til alvorlige personskader. Disse skadene har jeg antatt beløper seg til kr. 12 mill. Da er det ikke tatt med at eventuelt vei(er) raser ut. Jeg vil anta at Evenrødveien ikke tåler mange slike situasjoner som det var i 2008 og/eller i 2009. Ref. bilde 69. Det totale skadeomfanget blir da basert på dagens krone på 45,2 mill. Dette er i tråd med de skadene som fant sted i 2008 og 2009. Når det gjelder hvor mange ganger dette skjer har jeg lagt til grunn den danske rapporten som hevder at det vil skje 5 ganger i løpet av en 90 års periode.(Holse D. et al. 2007) I alle beregningene har jeg brukt en rente på 4 %. Dette kan være noe høyt da kommunen kan låne i Kommunalbanken AS til 2,5 % rente.



Figur 74: Viser et bilde av Veumbekken. (Foto: Torbjørn Lothe Vik)

Kapittel 7. Diskusjon og konklusjon

7.1 Diskusjon

I den første delen av oppgaven som går på tiltak for rørsystemet har jeg analysert de forskjellige problemrådene ved hjelp av dataprogrammet ROSIE. Det er tilsammen kjørt ca. 2000 analyser. Jeg har vurdert forskjellige løsninger og testet ut forskjellige rør og rørdiameterer. Jeg har også testet ut å øke kapasiteten i en av pumpestasjonene. Det løste delvis problemet på strekket, men det oppstod nye problemer andre steder på rørnettet. Det er kjørt mange forskjellige analyser innenfor det enkelte tiltak. Jeg har hele tiden optimalisert slik at det ikke er større rør enn det som behøves for å løse problemet. På rørdimensjoner over 400 millimeter har jeg brukt eggformede rør. Dette fordi de har selvrensing ved normale forhold samtidig som de har den ekstra kapasiteten som trengs ved ekstremvær. Jeg har vurdert forskjellige typer regn, men valgte å konsentrere meg om 50 års regnet med 50 % klimatillegg, i henhold til avtale med veileder. På noen rørstrekk er det svært store diameter, her har jeg regnet ut det aktuelle fordrøyningsbehovet og dette må løses på stedet avhengig av grøftens og terrengets beskaffenhet. Videre har jeg foreslått WaBack kummen som har tilbakeslagsventil, og videre foreslår jeg å montere alarm. Alarmen gir beskjed til aktuelle huseiere at avløpsfasilitetene i huset ikke kan benyttes for tiden.

Når det gjelder tiltak to som jeg har kalt over bakken, og som handler om flomproblemene i Veumdalen og kulverten nederst i denne, har jeg brukt den rasjonelle formel, og 100 års regnet med 40 % klimatillegg. Den rasjonelle formel egner seg for grove overslagsberegninger og for mindre områder. Delfeltene mine er noe i største laget, men resultatene gir en bra indikasjon. Det finnes egne dataprogrammer som kan brukes. Jeg har konsentrert meg om feltet som ligger ovenfor kulverten, det vil si fra Merkur-banene og nordover. Dette feltet har jeg delt inn i tre områder. Jeg vurderte først forskjellige alternativer. Det første jeg prøvde var et fordrøyningsmagasin i hvert av delfeltene. Denne løsningen kunne fungert, men ble meget kostbar. Jeg har også vurdert å legge nye rør fra Evenrødveien, men det har jeg også vurdert som for kostbart og unødvendig. Jeg vil derfor forslå at vannet ledes under Evenrødveien ved pumpestasjon KP 244 Veumlia. Utvide bekken fra Evenrødveien til der kulverten starter. Før kulverten bygges et kraftig pumpeanlegg

som pumper vannet over til Merkur-banene som benyttes som et midlertidig fordrøyningsmagasin. Denne løsningen vil også tåle et vinterregn med is på jordene.

7.2 Konklusjon

Min konklusjon er at ovennevnte tiltak er en meget god investering for Fredrikstad kommune. Tiltak 1, rør koster kr 26,2 millioner, ref. tabell 16. Tiltak 2, over bakken koster kr 13,7 millioner, ref. tabell 35.

Ved å investere kr 39,8 millioner i 2013 sparer man i nominelle kroner 518,7 mill. hvis man legger til grunn 5 skadetilfeller i løpet av en 90-årsperiode regnet fra 2008. Dette gir en akkumulert nåverdi på kr 94,3 mill, og en internrente på 9,1%.

De vil da unngå oversvømte kjellere ved et 50 års regn med 50 % klimatillegg.

Videre vil de få kontroll på de enorme vannmassene over bakken slik situasjonen var i 2008 og 2009. Mine foreslåtte tiltak over bakke vil tåle et 100 års vinterregn med 40 % klimatillegg selv med is på jordene.

Kapittel 8. Vedlegg

Vedlegg 1. Liste over personer som er med i ExFlood-prosjektet

Bioforsk Jord og miljø

Kontaktperson: Jannes Stolte

Kontakt tlf. 92264121

E-post jannes.stolte @ bioforsk.no

Partner rolle: Samordning; Forskningsaktivitet

UMB, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap

Kontaktperson: Helen K. Fransk

Kontakt tlf. 64966214

E-post helen.french @ umb.no

Partner rolle: Forskning aktivitet

NVE, Norsk vassdrags- og energidirektorat

Kontaktperson Bent C. Braskerud

Kontakt tlf. 22959308

E-post bcb@nve.no

Partner rolle: Forskning aktivitet

Sandnes Kommune

Kontaktperson Odd Arne Vagle

Kontakt tlf. 51975724

E-post odd.arne.vagle @ sandnes.kommune.no

Partner rolle: Referansegruppe

Trondheim kommune

Kontaktperson Olav Nilssen

Kontakt tlf. 72542693

E-post Olav.Nilssen @ trondheim.kommune.no

Partner rolle: Referansegruppe

Fredrikstad kommune

Kontaktperson Elisabeth Syversen

Kontakt tlf. 90647655

E-post teknisk@fredrikstad.kommune.no

Partner rolle: Referansegruppe

FNH, Norsk Finansnæringens Hovedorganisasjon

Kontaktperson Tonje Westby

Kontakt tlf. 23 28 43 24

E-post Tonje.Westby @ fnh.no

Partner rolle: Referansegruppe

Statens Vegvesen

Kontaktperson Kristine Flesjø

Kontakt tlf. 22073326

E-post kristine.flesjo @ vegvesen.no

Partner rolle: Referansegruppe

KTH, Royal Institute of Technology

Kontaktperson Per-Erik Jansson

Kontakt tlf. +46 87908286

E-post pej@kth.se

Partner rolle: Advisory bord

UMN, University of Minnesota

Kontaktperson Bruce Wilson

Kontakt tlf. +1612-625-6770

E-post wilson@umn.edu

Partner rolle: Advisory bord

NTNU, Norsk teknisk-naturvitenskapelige universitet NTNU

Kontaktperson Sveinn Thorolfsson

Kontakt tlf. 73594753

E-post sveinn.thorolfsson@ntnu.no

Vedlegg 2. Q-Bic (Wavin 2007)

Fra Wavin-brosjyre

Magasiner av Wavin Q-Bic er enkle å tilpasse etter lokale behov på anleggsstedet. Kassetten har hulrom som danner horisontale kanaler i det ferdige magasinet. TV-inspeksjon, spyling og slamsuging foregår normalt i bunnlaget fra terrengnivå gjennom integrerte kumløsninger, eller fra kum utenfor magasinet. Innløp og utløp kan monteres i alle magasinets sider. Kummer integreres i magasinet ved å skjære ut markert område i toppen av bunnkassetten. Videre oppføring til terrengnivå gjøres med TEGRA 600 oppføringsrør. Q-Bic overvannkassetter og tilbehør er utført i PP-materiale. Konstruksjonen av kassetten gir stor styrke mot mekaniske belastninger og støt. Magasinenes korrosjonsbestandighet og styrke, samt mulighet for vedlikehold, gjør at levetiden for slike anlegg blir meget lang.

Integrert oppføring TV-inspeksjon, Spyling/slamsuging

Q-Bic ivaretar alle muligheter- inspeksjon, vedlikehold og lokal tilpasning Wavin TEGRA 1000 brukes her som kum for inspeksjon og vedlikehold. I denne situasjonen kan den også brukes som reguleringskum. Wavin Q-Bic er et utmerket alternativ, både for å ta hånd om overvann fra nye boligfelt/nybygg, og ved rehabiliteringsarbeider av eksisterende ledningsanlegg. Systemet brukes særlig til magasinering og infiltrasjon av vann fra større takflater ved kontorbygg, industribygg, skoler, institusjoner osv, samt asfalterte/tette arealer som for eksempel parkeringsplasser, bensinstasjoner, idrettsanlegg o.l.

Typiske bruksområder:

- Behov for magasinering ved tilknytting av nye overvannsledninger til eksisterende ledninger med begrenset kapasitet.
- Behov for magasinering ved problemer som tilbakeslag med påfølgende oversvømmelser i terreng, i kjellere osv.
- Utjevning av belastningsvariasjoner på ledningsnett.
- Reduksjon av overvannsmengde til ledningsnett ved lokal infiltrasjon.
- Lokal infiltrasjon for å unngå senking av grunnvannsstand.

Fiberduk

Ved installasjon skal overvannsmagasinet pakkes inn i fiberduk (geotekstil).

Geotekstilet har følgende funksjon:

- Først og fremst å hindre at masser trenger inn i magasinet.
- Å jevne ut og fordele mekaniske belastninger på magasinet.
- Å stabilisere konstruksjonen.

Det anvendes vanlig fiberduk, normalt av minimum kvalitet profil 2, av samme type som anvendes ved veibygging. Fiberduken skal monteres med minst 50 cm overlapping. Dersom man er i tvil om riktig valg i den enkelte situasjon, kontakt gjerne Teknisk avdeling i Wavin.

Valg av tett duk

I noen tilfeller er det ønskelig at minst mulig vann slipper ut til grunnen. På markedet finnes duk typer som er vanntette og slipper ut svært lite vann i skjøtene når duken monteres med overlapp. I noen tilfeller ønskes en absolutt vanntett løsning, for eksempel der grunnvann tidvis står over magasinet bunn, eller der det er andre "sårbare" konstruksjoner/miljø er i nærhet av magasinet. Da sveises en tett PP duk rundt magasinet. Dette er ingen komplisert operasjon, men det er nødvendig med riktig duk type og korrekt fagmessig utførelse. Ved spørsmål om dette må du gjerne kontakte Teknisk avdeling i Wavin

Sandfangskum og regulering av magasin

Det er viktig å hindre sand og lignende i å trenge inn i magasinet. Ved mindre magasiner kan Wavins 315, 425 eventuelt 600 mm sandfangkummer med vannlås benyttes. Ved større vannføringer anbefales kummer med minimum 1 meter i diameter, som for eksempel TEGRA 1000.

Regulering og oppfylling skjer naturlig i magasinet ved at utløpsdimensjon er mindre enn innløpet. Noen ønsker reguleringsmuligheter og nødoverløp ved utløpet. Wavin kan levere slike kummer. Enkelte ledningseiere fore trekker også andre anordninger

ved utløp, som for eksempel virvelkammer. Vennligst ta kontakt med Teknisk avdeling i Wavin for nærmere informasjon om dette.



Bildet viser et Q-Bic anlegg på Sandefjord stadion

Vedlegg 3 Grønne tak er effektiv klimatilpasning (Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap 2010)

Fra NVE, 26012010

Grønne tak

Grønne tak er effektiv klimatilpasning. Klimaendringene vil føre til hyppigere episoder med kraftig nedbør. Grønne tak som demper generering av flomvann i byene, kan bidra til å redusere belastningen på avløpsnett.

Fram mot år 2100 vil det bli flere dager med mye nedbør, og den gjennomsnittlige nedbørmengden disse dagene vil også øke. Denne utviklingen gjelder hele Norge og for alle årstider. Utstrakt bruk av grønne tak på bygninger kan være ett egnet tilpasningstiltak for å håndtere større nedbørmengder. En rekke norske byer har et underdimensjonert avløpsnett. Klimaendringene vil gjøre disse anleggene enda mer sårbare hvis ikke det gjennomføres tilpasningstiltak.

Kartlegger muligheter i Norge

Grønne tak regnes som en svært lovende teknologi for å dempe avrenning ved kraftig nedbør. Det er forsket lite på nytteeffekten av grønne tak i Norge, som har et kjølig klima, men det er nå opprettet et forsøksanlegg i Oslo. Dette skjer i regi av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og innenfor rammene av EU-prosjektet SAWA Interreg 4b. Hovedformålet med forsøksanlegget er å teste hvilken effekt grønne tak har på avrenning under norske forhold. Resultatene fra prosjektet vil presenteres i løpet av første halvdel av 2010.

Foreløpig er grønne tak lite utbredt i Norge, men det finnes enkelte gode eksempler. Blant annet kan Veolia Miljø's gjenvinningsanlegg i Oslo skilte med Skandinavias største grønne tak, som strekker seg ut over et areal på hele 28 000 m².

To hovedtyper av grønne tak

Ekstensiv tak er det billigste å anlegge og krever minst vedlikehold. Lav vekt gjør i tillegg denne taktypen best egnet for konstruksjoner som ikke er tilpasset stor tyngde. På ekstensive grønne tak er det vanlig å dyrke sedumarter (bergknappfamilien) i et

substrat av knust takstein og kompost. Disse plantene har et svakt rotnett, tåler godt tørke og er tilpasset vekst i næringsfattig jord. Når taket er vannmettet kan vekten komme opp i 50 – 130 kilo per m²

Intensive grønne tak beveger seg i retning av tradisjonelle hageanlegg. Taket kan inneholde de fleste plantearter. Et slikt tak krever mye vedlikehold og er også langt mer kostbart å anlegge. Et intensivt grønt tak kan bli tungt, og vekten varierer normalt fra 240 til 900 kilo per m², avhengig av om det er dyrket busker og trær. Taket må være helt tett, og det er viktig at det legges en rot stoppende membran hvis det anlegges planter med rotsystem som kan ødelegge taket.

Flere gunstige effekter

Grønne tak har lang levetid fordi UV-stråling ikke treffer direkte på taket, samt at temperatursvingningene avtar. Når taket inneholder vann til fordamping virker det avkjølende på bygningen

I et storbyperspektiv har det vært mye oppmerksomhet rundt begrepet "heat islands". Varme flater – som det er mye av i en by – produserer varm luft som stiger. Dermed trekker kaldere luftmasser inn over byene. Disse luftmassene trekker gjerne med seg nedbør som er forurenset av utslipp fra industri som har tilhold i utkanten av byene. Grønne tak reduserer oppvarmingen i bykjernene, og bidrar dermed til å redusere den negative effekten med forurenset nedbør.



Bildet viser et eksempel på grønne tak (Foto: Bengt Braskerud)

Vedlegg 4 Forklaringer (Lindholm O. et al. 2012)

Avløpsområde	Område som leder avløpsvann med selvføll eller pumping til samme punkt. De naturlige vannskiller danner som regel grensene for avrenningsområdet
Avløpsvann	Felles betegnelse for spillvann fra husholdninger, industri o.l. Omfatter også overvann som tilføres avløpsledningene. Se Forurensningsloven § 20
Avskjærende ledning	Avløpsledninger langs fjorder, vassdrag eller innsjøer i strandsonene som skal fange opp avløp fra mange tidligere direkte utslipp. Avskjærende ledninger fører som regel avløpsvannet til avløpsreanseanlegg
Avrenningskoeffisient, maksimal (φ_{maks})	Forholdet mellom maksimal overvannsavrenning og midlere nedbørintensitet (omregnet til vannføring). Uttrykker hvor stor andel av nedbøren som ikke infiltrerer til undergrunnen eller fordampes
Den rasjonelle formel	Formel for beregning av overvannsavrenning. Formelen sier at vannføringen er lik regnintensiteten multiplisert med nedslagsfeltets areal og avrenningskoeffisient
Drensvann	Vann fra drensledninger som for eksempel ligger i underkant av husfundamenter
Fellesavløpssystem	Avløpsledningsnett som transporterer både spillvann fra husholdninger, næringsliv, offentlige institusjoner, drensvann fra bygningskonstruksjoner og overvann fra overflatene
Flomfrekvensanalyser	Beregninger som viser hvor ofte maksimale avrenninger og maksimale oppstuvningsnivåer oppstår i avløpssystemene
Flomsonekart	Kart som viser hvilke områder som oversvømmes ved ulike flomfrekvenser
Flomveg	Lavpunkt/-strekninger i terreng eller bebygde områder hvor vannet kan avledes på overflaten ved flom

Fordrøyning	Midlertidig lagring av overvann. Tilført vann holdes tilbake/mellomlagres i magasin e.l. ved stor avrenning for å redusere avrenningstoppene til nedenforliggende ledning, vassdrag eller område
Gjentaksintervall for regn/flom	Tidsintervall i antall år (i middel over en lengre tidsperiode) mellom regn- eller avrenningstilfeller for en gitt intensitet
Gropmagasiner	Deler av nedbøren som magasineres på overflaten og fordampes eller infiltrerer derfra
Hydraulisk kontroll	Evnen til et regnvannsoverløp til å ikke videreføre mer avløpsvann enn det som er innstilt/ønsket, og at det ikke slipper ut overløpsvann før innkommende vannføring har nådd innstilt kapasitet
Hydrogram	Vannføringen som funksjon av tiden
Hyetogram	Nedbørintensiteten som funksjon av tiden
Infiltrasjon av overvann	Nedbørvannets nedtrenging gjennom jordoverflaten
Infiltrasjonsmagasiner	Magasiner under marknivå bestående av et steinvolum, kassetter av plast eller lignende hvortil overvann ledes for så sakte å kunne infiltreres ut til grunnvannet under
IVF kurve (Intensitet-Varighet-Frekvens kurve)	Kurve som for en bestemt målestasjon viser sammenhengen mellom maksimal regnintensitet for en viss regnvarighet og et visst gjentaksintervall
Kasseregn	Et tenkt regnskyll normalt utledet fra en IVF kurve med den regnvarighet og konstante regnintensitet som det valgte punktet på kurven indikerer
Kloakkstopp	Igjentetting av en spillvannsledning med partikler eller gjenstander. Skyldes normalt at ledningen ikke er selvrensende. Kloakk kan da stuve seg opp og renne inn i kjellere.
Konsentrasjonstid	Den tid det tar å konsentrere all nedbør fra de fjerneste deler av avrenningsområdet til det punkt som betraktes
Kulvert	Rør eller betongtunnel som fører overvann eller bekk under veier, jernbane eller en lignende hindring (også kalt stikkrenne)

Kumtap, hydraulisk	Energitap i vannstrømmen som oppstår ved passasje fra innløp til utløp av kummen. Kan medføre økt fare for oppstuvning i kjellere og lignende
LOD = LOH	Lokal overvannsdiskonering/håndtering. Samlebetegnelse på teknikker som hindrer overvannet i å renne raskt og direkte til avløpsledninger eller vassdrag. Består i å infiltrere overvann, fordrøye i basseng/dammer eller å forsinke avrenningen på annen måte
Miljøgifter	Stoffer som i relativt lave konsentrasjoner skader miljø og helse. For eksempel tungmetaller, PAH, PCB, dioksiner, bromerte flammehemmere, m.m.]
Modellregn	Fiktivt regn som konstrueres på basis av tidligere regnstatistikk og som brukes for å analysere virkningene av et dimensjonerende regn
MOUSE	Matematisk datamaskinbasert program som kan beregne vannføringer, oppstuvninger og forurensningsutslipp fra kompliserte avløpsnett. Utviklet i Danmark. (Programmet kalles nå MIKE URBAN)
Nedbørfelt	Et avgrenset område hvorfra all nedbør renner ned til et bestemt punkt nederst i feltet. Også ofte kalt nedslagsfelt
Nedbørintensitet	Nedbørsmengde pr. tidsenhet
Nedbørsintensitetskurve	En kurve som viser nedbørens intensitet som funksjon av varigheten. Også kalt IVF-kurve
Oppstuvningsnivå, maksimal	Den maksimale høyde avløpsvannet stiger til i kummer, kjellere, etc. under sterke regn
Overløp	Utslippsarrangement i fellesavløpssystem som treer i kraft når vannføringen blir for stor som følge av for mye overvannstilførsel. Urenset avløp strømmer da direkte ut i tilstøtende vannforekomster
Oversvømmelsesfrekvens	Hypighet for oversvømmelse/overbelastning i ledningssystemer eller andre vannveier. For ledningsanlegg oppstår oversvømmelse når vannstanden stiger til terrengoverflaten eller når tilbakestuvning i kjellere e.l. oppstår
Overvann	Nedbør og vann fra snøsmelting som renner av på overflatene

PBL	Plan- og bygningsloven
Permeable områder	Områder hvor overvannet/regnvannet kan trenge ned i grunnen. Dette kan være gressflater, grusveier, jorder og løkker uten asfalt og betong, etc.
Pluviograf	Et instrument for automatisk registrering av nedbøren som funksjon av tiden
Regnbed	Blomsterbed for infiltrasjon av overvann til grunnen. Normalt dimensjoneres regnbed slik at alt vann infiltreres innen 2 døgn
Resipient	Mottager av behandlet eller ubehandlet avløpsvann. For eksempel hav, innsjø, elv, eller jord
Rørsedimenter/røravlagringer	Partikler av mineralsk eller organisk sammensetning som bunnfeller i rør i tørrværsperioder når vannføringen er liten i rørene. Deler av dette spyles senere ut i våtværsperioder
Selvrensing	Et rørs evne til å transportere partikler. Viktig for å unngå gjentetting og rørsedimenter i tørrværsperioder
Separatavløpssystem	Avløpssystem som har to separate avledninger for spillvann og overvann. Dette skjer normalt i to separate avløpsledninger
Skjærspenning	Friksjonskraft per m ² som oppstår mellom vann og rørvegg når vann strømmer langs en ledning
Sluk	Installasjon i gater som leder vannet fra gateplan til avløpsledning. Betegnelsen sluk brukes også om utløpet fra våtrom og bad i bygninger
Spillvann	Avløpsvann fra husholdninger, næringsliv, offentlige institusjoner etc.
SWMM	Datamaskinbasert program som kan beregne vannføringer, oppstuvninger og forurensningsutslipp fra kompliserte avløpsnett. Utviklet i USA
Symmetriske hyetogram	Fiktivt regn som konstrueres på basis av en IVF-kurve. Regnet er som regel pyramideformet og symmetrisk om en midtakse. Ved å bruke dette får man dimensjonerende vannføringer alle steder i avløpssystemet med kun en beregning
Syntetisk modellregn	Et konstruert regn som brukes til å dimensjonere avløpsanlegg
Tette flater	Flater med tett dekke som asfalterte veier, parkeringsplasser, hustak etc.

Tilrenningstid	Den tiden det tar for en vanndråpe å renne fra ytterste punkt i et felt til nærmeste ledningsinntak eller sluk i delfeltet
Trykkavløpssystem	Avløpssystem hvor pumper er nødvendig for å få frem avløpet. Ledningene står da under trykk inntil selvfallsledninger igjen er mulig.
Trykklinje	Trykklinjen forbinder nivåer som en fri vannoverflate stiger til inne i tenkte påsatte stigerør på en vannledning
Våtværsperioder	Perioder med nedbør eller snøsmelting som gir avrenning
Åpne overvannsløsninger	Håndtering av overvann med LOD-løsninger eller med åpne vannveier og dammer

Kapittel 9: Litteraturliste

Amiantit. (2011). *Eggformede GRP rør*. Tilgjengelig fra:

http://www.amiantit.com/media/pdf/brochures/GRP_non_circular_Pipe_Systems/files/GRP_non_circular_Pipe_Systems.pdf (lest 05.04).

Bøyum Å. og Thorolfsson S. (2001). *VA-teknikk del 2 avløp*: tapir akademiske forlag.

Dilling C. (2012). *Gjennåpning av Veumbekken* (07.05.2012).

Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap. (2010). *Grønne tak er effektiv klimatilpasning*. Tilgjengelig fra:

<http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/kampanjer/klimatilpasning-norge-2/bibliotek/erfaringer/Gronne-tak-er-effektiv-klimatilpasning.html?id=592197> (lest 10.03).

Finn kart. (2012). *Kart underlag*. Tilgjengelig fra: <http://kart.finn.no/> (lest 07.05).

FN-Sambandet. (2012). *Klimarapport*. Tilgjengelig fra:

<http://www.globalis.no/Tema/Miljoe-og-klima/Rapporter-fra-FNs-klimapanel-IPCC/Rapport-4-Hovedkonklusjoner> (lest 30.01).

Fredrikstad Blad. (2009). *Evja, den tidligere Veumbekken*.

Fredrikstad kommune. (2008). *Nedbørskurver* (19.09.2011).

Fredrikstad kommune. (2012). *Områdeklassifisering* (PPT presentasjon).

Fredrikstad Kommune Plan 2011-2023. (2011). *Kommuneplanens arealdel 135*.

Fredrikstad kommune Teknisk drift. (2007). *Overvannsrammeplan*. 44.

Grundfos, M. *Store pumper for overvann*. Tilgjengelig fra:

http://net.grundfos.com/doc/webnet/waterutility/landingpage/weftec/downloads/Axial-Flow_US.pdf (lest 07.05).

Hauge A. et al. (2006). *Gjennåpning av*

bekkelukkinger: Jordforsk. Tilgjengelig fra:

<http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/49715/bekkeaaapningrapp.pdf> (lest 09.02).

- Hausberg J. (2012a). Fordrøyningsmagasin for kloakk og overvann (20.04.2012).
- Hausberg J. (2012b). Hydraulisk kakulasjon av eggformede rør (23.04.2012).
- Havnivå. (2009). *Landheving*. Tilgjengelig fra:
<http://www.statkarthavniva.no/index.php?id=64> (lest 16.02).
- Holse D. et al. (2007). Klimatilpasning af afløbssystemer og metodeafprøvning. Økonomisk analyse. *Miljøprosjekt*. 79 s.
- Lindholm, O., Nie, L. & Bjerkholt, J. T. (2007). *Klimaeffektens betydning for oppstuvninger og forurensningsutslipp fra avløpssystemer i byer*. IMT-rapport, b. Nr 16/2007. Ås: IMT. 77 s. s.
- Lindholm O. (2006). Overvannsdammer beregninger og volum. *VA-Miljø blad* 3s.
- Lindholm O. et al. (2009). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*, 162-2008: Norsk Vann.
- Lindholm O. et al. (2012). Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystemet (16.02.2012).
- Makeover, O. H. (2012). *Local stormwater mangement system* Tilgjengelig fra:
<http://oldhomemakeover.com/an-introduction-to-stormwater-management-systems/>
(lest 10.03).
- MFT. (2012). *Tilbakeslagssikring*. Tilgjengelig fra:
<http://www.mft.no/index.php/tilbakeslagssikring> (lest 05.04).
- NASA. (2012). *GISS Surface Temperature Analysis*. Tilgjengelig fra:
http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v3/ (lest 13.03).
- Nivus. (2012). *Vann hastighets måler*. Tilgjengelig fra: <http://www.nivus.de/> (lest 05.04).
- Schilling W. et al. (2004). Reduksjon av oversvømmelser- Planlegging, dimensjonering, drift og vedlikehold av overvann- og avløpsnett. 107 s.
- SVV. (2005). Håndbok 018 Statens Vegvesen (lest 16.02).
- Thorolfsson S. (2007). *Rør og grøftkostnader* (10.01.2012).

Thorolfsson S. (2011). EEU-kurs(VM6002) Overvann- og ledningsteknologi: IVM,NTNU. 161 s.

University of Colorado. (2012). *Global Mean Sea Level* Tilgjengelig fra: <http://sealevel.colorado.edu/> (lest 16.02).

Uponor. (2012). *Profil rør i plast*. Tilgjengelig fra: [http://www.catalog.uponor.com/index.php?id=28&no_cache=1&L=nb-NO&tx_uponorproduct_pi1\[child\]=559](http://www.catalog.uponor.com/index.php?id=28&no_cache=1&L=nb-NO&tx_uponorproduct_pi1[child]=559) (lest 05.04).

USGS. (2012). *Vannets kretsløp*. Tilgjengelig fra: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclenorwegian.html> (lest 11.05).

Wavin. *Sirkulære plast rør*. Tilgjengelig fra: http://no.wavin.com/master/master.jsp?FOLDER%3C%3Efolder_id=2534374305478904&PRODUCT%3C%3Eprd_id=845524441951553&middleTemplateName=oc_midle_product_detail_l&bmLocale=no (lest 05.04).

Wavin. (2005). *Dimensjoner og teknisk info om sirkulære plast rør*. Tilgjengelig fra: [http://content.wavin.com/WAXNW.NSF/pages/avlopNO/\\$FILE/Roer_og_fitt_NO.pdf](http://content.wavin.com/WAXNW.NSF/pages/avlopNO/$FILE/Roer_og_fitt_NO.pdf) (lest 05.04).

Wavin. (2007). *Fordrøyningsmagasin for overvann*. Tilgjengelig fra: [http://content.wavin.com/WAXNW.NSF/pages/brochure_QBicNO/\\$FILE/Q-BIC_NO_standard.pdf](http://content.wavin.com/WAXNW.NSF/pages/brochure_QBicNO/$FILE/Q-BIC_NO_standard.pdf) (lest 07.05).

Winnipeg, C. o. (1996-2012a). *Combined Sewer System*. Tilgjengelig fra: <http://www.winnipeg.ca/waterandwaste/sewage/systemOperationCombined.stm> (lest 10.03).

Winnipeg, C. o. (1996-2012b). *Seperate Sewer System*. Tilgjengelig fra: <http://www.winnipeg.ca/waterandwaste/sewage/systemOperationSeparate.stm> (lest 10.03).

Worldchanging. (2009). *Viser eksempel på grønne tak*. Tilgjengelig fra: <http://www.worldchanging.com/archives/010211.html> (lest 07.05).

Øyene. (2007). *Havet kan stige*. Tilgjengelig fra: http://www.oyene.no/innenriks/data_og_teknologi/article2562956.ece (lest 04.02).

